

**PERBAIKAN SIFAT MEKANIK TANAH LUNAK YANG
DIPERBAIKI DENGAN *PREFABRICATED VERTICAL DRAIN*
(PVD) POLA SEGIEMPAT DENGAN PERUBAHAN KEDALAMAN
PEMASANGAN
(STUDI KASUS JALAN TOL PASURUAN – PROBOLINGGO)**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



IFFAT SHAFWAN HARISTAMA

NIM. 165060107111006

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2020



LEMBAR PENGESAHAN
PERBAIKAN SIFAT MEKANIK TANAH LUNAK YANG DIPERBAIKI
DENGAN *PREFABRICATED VERTICAL DRAIN* (PVD) POLA
SEGIEMPAT DENGAN PERUBAHAN KEDALAMAN PEMASANGAN
(STUDI KASUS JALAN TOL PASURUAN – PROBOLINGGO)

SKRIPSI
TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
 memperoleh gelar Sarjana Teknik



IFFAT SHAFWAN HARISTAMA
NIM. 165060107111006

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
 pada tanggal 24 Juli 2020

Dosen Pembimbing 1

Dr. rer. nat. Jr. Arief Rachmansyah
 NIP. 19660420 199303 1 002

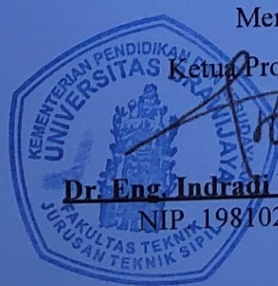
Dosen Pembimbing 2

Dr. Eng. Ir. Yulvi Zaika, MT.
 NIP. 19680707 199403 2 002

Mengetahui,

Ketua Program Studi S1

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



HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI**JUDUL SKRIPSI:**

**PERBAIKAN SIFAT MEKANIK TANAH LUNAK YANG
DIPERBAIKI DENGAN *PREFABRICATED VERTICAL DRAIN*
(PVD) POLA SEGIEMPAT DENGAN PERUBAHAN
KEDALAMAN PEMASANGAN
(STUDI KASUS JALAN TOL PASURUAN – PROBOLINGGO)**

Nama Mahasiswa : Iffat Shafwan Haristama

NIM : 165060107111006

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Geoteknik

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji I : Dr. rer.nat. Ir. Arief Rachmansyah

Dosen Penguji II : Dr. Eng. Ir. Yulvi Zaika, MT.

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

Tanggal Ujian : 23 Juli 2020

SK Penguji : 1346/UN10.F07/KP/2020



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

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

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 24 Juli 2020

Mahasiswa,

Iffat Shafwan Haristama

NIM. 165060107111006

TURNITIN



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA**



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 013/UN10.F07.11.11/PP/2020

Sertifikat ini diberikan kepada :

IFFAT SHAFWAN HARISTAMA

Dengan Judul Skripsi :

**PERBAIKAN SIFAT MEKANIK TANAH LUNAK YANG DIPERBAIKI DENGAN
PREFABRICATED VERTICAL DRAIN (PVD) POLA SEGIEMPAT DENGAN PERUBAHAN KEDALAMAN PEMASANGAN
(STUDI KASUS JALAN TOL PASURUAN - PROBOLINGGO)**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 24 Juli 2020

Ketua Jurusan Teknik Sipil



Alwafi Pujiraharjo, ST, MT

9700829 200012 1 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng [Prac]

NIP. 19810220 200604 1 002

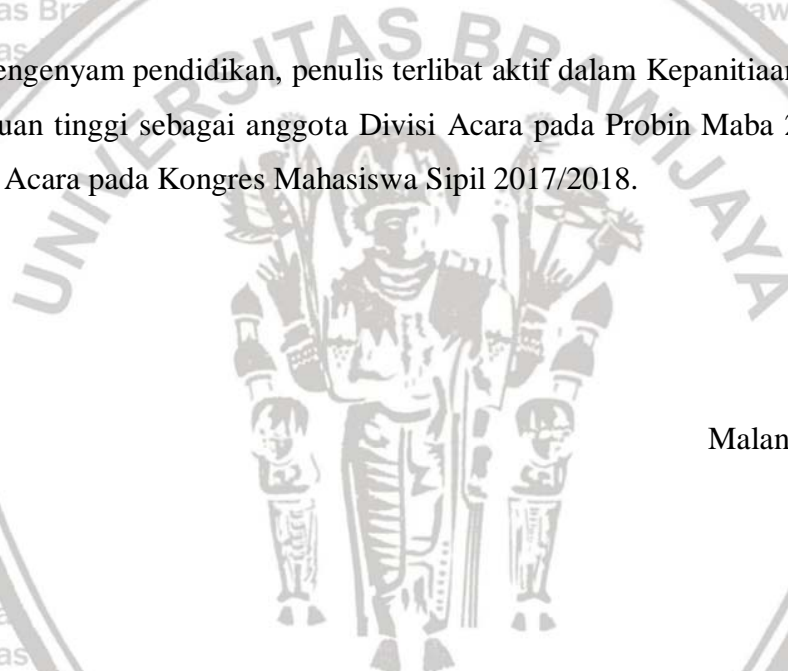
RIWAYAT HIDUP

Iffat Shafwan Haristama, lahir di Jakarta pada tanggal 12 April 1998, putra kedua dari pasangan bapak Rustamadji dan ibu Kristina. Mengenyam pendidikan formal di SDIT Thariq Bin Ziyad (2004-2010), kemudian melanjutkan pendidikan di SMPIT Thariq Bin Ziyad (2010-2013), kemudian untuk jenjang menengah atas di SMAN 5 Tambun Selatan (2013-2014) dan SMAIT Thariq Bin Ziyad (2014-2016). Selanjutnya melanjutkan ke perguruan tinggi di Universitas Brawijaya, Malang dengan program studi S1 Teknik Sipil (2016-2020).

Selama mengenyam pendidikan, penulis terlibat aktif dalam Kepanitiaan. Dimulai dari jenjang perguruan tinggi sebagai anggota Divisi Acara pada Probin Maba 2017/2018 dan anggota Divisi Acara pada Kongres Mahasiswa Sipil 2017/2018.

Malang, 24 Juli 2020

Penulis



LEMBAR PERUNTUKAN

Dengan Rahmat Allah Yang Maha Pengasih Lagi Maha Penyayang. Puji syukur saya ucapkan kepada kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya sehingga saya dapat menyelesaikan pengerjaan dan penyusunan skripsi yang disertai dengan kemudahan dan kelancaran. Terimakasih juga saya tujukan kepada kedua orang tua dan kakak saya yang senantiasa mendoakan dan mendukung saya dalam proses pengerjaan tugas akhir saya.

Terimakasih saya sebanyak-banyaknya saya ucapkan kepada Jurusan Teknik Sipil FT-UB yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menempuh perkuliahan selama kurang lebih empat tahun dan dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Dengan rendah hati penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada Bapak Dr. rer. nat. Ir. Arief Rachmansyah dan Ibu Dr. Eng. Ir. Yulvi Zaika, MT. selaku pembimbing yang telah meluangkan banyak waktu untuk proses pengerjaan tugas akhir saya. Terimakasih saya ucapkan kepada Bapak Ir. Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D selaku dosen pembimbing akademik yang selalu memberikan bimbingan dan saran dalam menjalani perkuliahan di Jurusan Teknik Sipil FT-UB.

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk seluruh pihak agar berguna bagi yang membutuhkan dan semoga dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya dan dapat bermanfaat bagi Negara Indonesia.

Akhir kata, saya mengucapkan permintaan maaf atas kesalahan saya pada masa perkuliahan di Jurusan Teknik Sipil FT-UB. Semoga Jurusan Teknik Sipil dapat terus maju dan selalu berprestasi. Terimakasih saya ucapkan kepada semua elemen yang tidak dapat saya ucapkan satu-persatu

Malang, 24 Juli 2020

Penulis



*Skripsi ini saya persembahkan untuk
Papi, Mami, Ning Hani, Ahida Muizun
serta sahabat*

RINGKASAN

Iffat Shafwan Haristama, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2020, *Perbaikan Sifat Mekanik Tanah Lunak yang Diperbaiki dengan Prefabricated Vertical Drain (PVD) Pola Segiempat dengan Perubahan Kedalaman Pemasangan (Studi Kasus Jalan Tol Pasuruan – Probolinggo)*, Dosen Pembimbing: Arief Rachmansyah dan Yulvi Zaika.

Masalah yang sering dijumpai pada infrastruktur jalan tol di pulau jawa ialah tanah lunak karena nilai daya dukung tanah dan kuat geser rendah sehingga menyebabkan penurunan pada pondasi jalan tol tersebut.

Alternatif perbaikan tanah yang digunakan ialah dengan melakukan prakompresi pada tanah yang dibantu dengan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD). Perbaikan tanah menggunakan beberapa variasi kedalaman pvd dalam pemasangannya, yaitu kedalaman 25cm, 30cm, dan 40cm sedangkan untuk jarak antar PVD sama yaitu sebesar 20cm. Pengujian dilaksanakan selama 5 hari dengan pemberian beban secara bertahap sebanyak 5 (lima) variasi pembebanan serta nilai tegangan yang diratakan setiap 1 variasi beban yang diberikan yaitu sebesar 232,35 kg/m², 276,31 kg/m², 376,38 kg/m², 433,33 kg/m², dan 511,87 kg/m².

Hasil pengujian menunjukkan ada perbedaan penurunan pada sampel, kenaikan penurunan penggunaan pvd kedalaman 25cm sebesar 31%, untuk pvd kedalaman 30cm sebesar 94% dan untuk pvd kedalaman 40cm sebesar 97% dibanding dengan sampel yang tidak menggunakan pvd. Perbedaan kuat geser juga terlihat, untuk kedalaman pvd 25cm nilai kenaikannya sebesar 65%, untuk kedalaman pvd 30cm sebesar 81% dan untuk kedalaman pvd 40cm sebesar 90%. Berdasarkan hasil yang didapatkan semakin dalam kedalaman pemasangan PVD maka akan semakin besar penurunan yang akan terjadi diwaktu yang sama dan nilai kuat geser akan meningkat. Semakin besar kedalaman PVD maka nilai tegangan air pori turun sampai nilai nol akan semakin cepat, sehingga kecepatan konsolidasi meningkat.

Kata Kunci : Tanah Lunak, PVD, Persegi, Kedalaman, Kekuatan.

SUMMARY

Iffat Shafwan Haristama, Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Brawijaya University, July 2020, *Improvement of mechanical properties soft soil using square Prefabricated Vertical Drain with length variation (Case study: Pasuruan – Probolinggo Toll Road)*

Soft soil has been one persistent problem in the constructions of Java tollways. This has been characterized with its low bearing capacity and shear strength and has caused displacement to tollroad foundations.

An alternative to achieve solidified soil is by applying a precompression assisted with Prefabrication Vertical Drains (PVDs). The author has experimented using modification on installation depth of PVD from soil surface: 25cm, 30cm, and 40cm. Meanwhile, the PVDs were installed equally within 20cm intervals. The test was performed for 5 days with 5 gradual loading variations: 232.35 kg/m², 276.31 kg/m², 376.38 kg/m², 433.33 kg/m² and 511.87 kg/m². Each loading variation was given with keeping the earth pressure values equal across soil surface.

As compared to the non-PVDs test, the PVDs test has showed increases in displacement percentages of 31%, 94% and 97% correspondingly for the 25cm, 30cm, and 40cm penetration depths. The PVDs test also gave similar findings on shear strengths, resulting in increases up to 65%, 81%, 90% respectively for the 25cm, 30cm, and 40cm depth modifications, in comparison to the Non-PVDs. The experiment has confirmed positive correlations where deeper PVDs penetrations results in greater values of displacement and shear strength and thus faster dissipation of pore water pressure and consequently faster soil consolidation.

Keywords: Soft Soil, PVD, Square, Depth, Strength

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT sang Maha Pencipta dan pengatur alam semesta, karena atas rahmat, karunia, serta ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Perbaikan Sifat Mekanik Tanah Lunak yang Diperbaiki dengan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) Pola Segiempat dengan Perubahan Kedalaman Pemasangan”. Skripsi ini ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar sarjana teknik.

Dalam proses penyusunan skripsi ini penulis menyadari bahwa banyak rintangan dan hambatan yang dialami penulis, namun berkat dorongan, bantuan, semangat serta bimbingan dari dosen pembimbing serta orang-orang terdekat sehingga penulis dapat menyelesaikannya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Pitojo Tri Juwono, MT., IPU selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
2. Dr. Eng. Ir. Alwafi Pujiraharjo, ST., MT. selaku Kepala Jurusan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
3. Dr. Eng. Ir. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng.(Prac) selaku Kepala Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
4. Ir. Ari Wibowo ST., MT., Ph.D selaku dosen pendamping akademik penulis di Teknik Sipil Universitas Brawijaya atas segala nasihat dan arahnya selama belajar di kampus tercinta
5. Dr. rer. nat. Ir. Arief Rachmansyah selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam memberikan masukan dan bimbingan kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan
6. Dr. Eng. Ir. Yulvi Zaika MT. selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam memberikan masukan dan bimbingan kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan
7. Dr. Ir. As’ad Munawir, MT. selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu untuk menguji dan memberikan masukan kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan
8. Seluruh Dosen dan Staff Fakultas Teknik Universitas Brawijaya atas segala ilmu yang telah diberikan kepada penulis
9. Orang tua dan **Ahida Mu’izun** serta semua keluarga yang selalu memberikan doa, semangat, serta kasih sayang setiap harinya kepada penulis
10. Sahabat-sahabat terdekat penulis selama perkuliahan Jafar Aji Pramono, Irfan Herdianto dan Dion Satya yang selalu menerima keresahan, memberikan bantuan dan dukungan di masa masa terberat selama perkuliahan kepada penulis
11. Sahabat jaman jadi mahasiswa baru (Firman, Andi, Fanani, Dani dan Rasyidin) yang selalu menemani serta mendukung pada jaman adaptasi dengan kehidupan perkuliahan

12. Sahabat SMA penulis (Ming, Fahmi, Alip, Rafli, Ismail, Setiawan, Dzulfiqor, Irpan, Hanip, Reno, Mamad, Pras, Farhan dan Sandrio) yang selalu menjadi partner bermain saat liburan perkuliahan tiba

13. Sahabat sekaligus partner skripsi yaitu kelompok PVD tercinta (Dyka Retry Rasyid, Willy Anggi Abadi, Fritz Risty Randan dan Farhan Prima Chandra) yang memberikan semangat serta emosional saat dilapangan dan juga menjadi partner yang sangat solid dalam membantu hingga penelitian dan skripsi ini selesai

14. Seluruh Keluarga Besar Sipil 2016 (6116) yang telah memberikan doa dan semangat kepada penulis

15. Semua pihak yang telah memberi dukungan pada penulis, yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat-Nya dan membalas semua amal kebaikan mereka semua. Penulis sadar bahwa penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, karena keterbatasan kemampuan dan pengalaman penulis.

Oleh karena itu, segala bentuk masukan seperti kritik dan saran sangat membantu dan akan penulis terima dengan sangat senang hati.

Malang, 9 Juli 2020

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II.....	5
2.1 Tanah	5
2.1.1 Pengertian Tanah	5
2.1.2 Klasifikasi Tanah	5
2.1.3 Tanah Lunak.....	8
2.2 Konsolidasi	9
2.2.1 Koefisien Konsolidasi Vertikal (C_v)	10
2.2.2 Derajat Konsolidasi	12
2.2.3 Waktu Konsolidasi.....	13
2.2.4 Indeks Pemampatan (<i>Compression Index</i>).....	13
2.2.5 <i>Swelling Index (Indeks Pengembangan, C_s)</i>	14
2.2.6 Tekanan Prakonsolidasi (σ_c).....	14
2.2.7 Perhitungan Besarnya Penurunan Konsolidasi.....	15
2.3 Preloading	16
2.4 Prefabricated Vertical Drain (PVD)	16
2.4.1 Waktu Konsolidasi dengan PVD (<i>Pre fabricated Vertical Drain</i>)	18



2.4.2 Kedalaman Optimum <i>Prefabricated Vertical Drain</i>	19
2.4.3 Fungsi Penggunaan <i>Pre-fabricated Vertical Drain</i>	19
2.4.4 Metode <i>Pre-fabricated Vertical Drain</i>	20
2.4.5 Aplikasi PVD pada Tanah Lunak	20
2.4.6 Prakompresi dengan PVD	22
2.5 Uji Geser Baling-Baling (Vane Shear Test).....	23
2.5.1 Pengertian <i>Vane Shear</i>	23
2.5.2 Konfigurasi Alat.....	24
2.6 Uji Grain Size (ASTM D2216-92) (1996)	28
2.7 Uji Berat Jenis	29
2.8 Uji Kadar Air	30
BAB III.....	31
3.1 Waktu dan Tempat	31
3.2 Jenis Penelitian	31
3.3 Rencana Penelitian.....	31
3.3.1 Persiapan.....	31
3.3.2 Pekerjaan Lapangan	31
3.3.3 Pekerjaan Laboratorium (<i>Pembuatan Slurry</i>).....	32
3.3.4 Percobaan Penelitian	32
3.3.5 Pengumpulan Data	32
3.3.6 Diagram Alir Pengujian.....	35
3.4 Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Tanah.....	37
3.5 Analisis Data	37
BAB IV.....	37
4.1 Karakteristik Tanah Asli	37
4.1.1 Uji Density.....	38
4.1.2 Uji Kadar Air	38

4.1.3 Batas Atterberg.....	39
4.1.4 Uji Berat Jenis.....	40
4.2 Kalibrasi Alat Konsolidasi.....	40
4.3 Analisa Hasil Pengujian Tanpa PVD.....	42
4.3.1 Uji Konsolidasi.....	42
4.3.2 Uji Kuat Geser.....	46
4.4 Analisis Hasil Pengujian Menggunakan PVD.....	47
4.4.1 Uji Konsolidasi.....	48
4.4.1.1 Konsolidasi Tanah Sampel Menggunakan PVD Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 25cm.....	48
4.4.1.2 Konsolidasi Tanah Sampel Menggunakan PVD Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 30cm.....	55
4.4.1.3 Konsolidasi Tanah Sampel Menggunakan PVD Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 40cm.....	61
4.4.2 Uji Kuat Geser.....	66
4.4.2.1 Uji Vaneshear Tanah Sampel Menggunakan PVD Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 25cm.....	66
4.4.2.2 Uji Vaneshear Tanah Sampel Menggunakan PVD Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 30cm.....	67
4.4.2.3 Uji Vaneshear Tanah Sampel Menggunakan PVD Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 40cm.....	68
4.5 Perbandingan Konsolidasi, $C_v(t_{90})$, $C_v(t_{50})$, Indeks Pemampatan (C_c), Tekanan Air Pori dan Kuat Geser pada Sampel Tanah.....	69
4.5.1 Perbandingan Nilai Penurunan Pada Semua Sampel Tanah.....	69
4.5.2 Perbandingan Harga $C_v(t_{90})$ Pada Semua Sampel Tanah.....	70
4.5.3 Perbandingan Harga $C_v(t_{50})$ Pada Semua Sampel Tanah.....	70
4.5.4 Perbandingan Nilai C_c (Indeks Compression) pada Semua Sampel Tanah.....	71
4.5.5 Perbandingan Nilai Tegangan Air Pori Pada Semua Sampel Tanah.....	72

4.5.6 Perbandingan Nilai Penurunan dengan Memperhitungkan Smearzone Pada

Semua Sampel Tanah..... 73

4.5.7 Perbandingan Nilai Kuat Geser pada Semua Sampel Tanah..... 74

BAB V 75

5.1 Kesimpulan..... 75

5.2 Saran..... 76

DAFTAR PUSTAKA..... 77

LAMPIRAN..... 78



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Metode Kecocokan Log-Waktu (Casagrande, 1940)11

Gambar 2. 2 Metode Akar Waktu (Taylor, 1948) 12

Gambar 2. 3 Menentukan Tekanan Prakonsolidasi.....15

Gambar 2. 4 Prefabricated Vertical Drain (PVD)16

Gambar 2. 5 Proses Konsolidasi Tanpa PVD17

Gambar 2. 6 Proses Tanah Terkonsolidasi Dengan PVD.....17

Gambar 2. 7 Pola Pemasangan PVD18

Gambar 2. 8 Equivalent Diameter (dw) untuk PVD18

Gambar 2. 9 Metode Pemasangan PVD20

Gambar 2. 10 Daerah Terganggu (Smearzone).....21

Gambar 2. 11 Konfigurasi Vane Shear Test (Scnaid, 2009).....25

Gambar 2. 12 Tipe baling-baling Vane Shear Test (ASTM D2573)26

Gambar 2. 13 Hasil Kuat Geser Tak Terdrainase dari uji VST (Ortigao dan Collet, 1987)27

Gambar 3. 1 Skema Pemasangan Prefabricated Vertical Drain Pola Segiempat dengan Variasi Kedalaman.....32

Gambar 3. 2 Gambar Potongan Box dengan Kedalaman 25cm Prefabricated Vertical Drain33

Gambar 3. 3 Gambar Potongan Box dengan Kedalaman 30cm Prefabricated Vertical Drain33

Gambar 3. 4 Gambar Potongan Box dengan Kedalaman 40cm Prefabricated Vertical Drain34

Gambar 3. 5 Diagram Alir Metode Penelitian36

Gambar 4. 1 Hasil Investigasi Tanah dengan SPT.....37

Gambar 4. 2 Hubungan Kadar Air dengan Banyak Pukulan40

Gambar 4. 3 Hubungan Beban dan Beban yang Bekerja pada Kalibrasi Alat Uji 141

Gambar 4. 4 Hubungan Beban dan Beban yang Bekerja pada Kalibrasi Alat Uji 241

Gambar 4. 5 Hubungan Beban dan Beban yang Bekerja pada Kalibrasi Alat Uji 342

Gambar 4. 6 Hubungan antara Tegangan dan Cv untuk t9043

Gambar 4. 7 Hubungan antara Tegangan dengan Cv untuk t5044

Gambar 4. 8 Hubungan antara Skala Log Tegangan dan Angka Pori.....45

Gambar 4. 9 Hubungan antara Kadar Ari terhadap Kuat Geser Tanah dengan Variasi Kadar Air46

Gambar 4. 10 Hubungan Tegangan dan Cv (t_{90}) pada Sampel Tanah Menggunakan PVD dengan Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 25cm	49
Gambar 4. 11 Hubungan Tegangan dan Cv (t_{50}) pada Sampel Tanah Menggunakan PVD dengan Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 25cm	49
Gambar 4. 12 Potongan Melintang Box Benda Uji yang Berisi Tanah dan PVD.....	51
Gambar 4. 13 Menentukan Nilai Prakonsolidasi (σ_c') pada Sampel Tanah Menggunakan PVD 25cm dengan Menggunakan Grafik e-long σ	53
Gambar 4. 14 Perbandingan Penurunan Laboratorium dan Smearzone	55
Gambar 4. 15 Hubungan Tegangan dan Cv (t_{90}) pada Sampel Tanah Menggunakan PVD dengan Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 30cm	56
Gambar 4. 16 Hubungan Tegangan dan Cv (t_{50}) pada Sampel Tanah Menggunakan PVD dengan Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 30cm	56
Gambar 4. 17 Potongan Melintang Box Benda Uji yang Berisi Tanah dan PVD.....	59
Gambar 4. 18 Menentukan Nilai Prakonsolidasi (σ_c') pada Sampel Tanah Menggunakan PVD 30cm dengan Menggunakan Grafik e-long σ	59
Gambar 4. 19 Hubungan Tegangan dan Cv (t_{90}) pada Sampel Tanah Menggunakan PVD dengan Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 30cm	62
Gambar 4. 20 Hubungan Tegangan dan Cv (t_{50}) pada Sampel Tanah Menggunakan PVD dengan Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 30cm	63
Gambar 4. 21 Perbandingan Nilai Konsolidasi Pada Semua Sampel Tanah	69
Gambar 4. 22 Perbandingan Harga Cv(t_{90}) Pada Semua Sampel Tanah	70
Gambar 4. 23 Perbandingan Harga Cv(t_{50}) Pada Semua Sampel Tanah	71
Gambar 4. 24 Perbandingan Nilai Cc pada Semua Sampel Tanah.....	72
Gambar 4. 25 Perbandingan Nilai Tegangan Air Pori pada Semua Sampel Tanah	72
Gambar 4. 26 Perbandingan Nilai Konsolidasi dengan Memperhitungkan Smearzone Pada Semua Sampel Tanah	73
Gambar 4. 27 Perbandingan Nilai Kuat Geser Pada Semua Sampel Tanah	74



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi tanah USCS	7
Tabel 2. 2 Hubungan Persamaan untuk Indeks Pemampatan dengan Jenis Tanah	14
Tabel 2. 3 Rasio Permeability Zone Terganggu, kh/ks	21
Tabel 2. 4 Error pada pengujian vane shear test (ASTM D2573)	24
Tabel 2. 5 Rekomendasi ukuran baling-baling VST (ASTM D2573)	25
Tabel 2. 6 Ukuran saringan butiran tanah	28
Tabel 2. 7 Berat Jenis Tanah	29
Table 3. 1 Variasi Jarak dan Kedalaman PVD Pola Persegi kedalaman	37
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Density Tanah Asli	38
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Kadar Air	39
Tabel 4. 3 Batas Plastis pada Tanah Asli	39
Tabel 4. 4 Batas Cari pada Tanah Asli	39
Tabel 4. 5 Berat Jenis pada Tanah Asli	40
Tabel 4. 6 Pemberian Beban Bertahap pada Setiap Alat Uji dengan Nilai Tegangan Sama pada Variasi Sampel yang Berbeda	42
Tabel 4. 7 Hasil Uji Kadar Air	43
Tabel 4. 8 Nilai Cv Tanpa Menggunakan PVD dengan Metode Akar Waktu (t90) dan Log Waktu (t50)	43
Tabel 4. 9 Hubungan Nilai Penurunan dengan Angkat Pori	44
Tabel 4. 10 Hasil Penurunan pada Sampel Tanah Tanpa PVD	45
Tabel 4. 11 Tegangan Air Pori pada Sampel Tanah Tanpa PVD	46
Tabel 4. 12 Harga Kuat Geser (Su) pada Sampel Tanah Tanpa Menggunakan PVD	47
Tabel 4. 13 Hasil Uji Kadar Air PVD Kedalaman 25cm	48
Tabel 4. 14 Harga Cv dengan Metode Akar Waktu (t90) dan Log Waktu (t50) pada Sampel Tanah Menggunakan PVD dengan Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 25cm	48
Tabel 4. 15 Perbandingan Nilai antara Tegangan, Penurunan dan Angka Pori pada Sampel Tanah Menggunakan PVD dengan Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 25cm	50
Tabel 4. 16 Penurunan pada Sampel Tanah Variasi Kedalaman PVD 25cm dengan Memperhitungkan Smear Zone	52
Tabel 4. 17 Perbandingan Penurunan Tanpa Mempertimbangkan Smearzone pada Sampel Tanah Menggunakan PVD Pola Segiempat dan Kedalaman 25cm dengan Penurunan yang Mempertimbangkan Smearzone	54



Tabel 4. 18 Tegangan Air Pori PVD Kedalaman 25cm.....	55
Tabel 4. 19 Hasil Uji Kadar Air PVD Kedalaman 30cm.....	55
Tabel 4. 20 Harga Cv dengan Metode Akar Waktu (t90) dan Log Waktu (t50) pada Sampel Tanah Menggunakan PVD dengan Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 30cm.....	55
Tabel 4. 21 Perbandingan Nilai antara Tegangan, Konsolidasi dan Angka Pori pada Sampel Tanah Menggunakan PVD dengan Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 30cm.....	57
Tabel 4. 22 Penurunan dengan Memperhitungkan SmearZone	58
Tabel 4. 23 Perbandingan Penurunan Tanpa Mempertimbangkan Smearzone pada Sampel Tanah Menggunakan PVD Pola Segiempat dan Kedalaman 30cm dengan Penurunan yang Mempertimbangkan Smearzone.....	60
Tabel 4. 24 Perbandingan Penurunan Tanpa Pertimbangan Smearzone dan Pertimbangan	61
Tabel 4. 25 Tegangan Air Pori PVD Kedalaman 30cm.....	61
Tabel 4. 26 Hasil Uji Kadar Air PVD Kedalaman 40cm.....	62
Tabel 4. 27 Harga Cv dengan Metode Akar Waktu (t90) dan Log Waktu (t50) pada Sampel Tanah Menggunakan PVD dengan Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 30cm.....	62
Tabel 4. 28 Perbandingan Nilai antara Tegangan, Konsolidasi dan Angka Pori pada Sampel Tanah Menggunakan PVD dengan Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 40cm.....	63
Tabel 4. 29 Penurunan dengan Memperhitungkan SmearZone	64
Tabel 4. 30 Perbandingan Penurunan Tanpa Mempertimbangkan Smearzone pada Sampel Tanah Menggunakan PVD Pola Segiempat dan Kedalaman 40cm dengan Penurunan yang Mempertimbangkan Smearzone.....	65
Tabel 4. 31 Perbandingan Penurunan Tanpa Pertimbangan Smearzone dan Pertimbangan	66
Tabel 4. 32 Tegangan Air Pori PVD Kedalaman 40cm.....	66
Tabel 4. 33 Hasil Uji Vaneshear pada Tanah yang Menggunakan PVD Pola Segiempat dengan Kedalaman 25cm.....	67
Tabel 4. 34 Hasil Uji Vaneshear pada Tanah yang Menggunakan PVD Pola Segiempat dengan Kedalaman 30cm.....	67
Tabel 4. 35 Hasil Uji Vaneshear pada Tanah yang Menggunakan PVD Pola Segiempat dengan Kedalaman 40cm.....	68
Tabel 4. 37 Perbandingan Nilai Penurunan Pada Semua Sampel Tanah.....	69
Tabel 4. 38 Perbandingan Harga Cv(t90) Pada Semua Sampel Tanah.....	70



Tabel 4. 39 Perbandingan Harga Cv(t50) Pada Semua Sampel Tanah70

Tabel 4. 40 Perbandingan Nilai Indeks Compression pada Semua Sampel Tanah71

Tabel 4. 41 Perbandingan Nilai Tegangan Air Pori72

Tabel 4. 42 Perbandingan Nilai Penurunan dengan Memperhitungkan Smearzone Pada Semua Sampel Tanah73

Tabel 4. 43 Perbandingan Nilai Kuat Geser Pada Semua Sampel Tanah74



Lembar Sengaja Dikosongkan



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur merupakan salah satu konsentrasi pada suatu negara berkembang seperti Negara Indonesia. Indonesia pada periode 2014 – 2019 dan sampai saat ini sedang mengencangkan pembangunan infrastruktur dalam bidang jalan tol. Pembangunan jalan tol ini bertujuan untuk meningkatkan pemerataan pembangunan di Indonesia agar tercapainya sila ke-5 yang berbunyi “Keadilan sosial bagi seluruh rakyat Indonesia” dan meningkatkan pelayanan distribusi barang ataupun jasa guna menunjang perkembangan dan pertumbuhan ekonomi suatu daerah. Salah satu jalan tol yang telah dibangun di Indonesia ialah jalan tol Pasuruan – Probolinggo yang menghubungkan daerah Pasuruan dengan Probolinggo. Dalam menyelenggarakan suatu konstruksi sudah sepatutnya penyelenggara mengetahui kondisi daerah yang akan dilakukannya pembangunan tersebut agar dapat mengetahui lebih awal masalah yang akan dihadapi sebelum ataupun sesudah diselenggarakan pembangunan.

Pembangunan yang dilakukan di Indonesia berhadapan dengan masalah tanah lunak yang sering kali dijumpai pada daerah pembangunan di Indonesia, berdasarkan penelitian (Guan Ye et al., 2006). Apabila tanah dasar pada konstruksi jalan tol berupa tanah lunak yang mempunyai daya dukung tanah dan kuat geser rendah maka konstruksi bisa mengalami penurunan dan menyebabkan kerusakan pada struktur konstruksi sebelum umur yang direncanakan.

Masalah yang ada pada konstruksi jalan tol tersebut bisa diperbaiki dengan cara melakukan pra-pembebanan dan dipadukan dengan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dengan timbunan yang akan diberikan secara bertahap di laboratorium. Pra-pembebanan memiliki tujuan pada kekuatan geser tanah, mengurangi kompresibilitas tanah, dan mencegah konsolidasi. *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) memiliki fungsi memperbesar permeabilitas pada tanah secara vertikal sehingga air pori yang berada pada lapisan tanah lunak dapat keluar dengan mudah dan mempercepat terjadinya konsolidasi. Hardiyatmo (2018) menyebutkan bahwa proses konsolidasi dapat diamati dengan pemasangan piezometer, untuk mencatat perubahan tekanan air pori, durasi waktu penurunan konsolidasi, serta besarnya penurunan konsolidasi yang dapat diukur dengan berpedoman pada titik referensi ketinggian di tempat tertentu.

Menurut Mc. Phail dkk. (2000) besarnya penurunan konsolidasi akibat beban fondasi dipengaruhi oleh antara lain : (1) jenis tanah lempung, (2) ketebalan lapisan tanah lempung, (3) kedalaman fondasi, (4) intensitas beban, (5) ketebalan lapisan pasir di atas tanah lempung, dan (6) dimensi fondasi. Adapun 2 (dua) pengaruh konsolidasi yang disebutkan oleh Mc. Phail dkk. (2000) adalah masalah yang terjadi pada jalan tol Pasuruan – Pandaan. Perbaikan tanah yang dilakukan ialah membuat pembesaran terhadap permeabilitas tanah menggunakan *Prefabricated Vertical Drain* sehingga dapat meningkatkan laju infiltrasi. Selain konsolidasi yang harus diperhatikan dalam perbaikan tanah tersebut ada satu factor yang harus mendapatkan perhatian dalam memperbaiki tanah tersebut ialah kuat geser (*Shear Strength*).

Kekuatan geser tanah adalah kemampuan tanah dalam menahan tekanan tanpa terjadi keruntuhan. Pengujian kuat geser tanah di laboratorium dapat dilakukan berbagai uji geser, seperti Unconfined Compression, Laboratory Vane Shear, Direct Shear, dan Triaxial Apparatus. Uji *Vane Shear* adalah uji yang digunakan untuk mengetahui kuat geser tanah di lapangan. Dalam pengujian tanah dengan *vane shear*, data yang dapat diambil adalah berupa torsi saat tanah mengalami keruntuhan geser akibat rotasi sudut sudut. Tes *vane shear* di laboratorium akan dilakukan terhadap sampel tanah yang telah dilakukan pengujian konsolidasi serta penambahan PVD.

Penelitian terdahulu telah dilakukan, diantaranya adalah perencanaan perbaikant tanah lunak di daerah Bandung dengan metode pra-pembebanan yang dikombinasikan dengan PVD dan PHD dengan mengukur waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konsolidasi 90%, efektivitas pola pemasangan PVD dan daya dukung tiang pancang. Hasil yang didapatkan, yaitu dengan menggunakan pra-pembebanan kombinasi PVD dan PHD untuk mencapai waktu konsolidasi 90% lebih cepat 1052 bulan untuk zona 1 dan 1196 bulan untuk zona 2 dengan jarak 1,3 m bila dibandingkan dengan tanpa menggunakan PVD dan PHD (Ika, 2018). Selain itu, pemasangan pola PVD segiempat lebih efektif dibandingkan pola persegi. Daya dukung tiang pancang meningkat dua kali lipat setelah menggunakan pra-pembebanan kombinasi PVD dan PHD. Kesimpulannya, penggunaan PVD dapat mempercepat waktu konsolidasi tanah dikarenakan dengan adanya PVD dapat memperbesar permeabilitas.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan sebelumnya, maka dapat dirumuskan beberapa masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini, diantaranya:

1. Bagaimana karakteristik tanah lunak yang di teliti berdasarkan sifat fisik tanah dengan variasi kedalaman PVD pola segiempat?
2. Berapa besar penurunan pada tanah yang diteliti dengan metode prapembebanan yang dikombinasikan memakai variasi kedalaman PVD pola segiempat?
3. Berapa besar daya dukung tanah yang terjadi akibat variasi kedalaman PVD pola segiempat?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memperjelas ruang lingkup penelitian, maka pembatasan masalah diberikan sebagai berikut:

1. Benda uji yang digunakan sebagai sampel adalah tanah *disturbed* di Jalan Tol Pasuruan – Probolinggo.
2. Penelitian dilakukan dalam bentuk penelitian berskala kecil yaitu di Laboratorium Mekanika Tanah.
3. Perlakuan pada sampel, diantaranya:
 - Penambahan variasi kedalaman PVD pola segiempat dengan beban bertahap.
 - Beban yang diberikan bertahap pada sampel yang ditinjau dengan variasi yang disesuaikan dengan faktor lengan dan ukuran box.
 - Digunakan 3 (tiga) sampel dalam box PVD untuk mengetahui performa PVD dalam usaha perbaikan tanah lunak, dimana sampel tanah diuji menggunakan variabel bebas dan variabel tetap yaitu Variasi pola segiempat dengan kedalaman antar PVD adalah 25cm, 30cm, dan 40cm sementara variabel tetap adalah salah satu dari jarak 20 cm.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik tanah lunak yang di teliti berdasarkan sifat fisik tanah dengan variasi kedalaman PVD pola segiempat.
2. Mengetahui besar penurunan pada tanah yang diteliti dengan metode prapembebanan yang dikombinasikan memakai variasi kedalaman PVD pola segiempat.
3. Mengetahui perubahan kuat geser tanah yang terjadi akibat variasi kedalaman PVD pola segiempat.



1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Bagi praktisi lapangan, diantaranya:
 - Sebagai informasi data karakteristik tanah lunak di daerah Jalan Tol Pasuruan - Pandaan
 - Dengan mengetahui hubungan antara kadar air dengan besarnya nilai daya dukung tanah diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam menentukan solusi yang tepat dalam mengatasi permasalahan di daerah tersebut.
 - Mempercepat waktu penurunan tanah yang akan ditinjau.
 - Meningkatkan daya dukung tanah dengan menggunakan PVD pola persegi dan segiempat dengan timbunan yang diberikan secara bertahap.
2. Sebagai Pengetahuan bagi masyarakat bahwa metode dengan menggunakan PVD meruakan salah satu solusi untuk meningkatkan daya dukung tanah lunak.
3. Sebagai acuan bagi penelitian selanjutnya untuk memperbaiki tanah lunak dengan penggunaan PVD pola segiempat .
4. Bagi kalangan akademisi, sebagai referensi yang dapat digunakan sebagai acuan penelitian di bidang geoteknik dan mekanika tanah khususnya yang terkait dengan permasalahan tanah lunak.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

2.1.1 Pengertian Tanah

Tanah merupakan suatu lapisan sedimen lepas seperti kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), lempung (*clay*) atau suatu campuran dari bahan tersebut (Smith, M. J. 1984).

Adapun menurut praktisi teknik sipil, tanah dapat diartikan sebagai berikut:

1. Tanah sebagai “Laboratorium Kimia Alam” dimana proses dekomposisi dan reaksi sintesis kimia berlangsung secara terang. Disini dapat dilihat bahwa tanah adalah tempat berlangsungnya semua reaksi kimia di alam (Berzellius, 1803).
2. Tanah tidak hanya sebagai batu-batuan, namun juga bagian dari petografi (*petros* = batuan) pertanian. Tanah adalah produk hancuran iklim (*weathering*) yang bercampur dengan bahan organik (Falluo, 1871).
3. Tanah sebagai tabung reaksi dimana seseorang dapat mengetahui jumlah dan jenis hara tanaman. Tanah merupakan gudang persediaan mineral-mineral yang sifatnya statis (Justus Von Liebig, 1840).

Dalam penyelenggaraan konstruksi, tanah mempunyai peran yang sangat besar dalam pembangunan bangunan karena tanah memiliki fungsi untuk menahan beban konstruksi. Oleh sebab itu, tanah yang akan digunakan untuk pembangunan harus dipersiapkan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai tempat pondasi dari bangunan tersebut.

2.1.2 Klasifikasi Tanah

Adapun klasifikasi tanah yang digunakan yaitu berdasarkan sistem *Unified Soil Classification System* (USCS). Klasifikasi ini dibuat oleh A. Cassagrande pada tahun 1942 dan direvisi pada tahun 1952 oleh *The Corps of Engineers and The US Bureau of Reclamation*. Pada prinsipnya, dalam klasifikasi tanah terbagi menjadi dua yaitu:

- a. Tanah Berbutir Kasar (*coarse-grained soil*), yaitu: tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos saringan nomer 200. Simbol kelompok ini adalah :

G = tanah berkerikil (*Gravel*)

S = tanah berpasir (*Sand*)

W = tanah bergradasi baik (*Well Graded*)

P = tanah bergradasi buruk (*Poorly Graded*)

b. Tanah Berbutir Halus (*fine-grained-soil*), yaitu tanah dimana lebih dari 50% berat

total contoh tanah lolos saringan nomer 200. Simbol kelompok ini adalah:

M = tanah lanau (*silt*) anorganik

C = tanah lempung (*clay*) anorganik

O = tanah lanau-organik dan lempung organik

L = tanah plastisitas rendah ($LL < 50$) (*low plasticity*)

H = tanah plastisitas tinggi ($LL > 50$) (*high plasticity*)

Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah Sistem *Unified Soil Classification System* (Hardiyatmo, 2006) adalah sebagai berikut:

1. Tentukan apakah tanah berupa butiran halus atau butiran kasar secara visual atau dengan cara menyaringnya dengan saringan No. 200.
2. Jika tanah berupa butiran kasar:
 - a. Saring tanah tersebut dan gambarkan grafik distribusi butiran.
 - b. Tentukan persen butiran lolos saringan No. 4. Bila persentase butiran yang lolos kurang dari 50%, klasifikasikan tanah tersebut sebagai kerikil. Bila persen butiran yang lolos lebih dari 50%, klasifikasikan sebagai pasir.
 - c. Tentukan jumlah butiran yang lolos saringan no.200. Jika persentase butiran yang lolos kurang dari 5%, pertimbangkan bentuk grafik distribusi butiran dengan menghitung C_u dan C_c . Jika termasuk bergradasi baik, maka klasifikasikan sebagai GW (bila kerikil) atau SW (bila pasir). Jika termasuk bergradasi buruk, klasifikasikan sebagai GP (bila kerikil) atau SP (bila pasir). Jika persentase butiran tanah yang lolos saringan no.200 diantara 5 sampai 12%, tanah akan mempunyai simbol dobel dan mempunyai sifat keplastisan (GW-GM, SW-SM, dan sebagainya).
 - d. Jika persentase butiran yang lolos saringan no.200 lebih besar 12%, harus dilakukan batas-batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. Kemudian, dengan menggunakan diagram plastisitas, ditentukan klasifikasinya (GM, GC, SM, GM-GC atau SM- SC).
3. Jika tanah berbutir halus :
 - a. Kerjakan uji batas-batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. Jika batas cair lebih dari 50%, klasifikasikan sebagai H (plastisitas tinggi) dan jika kurang dari 50%, klasifikasikan sebagai L (plastisitas rendah).

- b. Untuk H (plastisitas tinggi), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas dibawah garis A, tentukan apakah tanah organik (OH) atau anorganik (MH). Jika plotnya jatuh diatas garis A, klasifikasikan sebagai CH.
- c. Untuk L (plastisitas rendah), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas dibawah garis A dan area yang diarsir, tentukan klasifikasi tanah tersebut sebagai organik (OL) atau anorganik (ML) berdasar warna, bau, atau perubahan batas cair dan batas plastisnya dengan mengeringkannya didalam oven.
- d. Jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas jatuh pada area yang diarsir, dekat dengan garis A atau nilai LL sekitar 50, gunakan simbol dubel.

Cara menentukan klasifikasi tanah berdasarkan Unified Soil Classification System seperti pada Tabel 2.1 berikut :

Tabel 2. 1 Klasifikasi tanah USCS

Divisi Utama	Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi	
Tanah berbutir kasar > 50% butir tertahan saringan No. 200	Kerikil 50% Fraksi kasar tertahan saringan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{20})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dubel simbol	
		GP		
		GM		
		GC		
	Pasir 50% Fraksi kasar tertahan saringan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{20})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dubel simbol
			SP	
		Pasir dengan butiran halus	SM	Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas Atterberg yang termasuk dalam daerah yang di arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol.
			SC	
Tanah berbutir halus > 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan lempung batas cair $\leq 50\%$	ML		
		CL		
		OL		
	Lanau dan lempung batas cair $\geq 50\%$	MH		
		CH		
		OH		
		PT		

Sumber : Raharmadi (2017)

2.1.3 Tanah Lunak

Tanah lunak adalah tanah kohesif yang mempunyai sifat pemampatan yang tinggi, gaya geser yang rendah, koefisien permeabilitas yang rendah dan mempunyai daya dukung yang rendah. Penyebaran tanah lunak di Indonesia menurut Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral (sebaran tanah lunak di Indonesia 2019) umumnya di jumpai pada daerah daratan pantai, antara lain: Daratan pantai timur Sumatera, Pantai Utara Jawa, Pantai Barat-Selatan Pulau Kalimantan dan Pantai Selatan Pulau Papua luasnya diperkirakan sekitar 20 juta hektar atau sekitar 10 persen dari luas total daratan di Indonesia. Apabila pembebanan konstruksi melampaui daya dukung kritisnya maka besarnya penurunan akan meningkat dan dalam jangka waktu tertentu konstruksi akan mengalami keruntuhan.

Suatu bangunan akan tetap dibangun walaupun berbagai macam alasan seperti kondisi tanah dasar untuk tempat dibuatnya pondasi dalam ternyata adalah tanah lunak yang memiliki daya dukung tanah yang rendah serta memiliki nilai kuat geser yang terlampau kecil sehingga menyebabkan terjadinya penurunan pada pondasi Untuk menentukan jenis tanah lunak yaitu dengan cara pengujian dilapangan memakai SPT (Standard Penetration Test). Sewaktu dilakukan pengeboran inti pada lapisan tanah yang di uji, mata bor dilepas dan diganti dengan suatu alat yang disebut standard split barrel sampler kemudian pipa bor di turunkan kembali sampai alat tersebut menumpu lapisan tanah yang akan di uji. Nilai dari N didefinisikan sebagai jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk penetrasi silinder split barrel sampler sedalam 30,5 cm pada setiap pengujian.berikut merupakan tabel klasifikasi tanah berdasarkan data SPT.

Tabel 2. 2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Data SPT

Penetration resistance N (blows/305 mm)	Unconfined Compressive strength (kN/m ²)	Consistency
< 2	< 24	Very soft
2 – 4	24 – 48	Soft
4 – 8	48 – 96	Medium
8 – 15	96 – 192	Stiff
15 – 30	192 – 388	Very stiff
>30	> 388	Hard

Sumber:Terzaghi dan Peck,1948

Salah satu metode untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan menggunakan Teknik Prakompresi. Prakompresi adalah suatu proses pemampatan tanah pondasi dengan jalan pemberian pembebanan sementara (prabeban/*preloading*) sebelum konstruksi yang sesungguhnya didirikan. Proses konsolidasi akan semakin cepat terjadi dengan menggunakan metode prakompresi yang dikombinasikan dengan pemasangan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD). PVD adalah sistem drainase buatan yang dipasang vertikal di dalam lapisan tanah lunak. Sistem drainase vertikal ini mempunyai bentuk berupa sabuk berpenampang persegi panjang, terdiri dari bagian luar berupa penyaring yang terbuat dari bahan sintetik seperti geotextile, kertas atau goni dan bagian dalam yang berfungsi sebagai media aliran air yang terbuat dari plastik atau serabut organik.

Penggunaan PVD dalam perbaikan tanah lunak didapatkan dari referensi penelitian terdahulu, salah satu contoh penelitian terdahulu ialah skripsi atas nama Ragilya Maharani dengan judul “Perubahan Kekuatan Tanah Lunak akibat Pemasangan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) Pola Segiempat dengan Variasi Panjang”. Penelitian terdahulu tersebut menyatakan bahwa pemasangan *Prefabricated Vertical Drain* pada perbaikan tanah dengan pola segiempat dan variasi panjang dapat menaikkan harga koefisien kompresi sehingga mengakibatkan besarnya kenaikan penurunan konsolidasi sebesar 148% dengan pemasangan panjang pvd 20cm. Kombinasi sistem ini bertujuan untuk memperpendek waktu perbaikan lapisan tanah lunak yang cukup tebal karena dengan penggunaan PVD akan menyebabkan terjadinya aliran air pori arah radial/horizontal selain aliran arah vertikal yang menyebabkan air pori dapat dikeluarkan dengan lebih cepat.

2.2 Konsolidasi

Konsolidasi adalah proses berkurangnya volume atau berkurangnya rongga pori dari tanah lunak akibat pembebanan, dimana prosesnya dipengaruhi oleh kecepatan terperasnya air pori keluar dari rongga pori tanah yang berlanjut pada penurunan muka tanah (Hardiyatmo, 2018). Konsolidasi juga salah satu sebab yang paling banyak dapat menyebabkan keruntuhan fondasi bangunan maka penting bagi penyelenggara konstruksi untuk memahami mekanisme terjadinya konsolidasi. Konsolidasi tanah bisa diamati dengan cara pemasangan piezometer. Piezometer digunakan untuk mencatat perubahan tekanan air pori dengan waktunya.

Besar nilai penurunan dapat diukur menggunakan beberapa titik dalam sampel tanah lalu dihitung rata-rata dari seluruh titik tersebut. Konsolidasi tanah terbagi menjadi dua macam, yaitu terkonsolidasi secara normal (*Normally Consolidated*) dan terkonsolidasi

berlebihan (*Overconsolidated*). *Normally consolidated* adalah dimana tekanan efektif overburden pada saat ini adalah merupakan tekanan maksimum yang pernah dialami oleh tanah itu. *Overconsolidated* adalah dimana tekanan efektif overburden pada saat ini adalah lebih kecil dari tekanan yang pernah dialami oleh tanah sebelumnya. Tekanan efektif overburden maksimum yang pernah dialami sebelumnya dinamakan tekanan prakonsolidasi (*Preconsolidation Pressure*). Pengujian yang dilakukan ialah uji konsolidasi konvensional di Laboratorium dengan benda uji berupa box persegi dengan ukuran mulai dari 50cm x 50cm dan 60cm x 60cm.

Peralatan yang digunakan untuk menunjang pengujian ialah berupa piezometer, beban berupa baja besi berbentuk plat dengan beberapa variasi berat, *prefabricated vertical drain* dan kain pori. Bayangan yang terjadi jika tanah uji yang mengalami konsolidasi ialah turunnya permukaan tanah dengan diikuti air yang keluar di permukaan karena adanya bantuan *prefabricated vertical drain* sehingga air lebih cepat untuk mengalir keatas. Selain itu, piezometer berfungsi untuk melihat tekanan air pori di alat uji karena pemberian beban sehingga mengakibatkan penambahan tegangan.

2.2.1 Koefisien Konsolidasi Vertikal (C_v)

Koefisien konsolidasi vertikal (C_v) ialah koefisien yang dapat menentukan kecepatan pengaliran air pada arah vertikal dalam tanah. Kecepatan penurunan perlu diperhatikan karena bisa merusak struktur bangunan tersebut apabila terjadi penurunan yang sangat besar. Pada umumnya konsolidasi berlangsung satu arah saja, yaitu arah vertikal, maka koefisien konsolidasi sangat berpengaruh terhadap kecepatan konsolidasi yang akan terjadi. Ada dua cara untuk menentukan harga C_v yaitu seperti:

a) Cara log waktu (Casagrande dan Fadum 1940)

Cara ini disebut dengan metode kecocokan log-waktu Casagrande adapun prosedur untuk menggunakan metode ini adalah sebagai berikut:

1. Gambarkan grafik penurunan terhadap log waktu untuk beban yang digunakan, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.1**
2. Titik awal kurva ditentukan apabila telah mendekati parabola.

Tentukan dua titik yaitu pada saat t_1 (titik P) dan $4t_1$ (titik Q). Jarak vertikal PQ diukur (misalnya x). kedudukan $R = R_0$ digambarkan dengan mengukur jarak x vertikal diatas titik P. Untuk pengontrolan ulangi dengan pasangan titik lain.

3. Titik $U = 100\%$, atau R_{100} didapat dari titik potong dua bagian linier kurva, yaitu titik potong bagian lurus terkonsolidasi primer dan sekunder.

4. Titik $U = 50\%$ ditentukan dengan :

$$R_{50} = R_0 + R_{100}/2$$

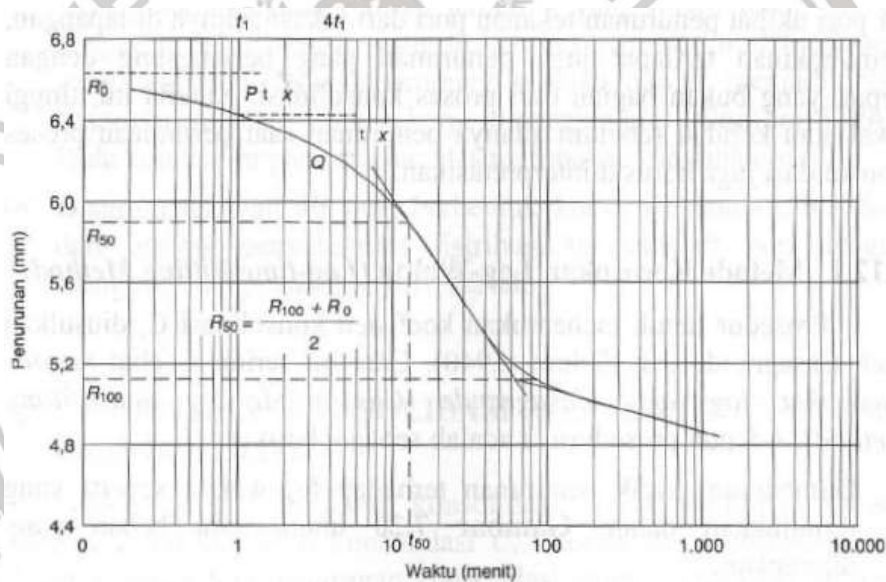
Dari sini diperoleh t_{50} . Nilai T_v sehubungan dengan $U = 50\%$ adalah 0,197, sehingga C_v dinyatakan dalam persamaan

$$C_v = \frac{0,197H_t^2}{t_{50}} \quad (2-1.1)$$

C_v = Coefisien consolidation (m²/dt)

H_t = Tinggi rata-rata sampel (m)

t_{50} = Waktu untuk derajat konsolidasi 50% (dt)



Gambar 2. 1 Metode Kecocokan Log-Waktu (Casagrande, 1940)

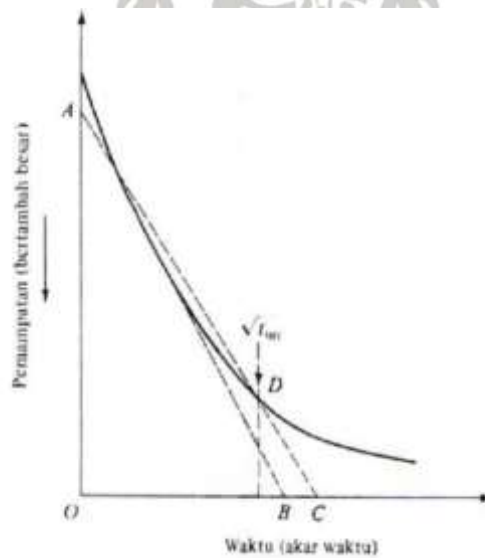
b) Cara akar waktu (Square Root of Time Method, Taylor 1948)

Metode akar waktu digunakan untuk menentukan C_v dengan cara menggambar hasil uji konsolidasi pada grafik hubungan akar waktu terhadap penurunan seperti yang terlihat pada **Gambar 2.2**. Kurva teoritis yang terbentuk biasanya linier sampai kira-kira 60% konsolidasi. Karakteristik cara akar waktu ini adalah dengan menentukan derajat konsolidasi $U = 90\%$ tersebut abis OR akan sama dengan 1,15 kali abis QQ. Prosedur untuk memperoleh derajat konsolidasi $U = 90\%$ adalah sebagai berikut:

1. Gambarkan grafik hubungan penurunan terhadap akar waktu dari data hasil uji kosolidasi pada suatu beban tertentu
2. Titik $U=0\%$ diperoleh dengan memperpanjang garis dari bagian awal kurva yang lurus sehingga memotong absis di titik B. Anggapan kurva awal berupa garis lurus adalah konsisten dengan anggapan bahwa kurva awal berbentuk parabola.
3. Garis lurus AB di gambar dengan absis OC sama dengan 1.15 kali absis OB. Perpotongan dari PR dan kurva merupakan titik R_{90} pada absis. Dari sini diperoleh $\sqrt{t_{90}}$
4. Faktor waktu T_v untuk derajat derajat $U=90\%$ adalah 0,848. Pada keadaan ini, koefisien konsolidasi C_v dinyatakan oleh persamaan:

$$C_v = \frac{0,848H_t^2}{t_{90}} \quad (2-1.2)$$

Jika akan menghitung batas konsolidasi primer ($U=100\%$) titik R_{100} pada kurva dapat diperoleh dengan mempertimbangkan menurut perbandingan kedudukannya.



Gambar 2. 2 Metode Akar Waktu (Taylor, 1948)

2.2.2 Derajat Konsolidasi

Derajat konsolidasi tanah (U) adalah perbandingan penurunan tanah pada waktu tertentu (U) dengan penurunan tanah total (t). Ketika proses kondolidasi sudah selesai, hal tersebut menandakan bahwa derajat konsolidasi pada tanah tersebut telah mencapai 100%.

($U_v = 100\%$). Waktu yang diperlukan untuk mencapai $U_v = 100\%$ disebut t_{100} . Derajat konsolidasi pada jarak z pada suatu waktu t adalah :

$$U_z = 1 - \frac{U_z}{U_0} \quad (2-2)$$

Dimana :

U_z = Tekanan air pori pada jarak z waktu t

Pada saat penurunan sudah berhenti, besar penurunan sudah maksimum (S_{total}). Menurut *Terzaghi*, derajat konsolidasi berbanding lurus dengan waktu. Persamaan yang digunakan untuk mencari derajat konsolidasi sebelum t_{100} :

$$U_v = \frac{St}{S} \times 100\% \quad (2-3)$$

Dimana :

U_v = Derajat konsolidasi

S = Besarnya penurunan pada waktu tertentu

S_t = Besarnya penurunan konsolidasi total

2.2.3 Waktu Konsolidasi

Pada tanah yang tidak dikonsolidasi dengan penggunaan PVD, pengaliran yang terjadi hanyalah pada arah vertikal saja. Perhitungan lamanya waktu konsolidasi dilapangan dapat mempergunakan rumus sebagai berikut :

$$t = \frac{T_v \cdot h^2}{C_v} \quad (2-4)$$

dimana :

T_v = Faktor waktu, tergantung dari derajat konsolidasi (U)

H = panjang maksimum lintasan drainase (cm)

C_v = koefisien konsolidasi (cm^2 / dtk)

t = waktu konsolidasi (dtk)

2.2.4 Indeks Pemampatan (*Compression Index*)

Indeks kompresi adalah suatu nilai parameter yang digunakan untuk memprediksi besarnya nilai penurunan suatu tanah akibat konsolidasi. Nilai C_c dapat dicari dari kurva yang menunjukkan hubungan antara angka pori dan tekanan. Apabila tekanan tanah σ_0' dinaikkan menjadi σ_1' maka nilai angka pori turun dari e_0 menjadi e_1 , maka persamaan diatas dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$C_c = \frac{e_0 - e_1}{\log \frac{\sigma_1'}{\sigma_0'}} \quad (2-5)$$



Selain persamaan 2.5 berikut merupakan beberapa rumus empiris :

Tabel 2. 3 Hubungan Persamaan untuk Indeks Pemampatan dengan Jenis Tanah

Persamaan	Referensi	Batasan
$C_c = 0,007 \cdot (LL-7)$	Skepton	Lempung terganggu (remolded)
$C_c = 0,01 \cdot w_n$		Lempung Chicago
$C_c = 1,15(e_0 - 0,27)$	Nishida	Lempung
$C_c = 0,30 \cdot (e_0 - 0,27)$	Hough	Tanah kohesif bukan organik
$C_c = 0,0115 \cdot w_n$		Tanah organik
$C_c = 0,0046 \cdot (LL-9)$		Lempung Brazill
$C_c = 0,75 \cdot (e_0 - 0,5)$		Tanah plastisitas rendah
$C_c = 0,208 \cdot e_0 + 0,0083$		Lempung Chicago
$C_c = 0,156 \cdot e_0 + 0,0107$		Semua Lempung

Sumber :Rendon-Herrero (1980)

Catatan :

e_0 = angka pori tanah lapangan

w_n = kadar air tanah lapangan

2.2.5 Swelling Index (Indeks Pengembangan, C_s)

Indeks pengembangan merupakan kemiringan dari garis pengembangan (*Swelling Line*). Besarnya nilai *Swelling Index* lebih kecil dibandingkan indeks kompresi. Selain itu, ada indeks pemampatan kembali (C_r) yaitu kemiringan dari kurva pelepasan beban dan pembebanan kembali pada grafik e -log p .

$$C_s \approx C_r \approx \frac{1}{5} \text{ sampai } \frac{1}{10} \cdot C_c \quad (2-6)$$

2.2.6 Tekanan Prakonsolidasi (σ_c)

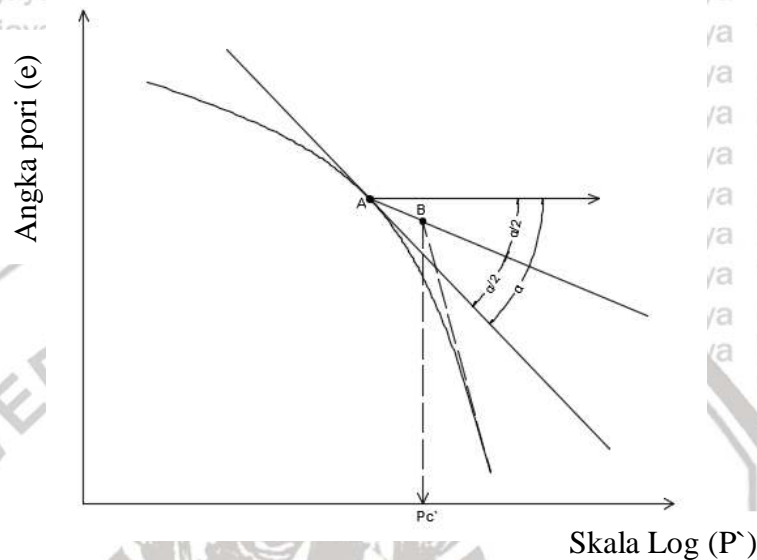
Tekanan prakonsolidasi merupakan tekanan tertinggi yang pernah dialami oleh tanah di masa lampau. Cara yang paling sering digunakan untuk mencari nilai tekanan prakonsolidasi ialah cara *Casagrande* (1936), dengan cara menggunakan grafik hubungan e -log p .

Berikut merupakan langkah – langkah untuk mencari besarnya nilai tekanan prakonsolidasi dari *Casagrande* :

1. Pilihlah menggunakan pandangan mata satu titik yang memiliki jari – jari minimum (atau kurva maksimum) pada kurva konsolidasi (titik A dalam **Gambar 2.1**)
2. Gambarkan garis horizontal dari titik A (sejajar absis skala log).
3. Gambarkan sebuah garis singgung pada kurva lewat titik A.



4. Bagi dua sudut yang dibuat oleh butir (2) dan (3).
5. Perpanjang bagian lurus dari kurva pemampatan aslinya sampai memotong garis bagi sudut butir (4). Titik potong dari dua garis ini adalah tekanan prakonsolidasi (σ_c) yang dicari, yaitu titik B dari **Gambar 2.1**



Gambar 2. 3 Menentukan Tekanan Prakonsolidasi

2.2.7 Perhitungan Besarnya Penurunan Konsolidasi

Besarnya penurunan konsolidasi dapat dicari mempergunakan persamaan :

- a. Apabila $p'_o + \Delta p_1 \leq p_c$

$$S_c = \frac{C_s H}{1+e_o} \log\left(\frac{p'_o + \Delta p_1}{p'_o}\right) \quad (2-7.1)$$

- b. Apabila $p'_o + \Delta p_1 + \Delta p_2 \geq p_c$

$$S_c = \frac{C_s H}{1+e_o} \log \frac{p'_c}{p'_o + \Delta p_1} + \frac{C_c H}{1+e_o} \log\left(\frac{p'_o + \Delta p_1 + \Delta p_2}{p'_o + \Delta p_1}\right) \quad (2-7.2)$$

- c. Apabila $p'_o + \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 > p_c$

$$S_c = \frac{C_c H}{1+e_o} \log\left(\frac{p'_o + \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3}{p'_o + \Delta p_1 + \Delta p_2}\right) \quad (2-7.3)$$

dimana:

S = pemampatan akibat proses konsolidasi (m)

C_c = indeks kompresi tanah

C_s = indeks pengembangan tanah

P_o = tegangan overburden efektif

P_c = tegangan prakonsolidasi efektif

ΔP = penambahan tegangan

e = angka pori

H = tebal lapisan tanah lembek yang memampat (m)

2.3 Preloading

Preloading (Prapembebanan) adalah pemberian beban yang sama dengan beban bangunan sebelum pelaksanaan pembangunan tersebut. Pengaruh pre-loading yang terjadi ialah untuk meniadakan atau mereduksi penurunan konsolidasi primer, yaitu dengan membebani tanah lebih dulu sebelum pelaksanaan bangunannya. Keuntungan yang didapatkan dari prapembebanan ialah mengurangi penurunan selain itu prapembebanan juga dapat menambah kuat geser tanahnya. Kekuatan geser tanah lunak dalam hal ini ialah kohesi tanah akan mempengaruhi tinggi timbunan yang akan pergunakan.

2.4 Prefabricated Vertical Drain (PVD)

Pre-fabricated Vertical Drain (PVD) adalah produk berbentuk pita (potongan melintang segiempat) yang terdiri atas material penyaring geotekstil yang membungkus inti plastik. Ukuran PVD adalah 10 cm lebar dengan ketebalan antara 3 – 4 cm (Bo et al., 2003). Material dibentuk dari inti plastik yang berguna untuk mengalirkan air yang terjebak pada saringan geotekstil (Schaefer, 1997).



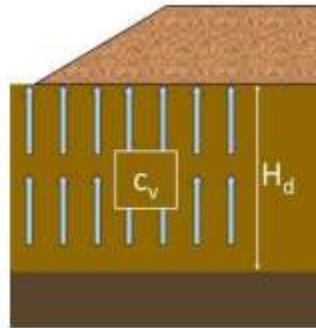
Gambar 2. 4 Prefabricated Vertical Drain (PVD)

(Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul, 2015)

Pre-fabricated Vertical Drain (PVD) merupakan salah satu geosintetik (*geosynthetics products*) yang berfungsi sebagai pengalir air (*drainage*). PVD terdiri dari 2 bagian yaitu *core*/inti yang berfungsi untuk mempermudah air pori mengalir dari bawah ke atas dan *jacket*/filter yang berfungsi untuk melindungi dan menyaring material agar tidak bercampur dengan air pori. Selanjutnya, air pori tersebut masuk ke dalam sela-sela inti PVD dan air pori dialirkan keluar dari tanah yang nantinya diteruskan oleh pori-pori dari material timbunan atau *horizontal drain*.

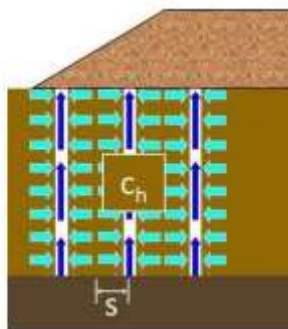
PVD dapat mempercepat waktu konsolidasi dikarenakan dapat memperpendek jarak pengaliran air pori. Air pori mengalir ke arah vertikal sesuai dengan besarnya koefisien konsolidasi vertikal (C_v) sepanjang tebal lapisan tanah lunak (H_d). Waktu konsolidasi (t)

ditentukan oleh besarnya kuadrat dari tebal lapisan tanah lunak (H_d) dibagi dengan koefisien konsolidasi vertikal (C_v).



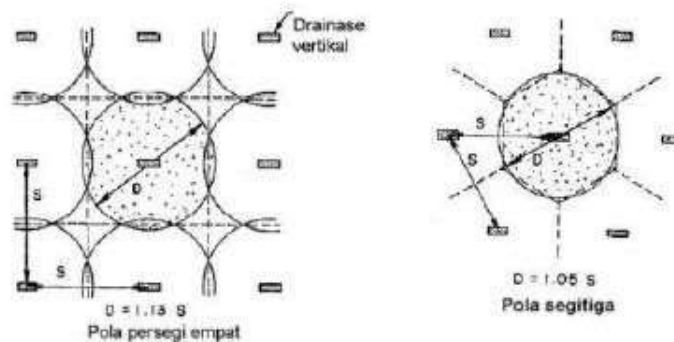
Gambar 2. 5 Proses Konsolidasi Tanpa PVD

Apabila digunakan PVD, waktu konsolidasi tanah lunak diilustrasikan seperti pada Gambar 2.3. Air pori mengalir ke arah horisontal sesuai dengan besarnya koefisien konsolidasi horisontal (C_h) sepanjang setengah dari jarak pemasangan PVD (s). Waktu konsolidasi (t) ditentukan oleh besarnya kuadrat dari setengah jarak pemasangan PVD (s) dibagi dengan koefisien konsolidasi horisontal (C_h).



Gambar 2. 6 Proses Tanah Terkonsolidasi Dengan PVD

Cara kerja dari metode PVD ini adalah dengan mempermudah dalam mengalirkan air dan udara yang berada pada lapisan tanah lunak pada kedalaman yang sulit untuk air dan udara tersebut keluar dalam waktu yang singkat secara vertikal.



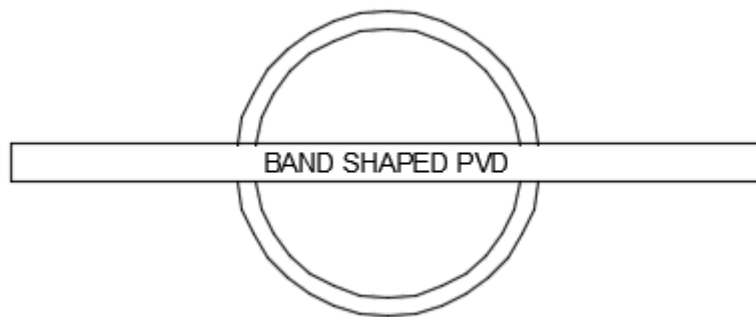
Gambar 2. 7 Pola Pemasangan PVD

PVD yang berbentuk persegi diasumsikan dengan diameter ekivalen PVD (d_w) sebagai diameter lingkaran. Untuk kondisi umum, d_w dapat diasumsikan tidak terpengaruh oleh kondisi bawah permukaan akibat pemasangan dan sifat-sifat tanah sehingga hanya merupakan fungsi dari bentuk (konfigurasi) dan geometri drain. Untuk desain diameter ekivalen dapat dihitung sebagai berikut :

$$d_w = \frac{2(a+b)}{\pi} \tag{2-12}$$

Dimana :

- a = Lebar Penampang PVD
- b = Tebal Penampang PVD



Gambar 2. 8 Equivalent Diameter (d_w) untuk PVD

2.4.1 Waktu Konsolidasi dengan PVD (Pre fabricated Vertical Drain)

Penentuan waktu konsolidasi yang didasarkan pada teori aliran air vertikal dari teori Barron (1948) adalah:

$$t = \left(\frac{D^2}{8Ch}\right) F(n) \ln\left(\frac{1}{1-U_h}\right) \tag{2-13}$$

dimana:

- t = Waktu untuk menyelesaikan konsolidasi primer
- D = Diameter equivalen dari lingkaran tanah yang merupakan daerah pengaruh dari PVD
- D = 1,13 x S untuk pola susunan bujur sangkar
- D = 1,05 x S untuk pola susunan segiempat
- Ch = Koefisien konsolidasi untuk aliran air arah horisontal
- U_h = Derajat konsolidasi tanah (arah horisontal)
- F(n) = Faktor hambatan disebabkan karena jarak antara PVD.



Sistem drainase vertikal telah dijelaskan oleh Barron (1948) berdasarkan teori aliran pasir vertikal yang menggunakan asumsi teori Terzaghi tentang pemampatan linier satu dimensi. Teori ini 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:

$$t = F(n) \times \ln \quad (2-14.1)$$

$$U_h = [1 - \exp(-x)] \times 100\% \quad (2-14.2)$$

dimana :

t = Waktu untuk menyelesaikan pemampatan primer

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

C_h = Koefisien konsolidasi tanah arah horizontal

U_h = Derajat konsolidasi tanah arah horisontal

Menentukan derajat konsolidasi radial (U_r) dengan mempertimbangkan *smear zone*, maka persamaan derajat konsolidasi U_r adalah:

$$U_r = 1 - \exp\left(\frac{-8U_h}{F(n)}\right) \quad (2-15)$$

Carillo (1942) mengusulkan persamaan untuk mendapatkan derajat konsolidasi rata-rata untuk aliran air vertikal dan aliran air radial (U_r), yang dapat dihitung dengan persamaan:

$$U = 1 - [(1-U_v) \cdot (1-U_r)] \times 100\% \quad (2-16)$$

2.4.2 Kedalaman Optimum Prefabricated Vertical Drain

Besarnya kedalaman PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) terpasang yang diperlukan adalah sedalam kedalaman lapisan tanah yang terkonsolidasi *compressible*, biasanya dengan nilai NSPT = 0-10 atau tanah sedang *medium stiff*.

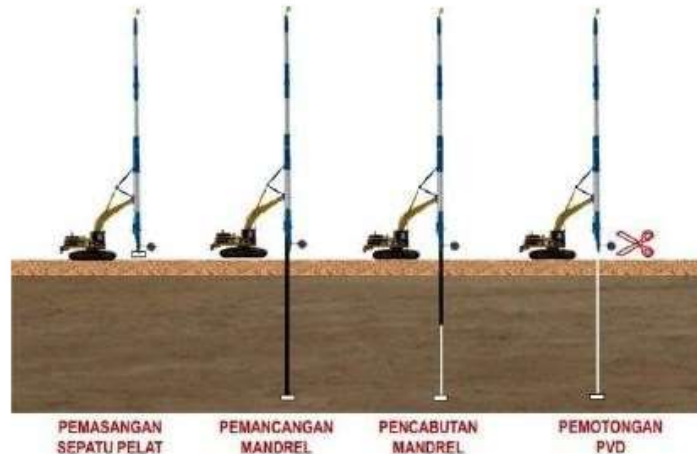
2.4.3 Fungsi Penggunaan Pre-fabricated Vertical Drain

Fungsi PVD pada pekerjaan perbaikan tanah lunak adalah sebagai berikut:

- Gangguan pada tanah yang diakibatkan saat pemasangan lebih kecil
- Waktu yang dibutuhkan saat control kualitas lebih cepat
- Kualitas PVD cenderung seragam
- Tahan terhadap deformasi besar tanpa terlalu banyak kehilangan fungsi drainase
- Kontaminasi butiran halus pada tanah asli jauh lebih kecil
- Pemasangan lebih cepat dan ekonomis

2.4.4 Metode *Pre-fabricated Vertical Drain*

Metode pemasangan PVD yaitu dengan memasukan material PVD yang lentur ke dalam tanah dengan menggunakan selongsong besi (*mandrel*) yang dipancangkan ke dalam tanah dengan menggunakan alat berat. Agar PVD dapat tertinggal di dalam tanah digunakan sepatu pelat (*anchor plate*) yang dipasang pada ujung bawah material PVD.

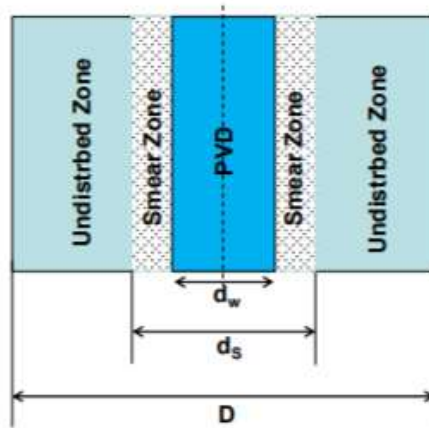


Gambar 2. 9 Metode Pemasangan PVD

2.4.5 Aplikasi PVD pada Tanah Lunak

Teori konsolidasi akibat aliran air pori dalam arah horizontal menuju vertikal drain didasarkan kepada asumsi bahwa setiap *Vertical Drain* mempunyai daerah pengaruh yang berbentuk silinder dengan panjang yang sama dengan panjang *Vertical Drain* itu sendiri sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.10. Dalam proses pemasangan, PVD dapat dipasang dengan konfigurasi bentuk pemasangan segiempat ataupun segiempat tergantung kondisi dan kebutuhan di lapangan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.10. Lama waktu konsolidasi dalam perencanaan *vertical drain* sangat tergantung pada parameter tanah, terutama sekali nilai Ch . Biasanya nilai Ch ini diambil dengan didasarkan pada nilai C_v .

Smear effect atau argumentasi efek gangguan adalah efek yang terjadi ketika tanah terganggu atau terdesak oleh aktifitas memasukkannya *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) ke dalam tanah yang ingin diperbaiki. Berikut adalah ilustrasi dari *Smearzone*.



Gambar 2. 10 Daerah Terganggu (Smearzone).

Daerah yang terkena gangguan itu disebut dengan *Smearzone*. Secara teori, tanah di daerah yang terganggu (*Smearzone*) akan turun permeabilitas tanahnya dibandingkan dengan tanah asli sehingga menyebabkan perlambatan disipasi tegangan air pori. Hal ini dibuktikan oleh penelitian terdahulu yang menyatakan permeabilitas tanah yang mengalami gangguan bisa lebih kecil 3-6 kali lebih kecil dari permeabilitas tanah asli. Selain itu, pemasangan *Prefabricated Vertical Drain* yang semakin dalam ke dasar tanah juga dapat mempengaruhi tegangan keliling sehingga penampang *Prefabricated Vertical Drain* bertambah kecil. Berikut tabel rasio permeabilitas *Smearzone*.

Tabel 2. 4 Rasio Permeability Zone Terganggu, k_h/k_s

Referensi	d_s/d_m	K_h/k_s	Catatan
Barron (1948)	1,6	3	Anggapan
Hansbo (1979)	1,5 - 3	-	Literatur saat itu
Hansbo (1981)	1,5	3	Anggapan
Hansbo (1997; Basu Prezzi, Madhav (2010)	2 - 3	3 - 4	Rekomendasi nilai desain
Bergado et al. (1991)	2	1	Uji lab dan hitung balik (lempung lunak Bangkok)
Onoue et al. (1991)	1,6	3	Interorestasi hasil uji
Almelda (1993)	1,5 - 2	3 - 6	Pengalaman penulis
Indraratna & Redana	4 - 5	1,15*	Uji lab lempung Sydney

Hird et al. (2000)	1,6	3	Rekomendasi Desain
Xiao (2000)	4	1,3	Uji lab lempung kaolin
Parera, Indratna Cholachat (2014)	6,3	-	Uji lapangan lempung Bailina, NSW

Dimana :

d_s = Diameter zona terganggu

d_m = Diameter mandrel

$$d_m = \sqrt{\frac{(4wl)}{\pi}} \quad (2-17)$$

Dimana :

w = Lebar mandrel (120mm – 150mm)

l = Tebal total mandrel (50mm – 70mm)

2.4.6 Prakompresi dengan PVD

Tujuan utama metode prakompresi baik dengan atau tanpa PVD adalah untuk mencapai derajat konsolidasi tertentu dalam batas waktu yang ditentukan. Berdasarkan uji skala penuh terhadap konsolidasi tanggul yang dipasang menggunakan PVD menunjukkan bahwa penurunan tanah akibat konsolidasi terjadi relatif lebih kecil). Derajat konsolidasi rata-rata (U) diukur dengan membandingkan tegangan air pori terdisipasi (U_d) terhadap tegangan air pori awal (U_0) yaitu tegangan air pori ketika beban diberikan atau dengan membandingkan penurunan pada suatu waktu tertentu (S_t) terhadap penurunan primer yang diperkirakan akan terjadi (S_f). Berikut persamaan yang digunakan untuk mencari derajat konsolidasi rata rata :

$$U = \frac{U_d}{U_0} = \frac{S_t}{S_f} \quad (2.18)$$

Dimana :

U_d = Tegangan air pori terdisipasi

U_0 = Tegangan air pori awal

S_t = Penurunan pada suatu waktu tertentu

S_f = Penurunan primer yang diperkirakan



2.5 Uji Geser Baling-Baling (Vane Shear Test)

2.5.1 Pengertian *Vane Shear*

Uji geser kipas (*Vane Shear*) adalah suatu metode pengujian tanah pada laboratorium yang ditujukan untuk menyelidiki atau mengetahui kuat geser tanah tak terdrainase (*Undrained*) di laboratorium maupun di lapangan. Pengujian ini sangat bagus dilakukan untuk jenis tanah yang lunak.

Manfaat dan Penggunaan Vane Shear Test Vane Shear Test (VST) merupakan alat in-situ yang digunakan untuk menentukan nilai kuat geser tak terdrainase dari suatu tanah. Kapasitas VST dapat mencapai pada kuat geser hingga 200 kPa pada tanah lunak jenuh air. Dari penelitian sebelumnya, pengujian VST pada tanah dengan konsistensi medium hingga lempung lunak diperoleh nilai $su \leq 50$ kPa. VST juga dapat digunakan pada tanah lanau, gembur dan material tanah lainnya yang dapat diprediksi kekuatan geser tak terdrainase-nya. Metode penggunaan VST ini tidak dapat diaplikasikan pada tanah pasir, gravel, dan jenis tanah lainnya yang memiliki permeabilitas tinggi.

Pada penelitian sebelumnya diperoleh bahwa alat VST memang dibutuhkan untuk tes pada tanah yang memiliki permeabilitas rendah untuk respon dari suatu pengujian untuk menggambarkan kuat geser tak terdrainase. Tes ini dilakukan pada tahun 1919 di Swedia kemudian dikembangkan oleh John Olsson (di Flodin dan Broms, 1981). VST terdiri dari empat balingbaling (blade) berbentuk persegi panjang dengan sudutnya 90° , baling-baling tersebut kemudian akan didorong masuk ke dalam tanah kemudian diikuti dengan pengukuran torsi yang dibutuhkan pada prosedur uji ketika baling-baling menggeser tanah. Torsi yang didapat dapat mengukur seberapa besar perlawanan tanah yang muncul akibat pergeseran yang diterima dari balingbaling. Beberapa keuntungan dari penggunaan VST ini adalah :

1. Salah satu metode in-situ yang ekonomis dan cukup cepat dalam prosedur pengujian di lapangan.
2. Dapat mengukur kuat geser tanah dalam kapasitas yang besar hingga 200 kPa.
3. VST dapat menentukan propertis tanah lunak sensitif yang sulit dilakukan di laboratorium tanpa perlakuan yang halus.
4. Salah satu alat yang sering digunakan dalam menganalisis kuat geser tak terdrainase.

Adapun beberapa kekurangan dari penggunaan VST ini adalah :

1. VST dapat terjadi kesalahan (error) yang diakibatkan oleh kelebihan gaya gesek pada batang VST, kalibrasi torsi yang tidak sesuai, derajat putaran yang tidak memenuhi standar.
 2. Sangat tergantung pada operator dalam memutar VST sehingga keakuratan hasil sangat dipengaruhi pada operator yang melakukan.
- ASTM D2573 memberikan beberapa sumber-sumber mayor mengenai eror yang terjadi di alat uji vane shear.

Tabel 2. 5 *Eror pada pengujian vane shear test (ASTM D2573)*

Masalah	Efek	Pengaruh pada ukuran kekuatan
Pergeseran antara torsi pada batang vst dan tanah	Pengukuran termasuk ketidakakuratan pada bacaan tahanan tanah	Meningkat
Putaran baling - baling terlalu cepat	Tanah bergeser terlalu cepat	Meningkat
Tes dilakukan pada tanah terganggu	Struktur tanah rusak	Meningkat
Tidak diketahui jenis tanah pasir/lanau	Terjadi drainase saat pengujian	Meningkat

2.5.2 Konfigurasi Alat

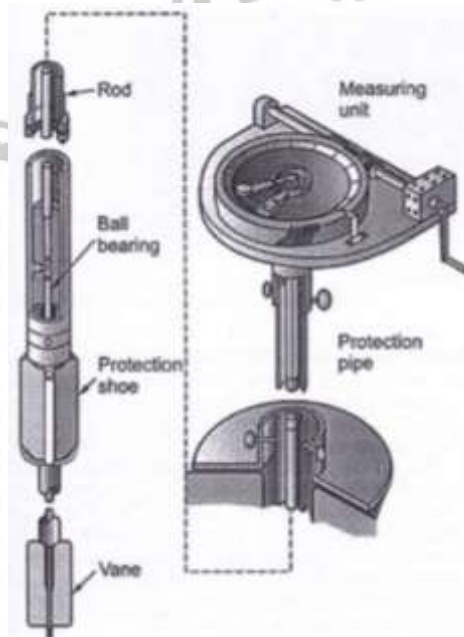
Vane shear test terdiri atas measuring unit, protection pipe, rod, ball bearing, protection shoe, vane (baling-baling). Adapun beberapa variasi baling-baling yang diijinkan pada pengujian ini, yaitu tipe baling-baling menyudut (tapered vane) dan tipe baling-baling persegi panjang (rectangular vane). Tipe baling-baling menyudut, pada bagian sisi tepi baling-baling memiliki ukuran sudut 90°. Tinggi baling-baling lebih baik berukuran 2D di mana D adalah diameter dari baling-baling. Baling-baling harus terhubung pada bagian measuring unit dengan tambahan batang besi (rod), batang besi tersebut harus memiliki diameter tertentu sehingga batas elastis batang besi tidak terlampaui kapasitasnya ketika baling-baling menekan tanah. Torsi yang terletak pada measuring unit juga harus terhubung pada batang besi dan baling-baling. Akurasi pembacaan torsi harus sedemikian rupa sehingga akan menghasilkan kekuatan geser tidak melebihi 1.2 kPa.

Untuk melakukan putaran atau torsi lebih baik dengan cara otomatis karena dapat berpengaruh pada pengukuran kuat geser tak terdrainase, jika dilakukan putaran atau torsi secara manual harus dilakukan dengan persyaratan yang ada. Lamanya putaran atau torsi yang dilakukan harus dikontrol dengan persyaratan yang ada. Durasi putaran yang diijinkan oleh ASTM D2573 adalah sebesar $0.1^\circ/s$ atau setara dengan $6^\circ/\text{menit}$.

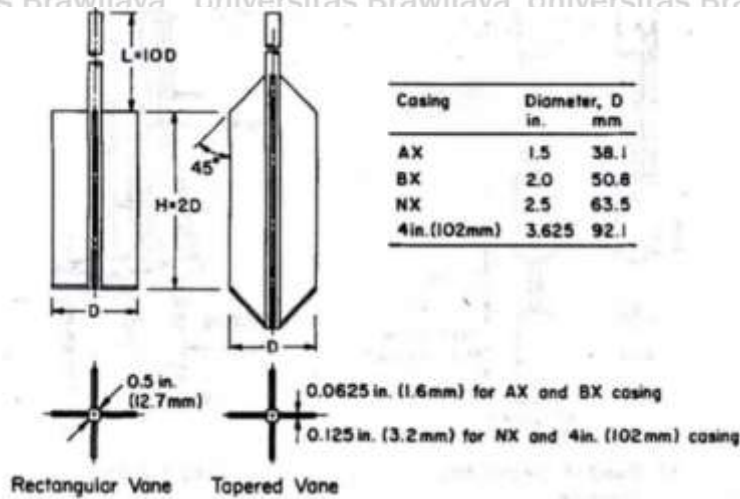
Ukuran baling-baling harus diperhatikan karena ukuran baling-baling memberikan efek yang signifikan terhadap pengukuran kuat geser tak terdrainase. Adapun beberapa ukuran yang direkomendasikan oleh ASTM D2573 tentang ukuran baling-baling yang ditentukan pada tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Rekomendasi ukuran baling-baling VST (ASTM D2573)

Type Ukuran	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Tebal baling - baling (mm)	Diameter Vaneshear Rod (mm)
AX	38,1	76,2	1,6	12,7
BX	50,8	101,6	1,6	12,7
NX	63,5	127,0	3,2	12,7
101,6mm	92,1	184,1	3,2	12,7



Gambar 2. 11 Konfigurasi Vane Shear Test (Schnaid, 2009)



Gambar 2. 12 Tipe baling-baling Vane Shear Test (ASTM D2573)

Interpretasi Hasil Vane Shear Test Terhadap Kuat Geser Tak Terdrainase Dalam penentuan nilai kuat geser tak terdrainase yang didapat dari pengukuran torsi, sebaiknya menentukan beberapa asumsi terlebih dahulu.

1. Tanah dalam keadaan tak terdrainase, tidak ada konsolidasi pada saat melakukan uji geser baling-baling.
2. Tidak ada gangguan dikarenakan operasi bor atau penginstalan baling-baling.
3. Zona remolded disekeliling baling-baling sangat kecil.
4. Tidak ada kesalahan saat melakukan uji yang dapat berdampak pada nilai torsi yang berpengaruh pada perhitungan kuat geser tanah.
5. Kondisi isotropic pada massa tanah.

Pada perhitungan kuat geser tak terdrainase pada uji geser baling-baling, besarnya nilai kuat geser tak terdrainase dipengaruhi oleh torsi maksimum dan luas permukaan pada jenis baling-baling tipe tertentu.

Tipe rectangular :

$$(Su)fv = \frac{6\tau_{max}}{7\pi D^3} \tag{2-19}$$

Dimana :

$(Su)fv$ = Kuat geser tak terdrainase dari VST

τ_{max} = Nilai torsi maksimum yang didapat dari pengujian

D = Diameter baling-baling

Tipe tapered :

$$(Su)fv = \frac{12\tau_{max}}{\pi D^2 \left(\frac{D}{\cos(iT)} + \frac{D}{\cos(iB)} + 6H \right)} \tag{2-20}$$



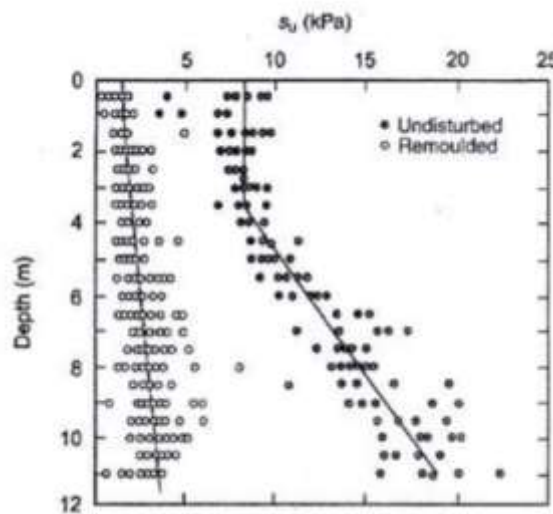
Dimana :

H = tinggi baling-baling

iT = sudut dari baling-baling bagian atas

iB = sudut dari baling-baling bagian bawah

Persamaan 2.19 dan Persamaan 2.20 dapat digunakan untuk menghitung kuat geser tak terdrainase pada kondisi undisturbed dan kondisi remolded dimana kondisi remolded didapat dari rotasi yang dilakukan setelah pengujian kondisi undisturbed sebanyak 5-10 kali rotasi.



Gambar 2.13 Hasil Kuat Geser Tak Terdrainase dari uji VST (Origao dan Collet, 1987)

Pada Gambar 2.15 menunjukkan bahwa nilai residual strength adalah 4 atau 6 kali lebih kecil dari nilai peak strength, perbedaannya semakin besar seiring dengan pertambahan kedalaman. Pada saat nilai kuat geser tak terdrainase pada kondisi undisturbed (s_u) dan kondisi remolded (s_{ur}) sudah diketahui, maka nilai sensitivitas (s_t) pada tanah dapat diestimasi dengan persamaan :

$$S_t = \frac{s_u}{s_{ur}} \quad (2-21)$$

Skempton dan Northey (1952) mengklasifikasikan nilai sensitivitas (s_t) dari berbagai macam jenis tanah. Selama hasil uji geser baling-baling lapangan memberikan hasil yang dapat dipercaya, dapat dilakukan pengukuran ulang dengan biaya yang rendah, ada baiknya untuk tetap melakukan evaluasi efek yang dapat berdampak pada ilai pengukuran dengan cara melakukan perhitungan geoteknik. Efek kecepatan putaran, tanah anisotropy, dan

drainase parsial adalah faktor penting yang memberikan pengaruh pada nilai kuat geser tak terdrainase pada uji geser baling-baling.

2.6 Uji Grain Size (ASTM D2216-92) (1996)

Sifat-sifat tanah sangat tergantung pada ukuran butirannya. Besar butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanahnya. Oleh karena itu analisa butiran merupakan pengujian yang sangat sering dilakukan. Analisa butiran tanah adalah penentuan presentas berat butiran pada satu unit saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu.

Tujuan umum dari analisa ini adalah untuk mengetahui prosentase susunan butir tanah sesuai dengan batas klasifikasinya sehingga dapat diketahui jenis contoh tanah yang diuji.

Dalam pengujian ini digunakan standar ASTM D422-63 (1990).

Tabel 2.7 Ukuran saringan butiran tanah

ASTM Vol. 14.02		BSI, BS-410	
No. Saringan	Ukuran (mm)	No. Saringan	Ukuran (mm)
3/4"	19,00		
#4	4,76		
5	4,00	#5	3,353
6	3,36	6	2,812
7	2,83	7	2,411
8	2,38	8	2,057
10	2,00	10	1,676
12	1,68	12	1,405
14	1,41	14	1,204
16	1,19	16	1,003
18	1,00	18	0,853
20	0,841	22	0,699
25	0,707	25	0,599
30	0,595	30	0,500
35	0,500	36	0,422
40	0,420		
45	0,354	44	0,353
50	0,297	52	0,295
60	0,250	60	0,251
70	0,210	72	0,211
80	0,177	85	0,178
100	0,149	100	0,152
120	0,125	120	0,124
140	0,105	150	0,104
170	0,088	170	0,089
200	0,074	200	0,076
230	0,063	240	0,066
270	0,053	300	0,053
325	0,044		
400	0,037		

Percobaan ini terdiri dari 2 macam percobaan, yaitu :

1. *Hydrometer Analysis* / Analisa Hidrometer

Yaitu untuk mengetahui diameter butir tanah yang lebih kecil dari 0,074 mm atau lolos saringan no. 200.

2. *Sieve Analysis* / Analisa Butiran

Yaitu untuk mengetahui diameter butir tanah yang lebih besar dari 0,074 mm atau tertahan saringan no. 200.



2.7 Uji Berat Jenis

Berat jenis tanah adalah perbandingan antara berat butir tanah dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu. berat jenis tanah diperlukan untuk merencanakan konstruksi bangunan yang kekuatannya dipengaruhi oleh berat jenis tanah (Sarnono, 1992).

Berat jenis tanah dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu kandungan bahan organik dan komposisi bahan mineral tanah. Bahan organik tanah mempengaruhi berat isi dan berat jenis tanah. Bahan organik berperan dalam merekatkan tanah, bila semakin banyak kandungan bahan organiknya maka berat isi dan berat jenis semakin rendah. (Hardjowigeno, 1989).

Dalam perhitungan analisis mekanika tanah, berat jenis diperlukan untuk menentukan jenis tanah yang dianalisis.

$$\frac{\text{Berat Jenis}, T_x}{20^\circ\text{C}} = \frac{W_t}{W_t + (W_4 - W_3)} \quad (2-22)$$

Dimana :

W_t = Berat contoh tanah kering oven (gr)

W₄ = Berat piknometer berisi air padat temperatur T_x (gr)

W₃ = Berat piknometer berisi air dan tanah pada temperatur T_x (gr)

T_x = Temperatur air dalam piknometer ketika berat W₃ ditentukan (°C).

Nilai berat jenis yang didasari air pada temperatur 20°C yang dihitung dari nilai temperatur yang diamati T_x, sebagai berikut :

$$\frac{\text{Berat Jenis}, T_x}{20^\circ\text{C}} = \frac{K \times \text{Berat Jenis}, T_x}{T_x} \quad (2-23)$$

Dimana :

K = Suatu angka diperoleh dengan membandingkan kerapatan relative air pada temperatur T_x dengan kerapatan relatif air pada temperature 20°C.

Nilai G_s yang didapatkan, maka dapat menentukan macam tanah dari berat jenis tanah tersebut dengan nilai-nilai berat jenis tanah sebagai berikut:

Tabel 2. 8 Berat Jenis Tanah

No	Jenis Tanah	Berat Jenis Butir
1	Kerikil	2,65 - 2,68
2	Pasir	2,65 - 2,68
3	Lanau Tak Organik	2,62 - 2,68
4	Lempung Organik	2,58 - 2,65
5	Lempung Tak Organik	2,68 - 2,75
6	Humus	1,37

7	Gambut	1,25 - 1,80
---	--------	-------------

(Sumber : Hardiyatmo, 2012)

2.8 Uji Kadar Air

Kadar air didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki dan dinyatakan dalam persen.

Dalam percobaan kali ini yang metode yang digunakan dalam melakukan proses penetapan kadar air menggunakan cara pengeringan dengan metode oven biasa. Penentuan kadar air dengan cara pengeringan prinsipnya yaitu menguapkan air yang ada dalam bahan dengan jalan pemanasan. Kemudian menimbang bahan sampai berat konstan yang berarti semua air sudah diuapkan.

$$W = \frac{(Berat Air)}{Berat Tanah Kering} \tag{2-24}$$

Dimana :

ω = Kadar air (%)

W1 = Berat cawan (gr)

W2 = Berat tanah basah + berat cawan (gr)

W3 = Berat tanah kering + berat cawan (gr)



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Waktu : November 2019 sampai dengan April 2020

Tempat : Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

3.2 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian komparatif yang dilakukan di laboratorium. Penelitian komparatif ialah jenis penelitian yang memiliki tujuan untuk membandingkan objek tertentu dengan jumlah 2 atau lebih. Penelitian ini memiliki tujuan untuk membandingkan besarnya penurunan dan kuat geser dari setiap benda uji dengan berbagai variasi seperti variasi pola segiempat dengan segitiga, variasi jarak antar pvd serta variasi kedalaman dalam pemasangan pvd. Hasil penelitian ini nanti akan terlihat benda uji yang mana yang akan lebih besar mengalami penurunan serta kenaikan nilai kuat gesernya.

3.3 Rencana Penelitian

Penelitian akan dilakukan melalui tiga tahapan, yaitu pekerjaan persiapan, observasi lapangan dan eksperimen laboratorium. Perencanaan penelitian sangat penting agar pelaksanaan penelitian dapat berjalan dengan lancar sehingga didapatkan hasil yang memuaskan dan tepat waktu.

3.3.1 Persiapan

Tahap persiapan merupakan pekerjaan awal sebagai rangkaian pelaksanaan. Tahap pelaksanaan meliputi studi pendahuluan yaitu dengan mencari referensi baik media cetak atau elektronik mengenai kondisi daerah yang akan ditinjau, konsultasi dengan beberapa narasumber seperti kepala dosen, warga sekitar, maupun kepada pihak yang akan menangani pembangunan di daerah tersebut, dan koordinasi untuk pekerjaan lapangan kepada warga sekitar serta pihak Jasa Marga. Lalu, mengajukan proposal ke PT. Geosistem selaku pemilik PVD yang dijadikan alat uji, dan pekerjaan laboratorium kepada pengurus laboratorium Mekanika Tanah Universitas Brawijaya.

3.3.2 Pekerjaan Lapangan

Pekerjaan lapangan yang dilakukan adalah pengambilan sampel tanah. Sampel tanah yang diambil adalah tanah lunak dari daerah Jalan Tol Pasuruan -Pasuruan, dengan cara pengambilan terganggu (*disturbed soil*).

3.3.3 Pekerjaan Laboratorium (*Pembuatan Slurry*)

Sebelum tanah di masukan kedalam box uji untuk dilakukan pengujian, tanah asli harus diperhatikan kadar airnya dikarenakan dalam pengujian ini memiliki target kadar airnya tersendiri. Cara mengatur ulang kadar air yang diinginkan ialah keringkan tanah asli selama ± 24 (dua puluh empat) jam selanjutnya itu hancurkan tanah karena setelah kering kondisi tanah menjadi seperti bongkahan - bongkahan batu karena terjadi penguapan air pada tanah tersebut. Tanah kering yang sudah dihancurkan menjadi butiran kecil lalu dicampurkan dengan air sebanyak yang dibutuhkan agar target kadar air pada *slurry* tercapai.

3.3.4 Percobaan Penelitian

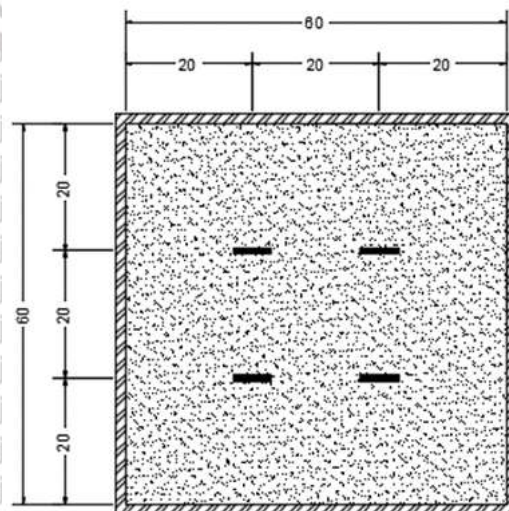
Percobaan yang dilakukan dalam penelitian ini diantaranya:

- Uji Konsolidasi (SNI 2812: 2011)
- Uji Kadar Air (ASTM D2216-92 (1996))
- Uji Berat Jenis (ASTM D2216-92 (1996))
- Uji *Grain Size* (ASTM D2216-92 (1996))
- Uji *Vane Shear* (SNI 3638: 2012)

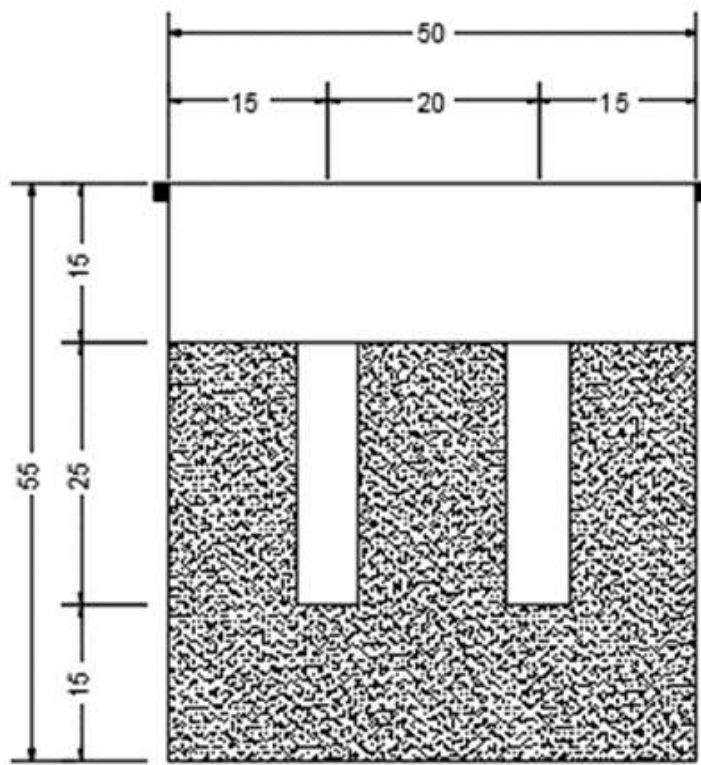
3.3.5 Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini hanya berasal dari data primer yang didapatkan dari penelitian yang dilakukan di laboratorium.

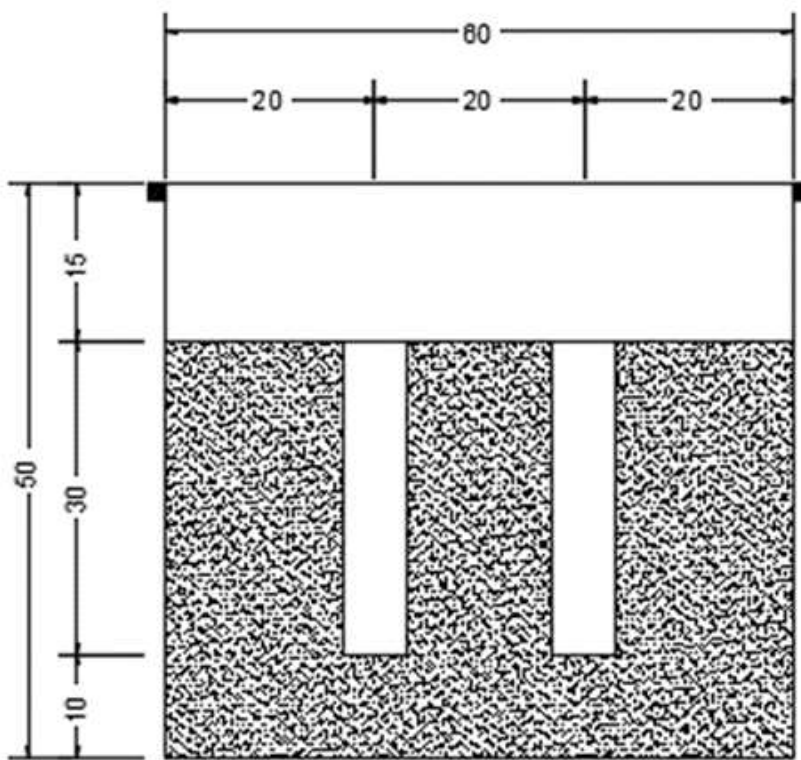
Pada percobaan ini tanah diberikan perlakuan, dimana setiap perlakuannya terdiri dari satu sampel. Perlakuannya diantaranya pemberian beban yang disesuaikan dengan faktor lengan dan ukuran box yang diilustrasikan dibawah ini :



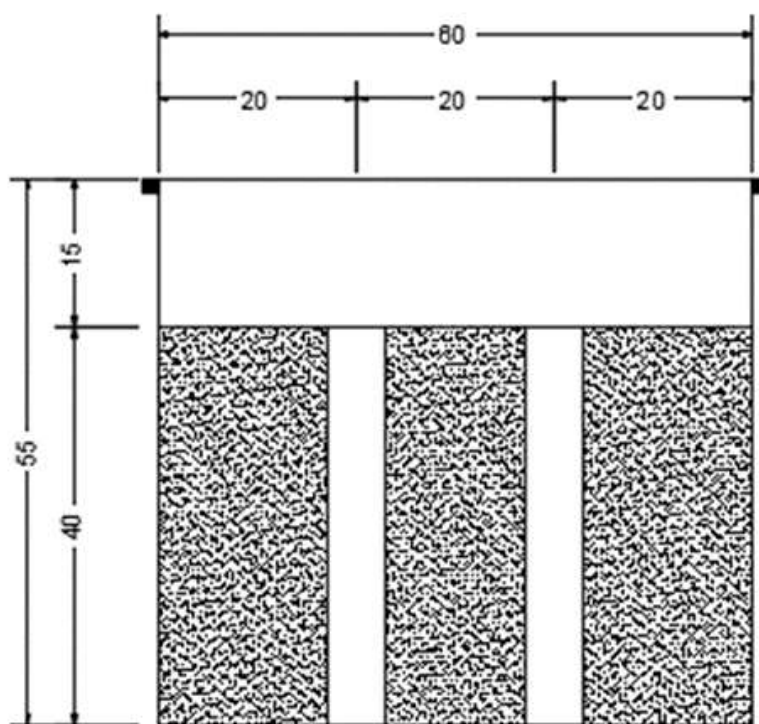
Gambar 3. 1 Skema Pemasangan Prefabricated Vertical Drain Pola Segiempat dengan Variasi Kedalaman



Gambar 3. 2 Gambar Potongan Box dengan Kedalaman 25cm Prefabricated Vertical Drain



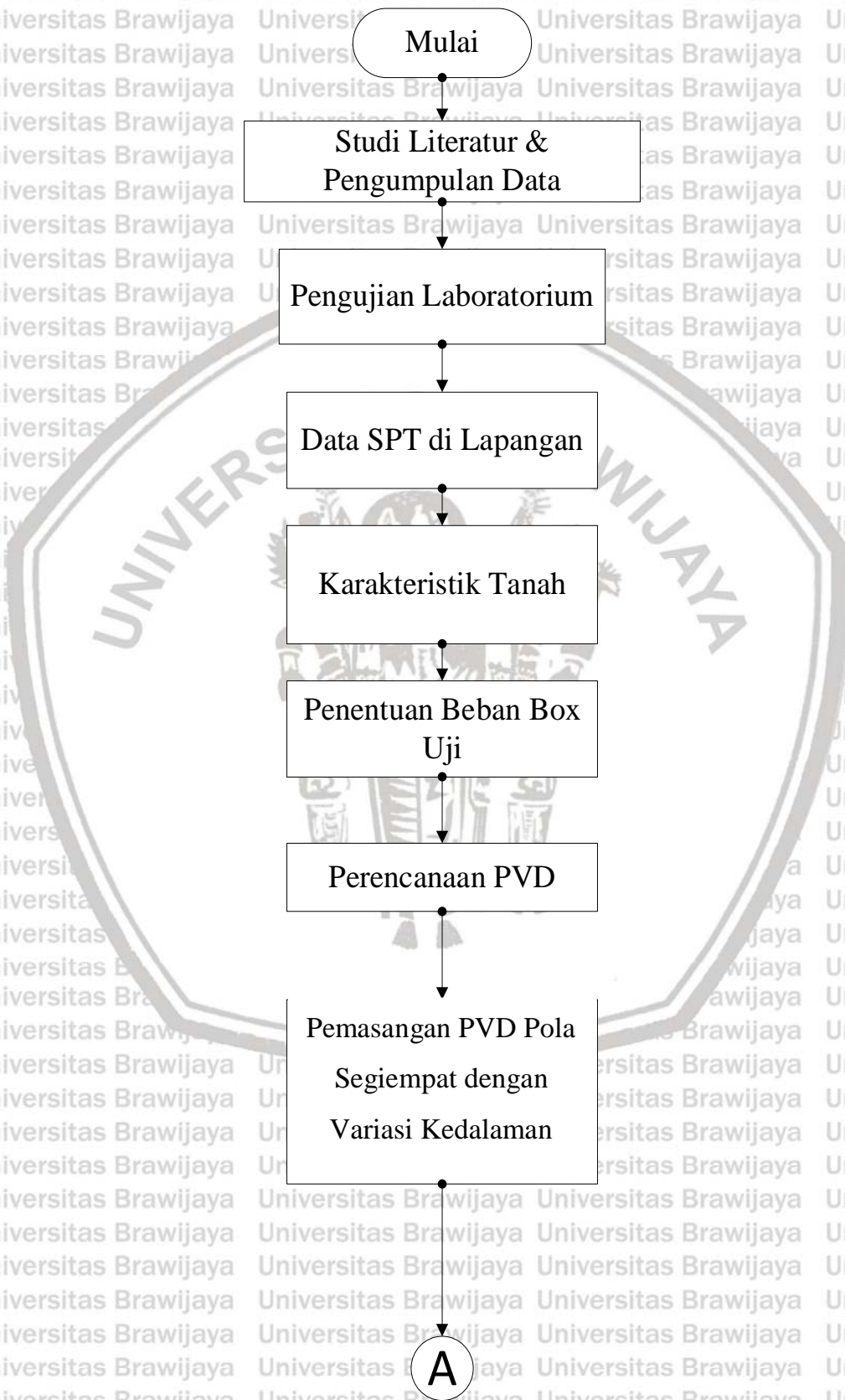
Gambar 3. 3 Gambar Potongan Box dengan Kedalaman 30cm Prefabricated Vertical Drain

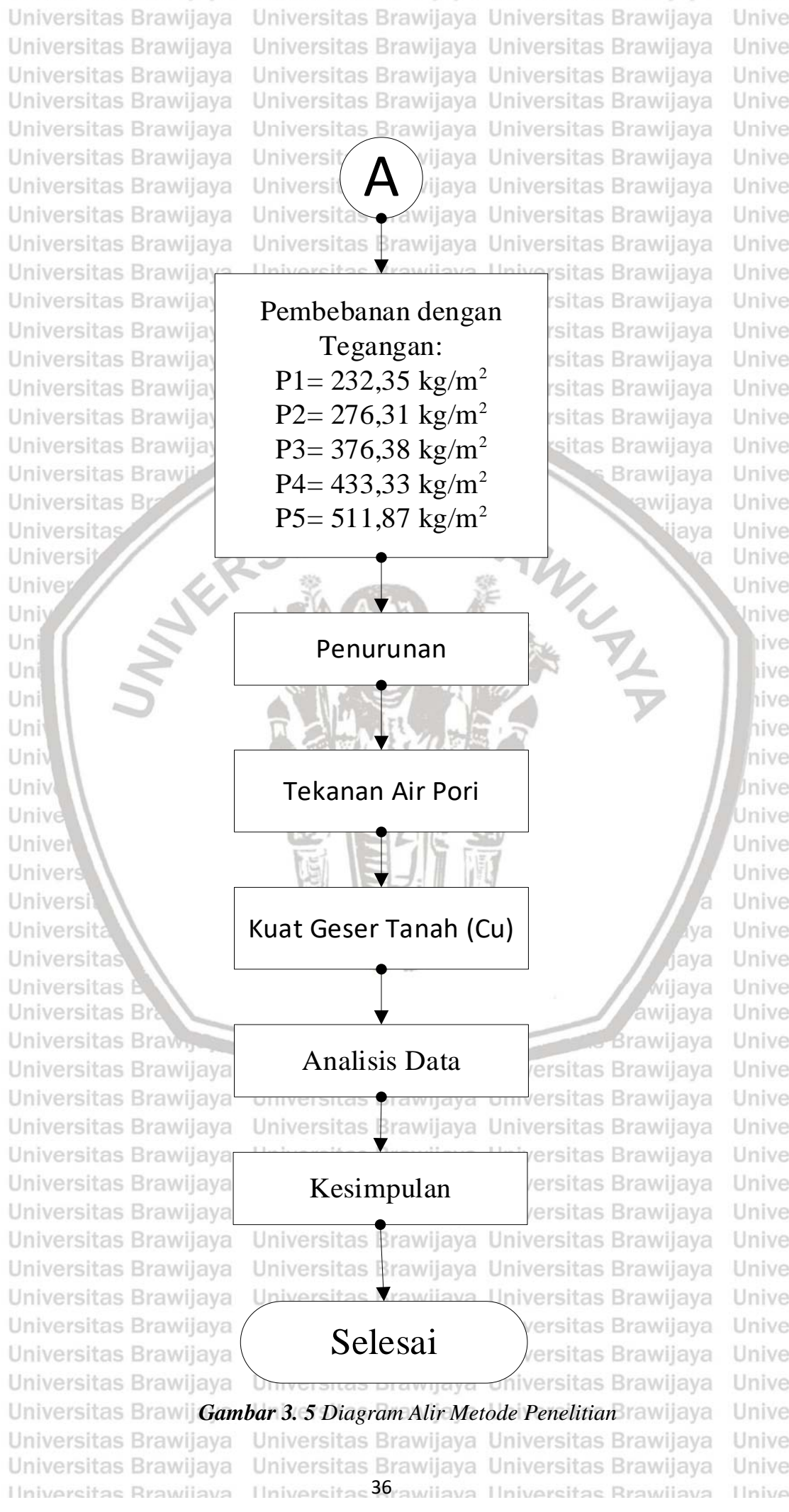


Gambar 3. 4 Gambar Potongan Box dengan Kedalaman 40cm Prefabricated Vertical Drain



3.3.6 Diagram Alir Pengujian





Gambar 3.5 Diagram Alir Metode Penelitian

3.4 Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Tanah

Berikut adalah metode pengujian sifat fisik dan mekanik tanah, antara lain:

1. Pengujian konsolidasi dilakukan dengan tinggi sampel 40 cm dan dipasang PVD dengan pola persegi dan kedalaman yang bervariasi sesuai pada Tabel 3.1 dibawah.

Lalu diberi beban sesuai dengan faktor kalibrasi alat konsolidasi dan dilakukan pembacaan pada beban yang telah ditentukan dengan panjang PVD yang sama, Pembacaan konsolidasi dilakukan selama lima hari.

Table 3. 1 Variasi Jarak dan Kedalaman PVD Pola Persegi Kedalaman

Kedalaman PVD (cm)	Jarak Antar PVD (cm)
25	20
30	20
40	20

2. Pengujian kadar air dan berat jenis dilakukan dengan mengambil tanah sampel uji lalu di keringkan dalam oven dan dilakukan penimbangan.
3. Pengujian *vane shear* dilakukan dengan mengambil tanah sampel uji lalu dimasukkan ke dalam alat uji.

3.5 Analisis Data

Setelah didapatkan data hasil percobaan konsolidasi, kadar air, dan *vane shear* maka dilakukan analisis data untuk mengetahui perilaku tanah lunak terhadap daya dukung tanah dengan metode prakompresi dikombinasikan dengan PVD untuk variasi beban *preloading* yang ditentukan.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



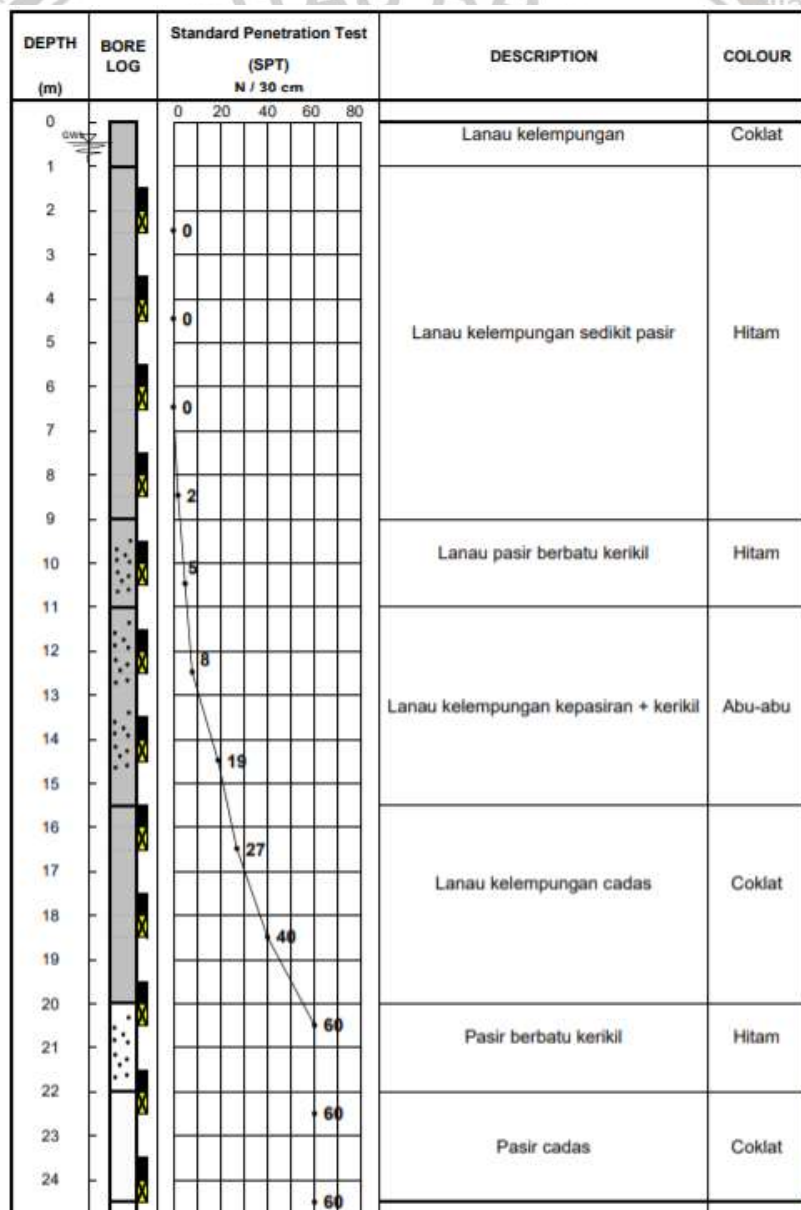
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data diperoleh dari penelitian yang dilaksanakan di laboratorium akan dijabarkan dalam bab ini. Sampel yang digunakan untuk penelitian ialah tanah lunak yang memiliki berat isi yang diasumsikan sama yaitu sebesar 1485 kg/m^3 dan menggunakan PVD pola segiempat dengan variasi kedalaman yaitu 25cm, 30cm, dan 40cm.

4.1 Karakteristik Tanah Asli

Standart Penetration Test merupakan test penetrasi yang dilakukan dilapangan dengan tujuan agar dapat mengestimasi besarnya nilai kerapatan relative dari lapisan tanah tersebut. Berikut merupakan hasil yang didapatkan dari pengujian SPT :



Gambar 4. 1 Hasil Investigasi Tanah dengan SPT

4.1.1 Uji Density

Pengujian density atau berat isi memiliki tujuan agar berat isi pada sampel tanah bisa diketahui yaitu dengan menggunakan ring gamma. Berikut data dan hasil pengujian density dilaboratorium :

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Density Tanah Asli

Titik No. / Kedalaman	Satuan	1	2	3
Tinggi Ring	cm	2,4	2,5	2,4
Diameter Ring (tabung)	cm	2,3	2,3	2,3
1. Berat Ring	gram	18,5	19	18,7
2. Berat Ring + Tanah Basah	gram	33,62	34,4	34,24
3. Berat Tanah Basah (2)-(1)	gram	15,12	15,4	15,54
4. Volume Tanah (Volume Ring)	cm ³	9,966	10,382	9,966
5. Berat Isi Tanah (3)/(4)	gram/cm ³	1,517	1,483	1,559
6. Berat Ring + Tanah Kering	gram	27,26	27,94	27,47
7. Berat Tanah Kering (6)-(1)	gram	8,76	8,94	8,77
8. Berat Air (3)-(7)	gram	6,36	6,46	6,77
9. Kadar Air (8) / (7) x 100%	%	72,603	72,260	77,195
10. γ_d (7)/(4)	gram/cm ³	0,879	0,861	0,880
11. Berat Jenis (Gs)		2,565		
12. Volume Tanah Kering (7)/(Gs)	cm ³	3,416	3,486	3,419
13. Isi Pori (4)-(12)	cm ³	6,551	6,896	6,547
14. Derajat Kejenuhan Sr = (8)/(13) x 100%	%	97,087	93,679	96,706
15. Porositas (13)/(4) x 100%	%	65,729	66,424	65,690

4.1.2 Uji Kadar Air

Pengujian kadar air memiliki tujuan agar air yang terkandung dalam tanah diketahui dimana kadar air ialah perbandingan berat air dengan berat tanah kering yang dinyatakan dalam persen (%). Pengujian ini dilakukan di 3 titik yang berbeda dengan mengambil sampel tanah pada benda uji lalu dimasukan kedalam cawan setelah itu cawan tersebut dimasukan kedalam oven dan ditunggu selama 24 jam. Perhitungan kadar air dalam pembuatan *slurry* sebagai berikut :

$$W_w = 0,82W_s$$

$$W = W_w + W_s$$

$$213,83 = W_s + 0,82W_s$$

$$W_s = 117,49 \text{ kg}$$

$$W_w = 213,83 - 117,49 = 96,34 \text{ kg}$$

Perhitungan kadar air yang ditargetkan dalam pembuatan *slurry* ialah sebesar 82%

dengan menggunakan tanah bervolume $60 \times 60 \times 40 \text{ cm}^3$ dan berat jenis tanah yang sudah ditetapkan yaitu sebesar 1485 kg/m^3 . Berikut data dan hasil pengujian kadar air :

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Kadar Air

Kadar Air			
1	2	3	Rata- rata
67,37%	69,34%	69,71%	68,81%

4.1.3 Batas Atterberg

Pengujian batas atterberg ini memiliki beberapa pengujian seperti pengujian batas susut (*Shrinkage Limit*), batas plastis (*Plastic Limit*) dan batas cair (*Liquid Limit*). Pengujian ini memiliki tujuan agar konsistensi pada sampel tanah bisa diketahui dengan memperhitungkan kandungan air yang ada di sampel tanah. Berikut adalah hasil pengujian dari batas atterberg :

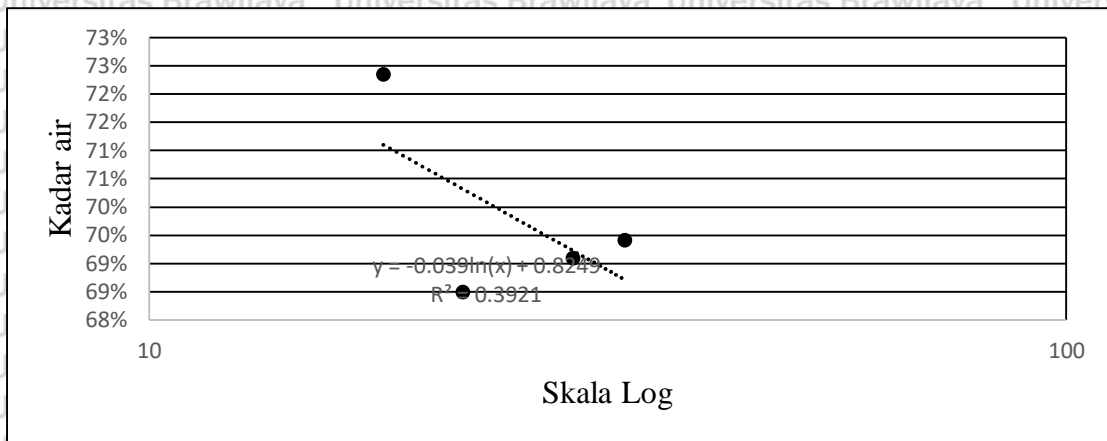
Tabel 4. 3 Batas Plastis pada Tanah Asli

Batas Plastis			
Nomor Cawan	1	2	3
Berat Cawan (gram)	5.19	5.71	4.24
Berat Cawan + Tanah Basah (gram)	6.95	7.3	5.58
Berat Cawan + Tanah Kering (gram)	6.43	6.86	5.18
Berat Air (gram)	0.52	0.44	0.4
Berat Tanah Kering (gram)	1.24	1.15	0.94
Kadar Air (%)	41.935%	38.261%	42.553%
Rata-rata	40.917%		

Tabel 4. 4 Batas Cari pada Tanah Asli

Batas Cair (LL)					
Banyaknya Pukulan	Satuan	18	22	29	33
		1	2	3	4
Nomor Cawan					
Berat Cawan	gram	5,54	5,6	5,63	6,06
Berat Cawan + Tanah Basah	gram	14,64	14,02	16,74	15,9
Berat Cawan + Tanah Kering	gram	10,82	10,57	12,2	11,9
Berat Air	gram	3,82	3,45	4,54	4
Berat Tanah Kering	gram	5,28	4,97	6,57	5,84
Kadar Air	%	72,348%	69,416%	69,102%	68,493%
Rata - rata Kadar Air	%	69,840%			





Gambar 4. 2 Hubungan Kadar Air dengan Banyak Pukulan

Dengan memplotkan nilai kadar air pada grafik akan didapatkan rumus $y = -0,056n(x) + 0,8788$ dimana nilai x sudah diketahui yaitu sebesar 25 maka akan mendapatkan besarnya nilai batas cair (LL) sebesar 69,85%.

Besarnya nilai batas plastis dan batas cair maka bisa didapatkan nilai indeks plastis PI dengan rumus

$$\begin{aligned}
 PI &= LL - PL \\
 &= 69,84\% - 40,91\% \\
 &= 28,92\%
 \end{aligned}$$

Dengan memplot besarnya nilai batas plastis dan batas cair pada tabel klasifikasi tanah Unified akan didapatkan identitas sampel tanah.

4.1.4 Uji Berat Jenis

Berat Jenis ialah perbandingan nilai antara berat volume butiran padat dan berat volume air dengan temperature Pengujian berat jenis atau *Specific Gravity* memiliki tujuan agar tanah sampel bisa diketahui klasifikasinya

Tabel 4. 5 Berat Jenis pada Tanah Asli

Berat Jenis Tanah Asli (Gs)			
Labu 1	Labu 2	Labu 3	Rata Rata
2,58	2,53	2,57	2,56

4.2 Kalibrasi Alat Konsolidasi

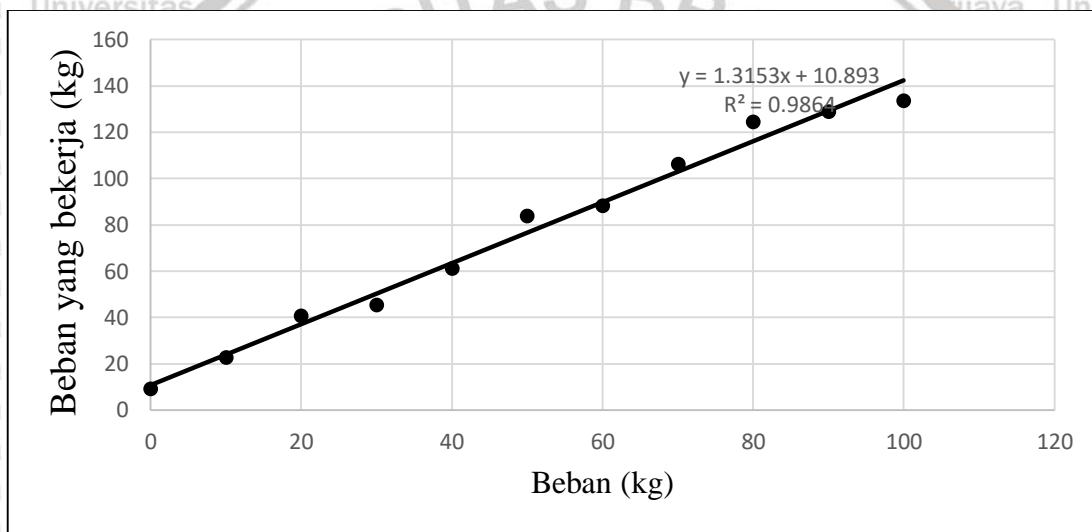
Kalibrasi alat ialah suatu kegiatan pengujian alat untuk menentukan keakuratan nilai yang dihasilkan dari alat uji tersebut sebagai sarana yang digunakan. Hasil yang didapatkan dari kegiatan kalibrasi adalah mendapatkan kesalahan penunjukan, nilai pada tanda skala,

faktor kalibrasi, atau kalibrasi lainnya. (LIPI, 2008). Kalibrasi alat dalam pengujian ini digunakan sebagai acuan pemberian beban agar tujuan dari penelitian tercapai yaitu memiliki tegangan yang seragam. Perbedaan nilai yang dihasilkan dari kalibrasi alat konsolidasi disini disebut dengan faktor kalibrasi.

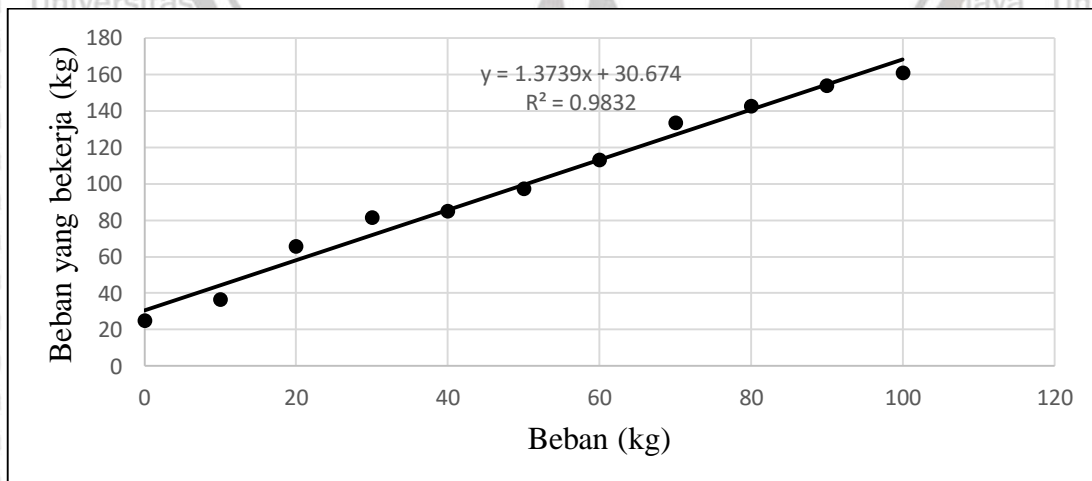
Pada pengujian semua sampel tanah memiliki variasi pembebanan yang berbeda tetapi harus memiliki nilai tegangan yang sama dengan alat uji 3.

Kalibrasi alat uji konsolidasi :

- Pembacaan per garis = 49,79 lbf
- 1lbf = 0,45 kg
- 49,79 lbf = 22,60 kg

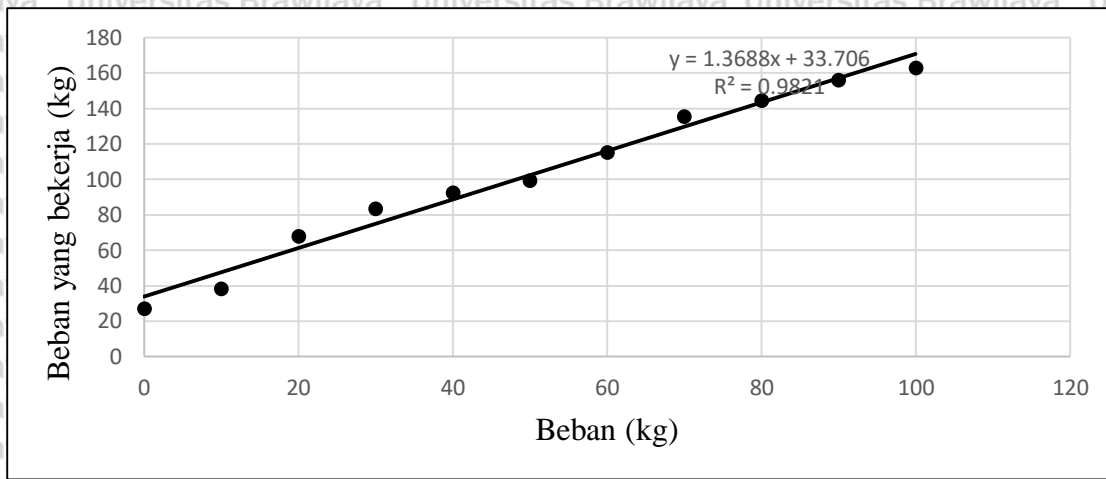


Gambar 4. 3 Hubungan Beban dan Beban yang Bekerja pada Kalibrasi Alat Uji 1



Gambar 4. 4 Hubungan Beban dan Beban yang Bekerja pada Kalibrasi Alat Uji 2





Gambar 4.5 Hubungan Beban dan Beban yang Bekerja pada Kalibrasi Alat Uji 3

Tabel 4.6 Pemberian Beban Bertahap pada Setiap Alat Uji dengan Nilai Tegangan Sama pada Variasi Sampel yang Berbeda

Alat Uji	Variasi sampel tanah	Berat plat beban (kg)				
		hari ke-1	hari ke-2	hari ke-3	hari ke-4	hari ke-5
1	Pola segitiga kedalaman PVD 25 (box 50x50cm)	38,13	43,55	63,33	71,14	88,02
2	<ul style="list-style-type: none"> • Tanpa PVD (box 60x60cm) • Pola segitiga kedalaman PVD 30 cm (box 60x60cm) 	36,6	51,42	72,5	93,33	111,79
3	Pola segitiga kedalaman PVD 40 cm (box 60x60cm)	30	50	70	90	110
Tegangan yang bekerja (kg/m^2)		232,35	276,31	376,78	433,3	511,87

4.3 Analisa Hasil Pengujian Tanpa PVD

Hasil pengujian ini didapatkan dari pemberian beban pada tanah sampel yang dilakukan secara bertahap tanpa PVD dengan menggunakan variasi pembebanan yang dijalankan selama 24 jam dan dilakukan selama 5 hari kerja. Pengujian ini ditujukan untuk mengetahui besarnya penurunan tanah yang terjadi akibat pemberian beban dan juga kekuatan geser pada sampel tersebut.

4.3.1 Uji Konsolidasi

Pengujian konsolidasi disini ditujukan untuk mengetahui seberapa besar penurunan yang terjadi akibat beban yang diberikan secara bertahap pada benda uji laboratorium. Hal yang paling penting dalam pengujian ini ialah kadar air pada tanah. Kadar air merupakan perbandingan antara berat air dengan berat tanah kering yang dinyatakan dalam persen (%).

Uji kadar air pada sampel dilakukan di 3 (tiga) titik berbeda agar bisa diambil nilai rata – ratanya. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengambil tanah secukupnya di 3 (tiga) titik berbeda yang sudah berbentuk *slurry* lalu dimasukan kedalam cawan, setelah itu cawan tersebut dimasukan kedalam oven dan dibiarkan didalam oven selama 24 jam. Pengujian ini mengasumsikan kadar air awal setiap sampel sebesar 82%. Berikut hasil uji kadar air :

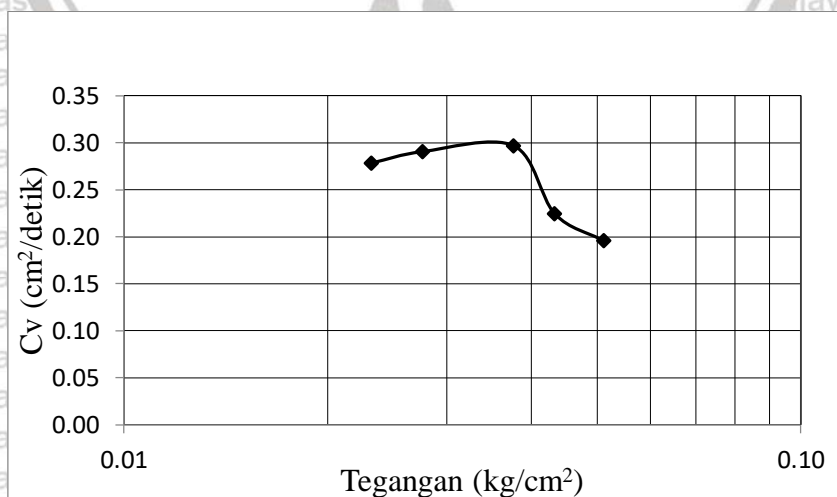
Tabel 4. 7 Hasil Uji Kadar Air

	Kadar Air
Asumsi Awal	85,93%
Hasil Uji	78,28%

Pada pengujian konsolidasi akan didapatkan parameter tanah seperti koefisien konsolidasi vertikal (C_v) dan indeks kompresi (C_c). Berikut hasil analisis koefisien konsolidasi vertikal (C_v) setelah pemberian beban secara bertahap :

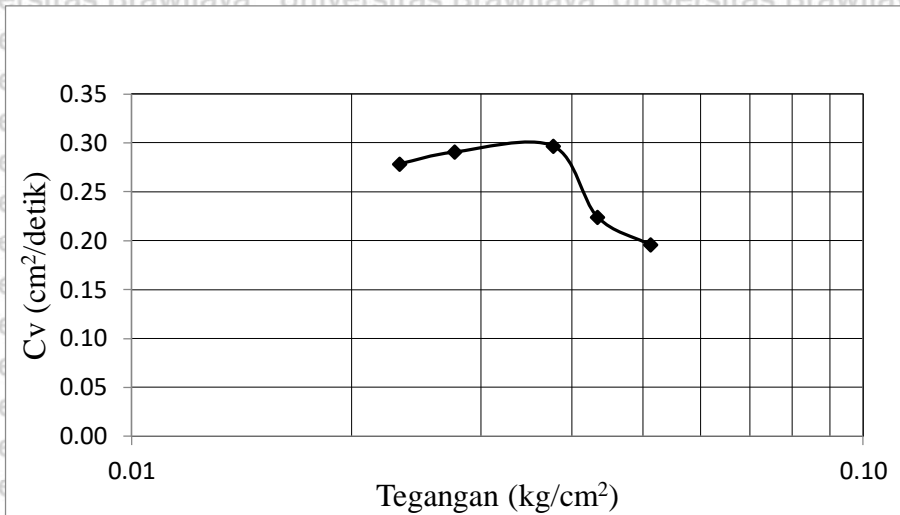
Tabel 4. 8 Nilai C_v Tanpa Menggunakan PVD dengan Metode Akar Waktu (t_{90}) dan Log Waktu (t_{50})

Tegangan (kg/cm^2)	$C_v(t_{90})$ (cm^2/det)	$C_v(t_{50})$ (cm^2/det)
0,0232	0,2785	0,2418
0,0276	0,2906	0,2358
0,0377	0,2967	0,1986
0,0433	0,2243	0,2164
0,0512	0,1957	0,1736



Gambar 4. 6 Hubungan antara Tegangan dan C_v untuk t_{90}





Gambar 4. 7 Hubungan antara Tegangan dengan Cv untuk t50

Berikut adalah contoh perhitungan Cv untuk (t₉₀)

$$Cv = \frac{0,0848 \times H^2}{t_{90}}$$

$$= \frac{0,0848 \times 39,544^2}{4860}$$

$$= 0,27$$

Untuk t₅₀

$$Cv = \frac{0,197 \times H^2}{t_{50}}$$

$$= \frac{0,197 \times 39,772^2}{1302}$$

$$= 0,24$$

Besarnya koefisien konsolidasi vertikal (Cv) dari pengujian pengujian bisa dilihat pada tabel 4.7. koefisien konsolidasi vertikal (Cv) ialah parameter untuk menunjukkan hubungan perubahan tekanan air pori dengan waktu.

Tabel 4. 9 Hubungan Nilai Penurunan dengan Angkat Pori

Tegangan (kg/cm ²)	Penurunan (mm)	Angka Pori (e = e ₀ - Δe)
0	0	2,143
0,0232	0,46	2,140
0,0276	0,95	2,136
0,0377	1,35	2,133
0,0433	1,61	2,131
0,0512	1,85	2,129

Dari tabel diatas bisa didapatkan nilai Cc dengan perhitungan sebagai berikut :

$$C_{c1} = \frac{\Delta e}{\log \frac{\sigma_3}{\sigma_2}}$$

$$= \frac{e_2 - e_3}{\log \frac{\sigma_3}{\sigma_2}}$$

$$= \frac{2,069 - 2,037}{\log \frac{0,0377}{0,0276}}$$

$$= 0,023$$

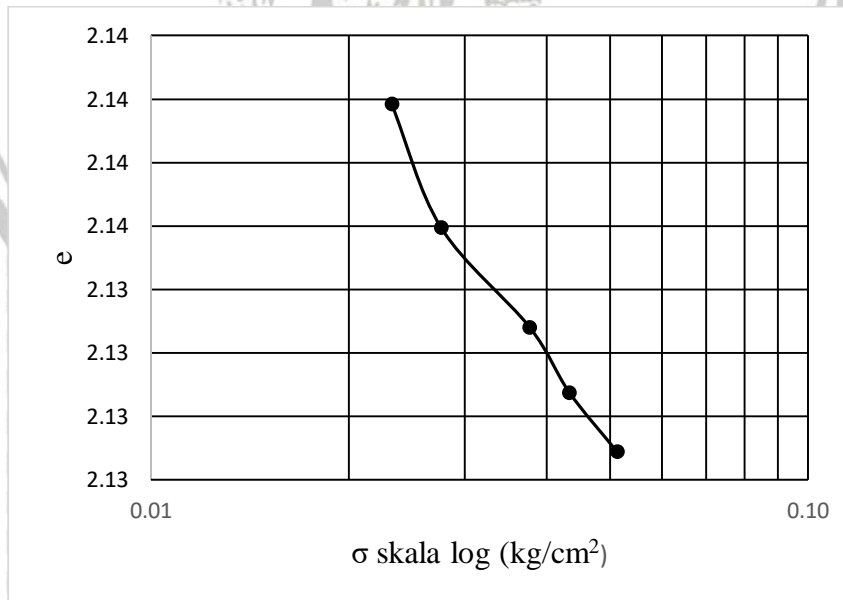
$$C_{c2} = \frac{\Delta e}{\log \frac{\sigma_3}{\sigma_2}}$$

$$= \frac{e_1 - e_2}{\log \frac{\sigma_2}{\sigma_1}}$$

$$= \frac{2,140 - 2,136}{\log \frac{0,0276}{0,0232}}$$

$$= 0,053$$

Didapatkan indeks kompresi (Cc) rata-rata yaitu sebesar 0,038.



Gambar 4. 8 Hubungan antara Skala Log Tegangan dan Angka Pori

Setelah diberikan pembebanan yang dilakukan secara bertahap pada sampel tanah maka didapatkan hasil penurunan sebagai berikut :

Tabel 4. 10 Hasil Penurunan pada Sampel Tanah Tanpa PVD

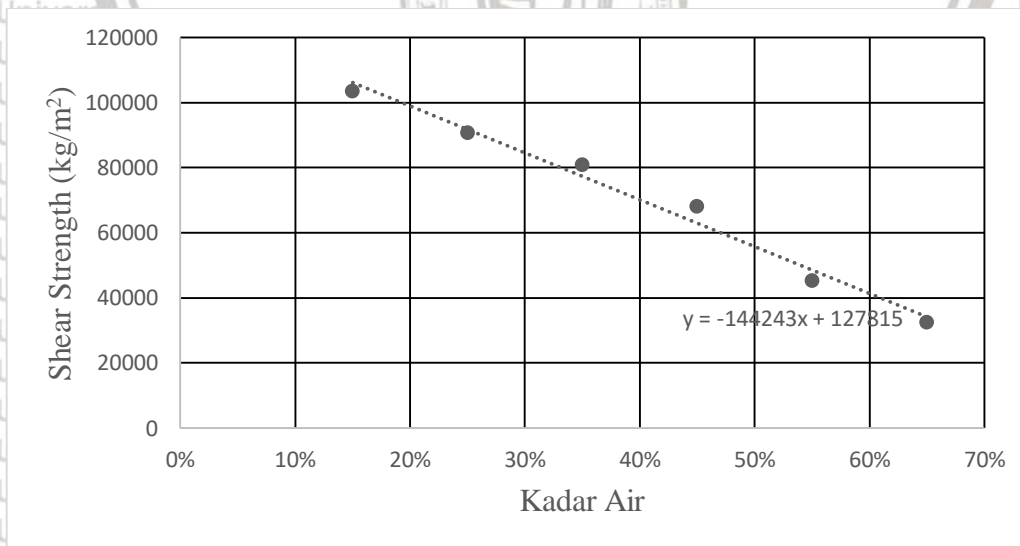
Beban (Kg)	Penurunan (mm)
36,67	0,46
51,43	0,95
72,50	1,35
91,33	1,61
111,80	1,85

Tabel 4. 11 Tegangan Air Pori pada Sampel Tanah Tanpa PVD

Hari	Tegangan Air Pori kg/m^2
1	134,22
2	186,49
3	251,18
4	303,83
5	363,05

4.3.2 Uji Kuat Geser

Pengujian kuat geser yang digunakan untuk menguji sampel tanah ialah uji baling – baling (Vaneshear). Vaneshear adalah suatu kegiatan pengujian yang ditujukan untuk mengetahui kuat geser pada sampel tanah sebelum dan setelah pemberian beban. Vaneshear sebelum pemberian beban dilakukan dengan bertahap menggunakan variasi kadar air yaitu sebesar 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, dan 65%. Setelah itu didapatkan derajat pembacaan alat yang nantinya digunakan sebagai nilai untuk kalibrasi alat agar memperoleh harga torsi.



Gambar 4. 9 Hubungan antara Kadar Ari terhadap Kuat Geser Tanah dengan Variasi Kadar Air

Dari gambar diatas (Gambar 4.5) didapatkan persamaan $y = -144243x + 127315$. Persamaan tersebut bisa digunakan untuk mencari nilai kuat geser tanah sebelum pemberian beban dengan nilai kadar air sebesar 82%.

Perhitungan nilai kuat geser tanah sbagai berikut :

$$y = -144243(x) + 127815, \text{ dimana } x=82\%$$

$$y = -144243(82\%) + 127815$$

$$y = 9543,2$$

Didapatkan nilai kuat geser sebesar 9543,2 kg/m² untuk tanah yang belum dilakukan pembebanan dengan nilai kadar air 82%.

Uji vaneshear setelah pemberian beban dilakukan untuk mengetahui perbedaan kuat geser pada tanah sampel sebelum dan sesudah pemberian beban. Uji vaneshear dilaksanakan setelah tanah sampel diberikan beban selama 5 hari dengan variasi beban yang bertambah setiap harinya. Cara uji vaneshear ialah dengan memasukan alat berbentuk kipas kedalam tanah dengan syarat minimal kedalaman 3 (tiga) kali panjang diameter lubang bor. Selain itu kecepatan putaran harus di interval 6° sampai 12° per 60 detik. Berikut hasil pengujian vaneshear pada tanah tanpa menggunakan PVD :

Tabel 4. 12 Harga Kuat Geser (Su) pada Sampel Tanah Tanpa Menggunakan PVD

Titik	Derajat	Torsi	Shear Strenght (kg/m ²)
1	1	0,00009	3236,2
2	2	0,00018	6432,1
3	1	0,00009	3236,2
Rata-rata			4314,9

Berikut merupakan contoh perhitungan *Shear Strenght* dari tabel diatas :

Spesifikasi Vane : H=10cm = 0,1m
 D=13,1mm = 0,0131m

$$Su = \left(\frac{T}{\pi \left(\frac{D^2 H}{2} + \frac{D^3}{6} \right)} \right) \times 1000$$

$$Su = \left(\frac{0,000009}{3,14 \left(\frac{0,0131^2 \times 0,1}{2} + \frac{0,0131^3}{6} \right)} \right) \times 1000$$

$$Su = 3236,22 \text{ kg/m}^2$$

Didapatkan nilai *Shear Strenght* tanah tanpa menggunakan PVD pada titik 1 sebesar 3236,22 kg/m².

4.4 Analisis Hasil Pengujian Menggunakan PVD

Pada sub bab ini akan membahas hasil dari 4 (empat) pengujian yaitu pengujian konsolidasi, pengujian vaneshear, kenaikan daya dukung tanah dan yang terakhir pengujian kadar air. Pemberian beban pada sampel tanah juga diperlakukan sama yaitu diberikan



secara bertahap dalam waktu 24 jam selama 5 hari kerja. Hal yang membuat beda ialah untuk sampel tanah pada sub bab ini akan ditambahkan *Prefabricated Vertical Drain* yang dibentuk pola segiempat dan divariasikan tinggi kedalamannya sebesar 25cm, 30cm, 40cm. Berat isi dalam pengujian sampel ini sama yaitu sebesar 1485 kg/m^3 .

4.4.1 Uji Konsolidasi

Uji konsolidasi ini memiliki tujuan untuk mengetahui besarnya nilai penurunan karena keluarnya air pada pori tanah akibat adanya pemberian beban secara vertikal. Penurunan disini memiliki 2 (dua) parameter pada tanah yaitu koefisien konsolidasi vertikal (C_v) dan indeks kompresi (C_c), dimana koefisien konsolidasi vertikal ialah kecepatan pengaliran air ke arah vertikal.

4.4.1.1 Konsolidasi Tanah Sampel Menggunakan PVD Pola Segiempat dan Variasi

Kedalaman 25cm

Pengujian ini mengasumsikan kadar air awal setiap sampel sebesar 82%. Berikut hasil uji kadar air yang sudah dirata – rata :

Tabel 4. 13 Hasil Uji Kadar Air PVD Kedalaman 25cm

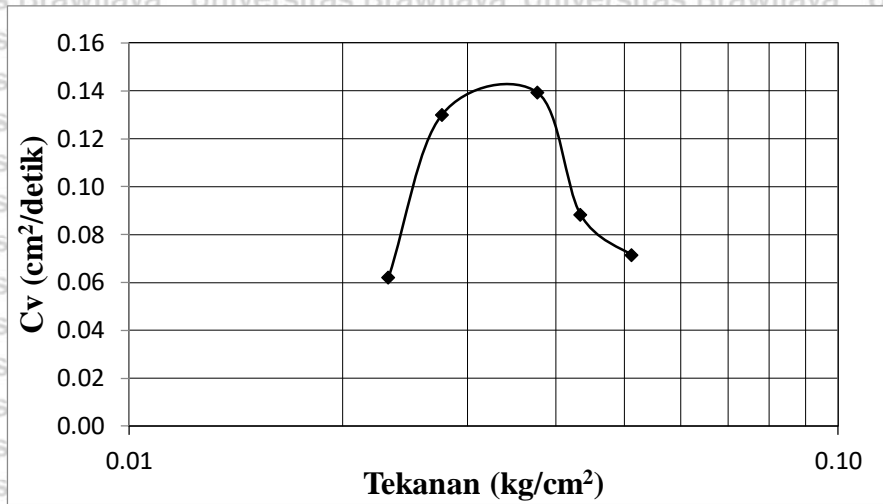
	Kadar Air
Sebelum Pembebanan	82,22%
Setelah Pembebanan	64,37%

Harga koefisien konsolidasi vertikal berhubungan langsung dengan kecepatan konsolidasi pada sampel tanah. Harga koefisien konsolidasi vertikal dapat dicari dengan rumus dan beberapa data yang diketahui. Berikut merupakan harga $C_v(t_{90})$ dan $C_v(t_{50})$ untuk sampel tanah menggunakan pvd berpola segiempat dengan variasi kedalaman 25cm:

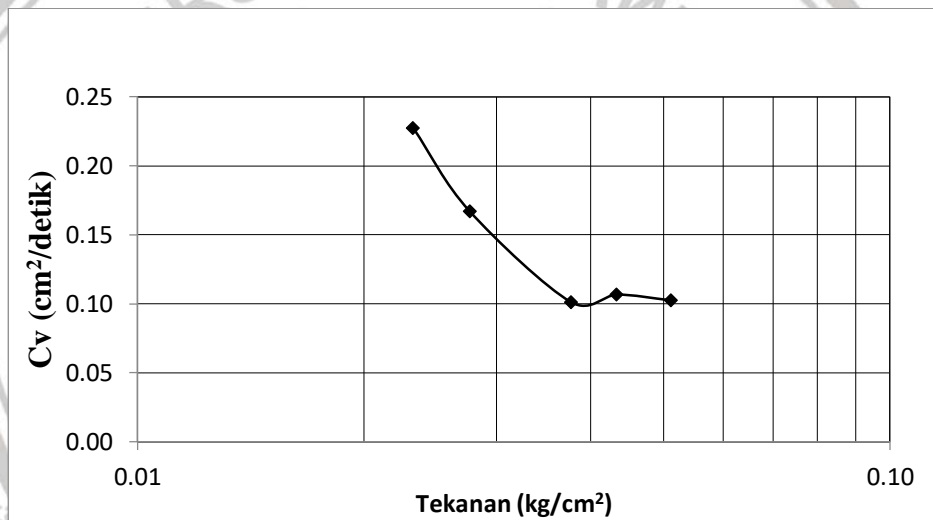
Tabel 4. 14 Harga C_v dengan Metode Akar Waktu (t_{90}) dan Log Waktu (t_{50}) pada Sampel Tanah Menggunakan PVD dengan Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 25cm

Tegangan (kg/cm^2)	$C_v(t_{90})$ (cm^2/det)	$C_v(t_{50})$ (cm^2/det)
0,0232	0,062	0,228
0,0276	0,130	0,167
0,0377	0,139	0,101
0,0433	0,088	0,107
0,0512	0,071	0,103





Gambar 4.10 Hubungan Tegangan dan Cv (t_{90}) pada Sampel Tanah Menggunakan PVD dengan Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 25cm



Gambar 4.11 Hubungan Tegangan dan Cv (t_{50}) pada Sampel Tanah Menggunakan PVD dengan Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 25cm

Contoh perhitungan harga Cv (t_{90})

$$C_v = \frac{0,0848 \times H^2}{t_{90}}$$

$$C_v = \frac{0,0848 \times 24,960^2}{8496,60}$$

$$C_v = 0,062$$

Untuk t_{50}

$$C_v = \frac{0,197 \times H^2}{t_{50}}$$

$$C_v = \frac{0,197 \times 24,960^2}{540}$$



$$C_v = 0,228$$

Didapatkan nilai $C_v(t_{90})$ yaitu $0,062\text{cm}^2/\text{det}$ sedangkan $C_v(t_{50})$ yaitu $0,228\text{cm}^2/\text{det}$.

Tabel 4. 15 Perbandingan Nilai antara Tegangan, Penurunan dan Angka Pori pada Sampel Tanah Menggunakan PVD dengan Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 25cm

Tegangan (kg/cm^2)	Penurunan (mm)	Angka Pori ($e = e_0 - \Delta e$)
0	0	2,143
0,0232	0,4	2,140
0,0276	1,25	2,133
0,0377	2,00	2,128
0,0433	2,45	2,124
0,0512	2,68	2,122

Dari tabel diatas bisa didapatkan nilai C_c dengan contoh perhitungan sebagai berikut:

$$C_{c1} = \frac{\Delta e}{\log \frac{\sigma_4}{\sigma_3}}$$

$$= \frac{e_3 - e_4}{\log \frac{\sigma_4}{\sigma_3}}$$

$$= \frac{2,133 - 2,128}{\log \frac{0,037}{0,027}}$$

$$= 0,036$$

$$C_{c2} = \frac{\Delta e}{\log \frac{\sigma_3}{\sigma_2}}$$

$$= \frac{e_2 - e_3}{\log \frac{\sigma_3}{\sigma_2}}$$

$$= \frac{2,140 - 2,133}{\log \frac{0,027}{0,023}}$$

$$= 0,043$$

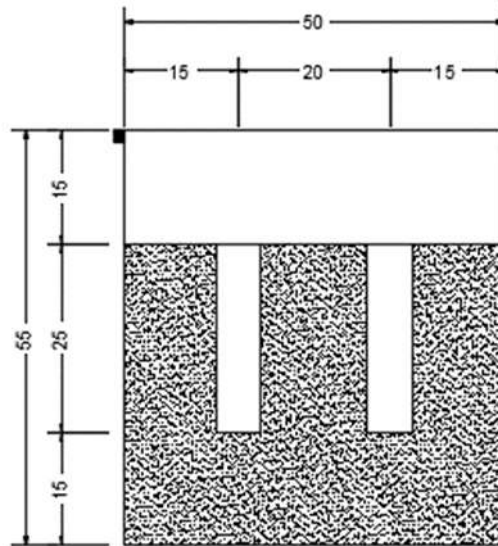
Didapatkan nilai indeks kompresi rata – rata sebesar 0,0395.

Proses pemasangan *Prefabricated Vertical Drain* menyebabkan gangguan tanah pada sekitar karena terjadi kerusakan susunan sampel tanah yang biasa disebut dengan *Smearzone*. Adanya gangguan pada susunan tanah akan menyebabkan berkurangnya nilai koefisien permeabilitas ke arah horizontal.



Tanah yang terkena *Smearzone*

Tanah yang tidak terkena *Smearzone*



Gambar 4. 12 Potongan Melintang Box Benda Uji yang Berisi Tanah dan PVD

Berikut adalah contoh perhitungan tanah menggunakan pvd dengan pola segiempat dan variasi kedalaman 25cm yang mengalami penurunan akibat adanya *smear zone* :

$$s = 0,2 \text{ m}$$

$$D = 1,13(s) = 1,13(0,20)$$

$$D = 0,226$$

$$\alpha = 0,1$$

$$b = 0,05$$

$$dw = \frac{2(a + b)}{\pi} = \frac{2(0,1 + 0,05)}{\pi} = 0,095 \text{ m}$$

$$F(n) = \ln \frac{D}{dw} - 0,75 = \ln \frac{0,23}{0,095} - 0,75 = 0,111$$

$$kh = 8,62 \times Cv \times Mv$$

$$kh = 0,0036 \frac{\text{cm}}{\text{hari}}$$

$$Fs = 3 \times F(n)$$

$$Fs = 0,3357$$

$$ks = 0,0027 \text{ cm/hari}$$

$$ds = 3 \times dw$$

$$ds = 0,286$$

$$rw = \frac{dw}{2}$$

$$rw = 0,047$$



$$r_s = \frac{ds}{2}$$

$$r_s = 0,1431$$

$$S = \frac{rs}{rw}$$

$$S = 3$$

$$m = \frac{n^2}{n^2 - S^2} \ln\left(\frac{n}{S}\right) - 0,75 + \frac{S^2}{4n^2} + \frac{kh}{ks} \left(\frac{n^2 - S^2}{n^2}\right) \ln S$$

$$m = 11,385$$

Tabel 4. 16 Penurunan pada Sampel Tanah Variasi Kedalaman PVD 25cm dengan Memperhitungkan Smear Zone

Waktu (hari)	Tinggi Sampel	Tv	Uv	Th	x	Uh	U	St (mm)
0	25	0	0	0	0	0	0	0
1	24,446	0,058	0,271	0,140	0,099	0,094	33,9%	0,910
2	24,169	0,116	0,384	0,281	0,197	0,179	49,5%	1,326
3	23,987	0,175	0,472	0,421	0,296	0,256	60,7%	1,629
4	23,760	0,234	0,546	0,562	0,395	0,326	69,4%	1,861
5	23,660	0,293	0,611	0,702	0,493	0,389	76,2%	2,045

Berikut contoh perhitungan pada hari pertama :

$$Cv_{rata-rata} = 0,098$$

$$Tv = \frac{Cv \times t}{Ht^2} = \frac{0,098 \times 1 \times 365}{24,960^2} = 0,058$$

$$Uv = \sqrt{\frac{4Tv}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,08}{\pi}} = 0,271$$

$$Th = \frac{Cvt}{4D^2} = \frac{0,134 \times 1 \times 2 \times 365}{4 \left(0,226 \times \frac{1000}{2}\right)^2} = 0,140$$

$$x = -\frac{8Th}{m} = -\frac{8 \times 0,140}{11,385} = -0,099$$

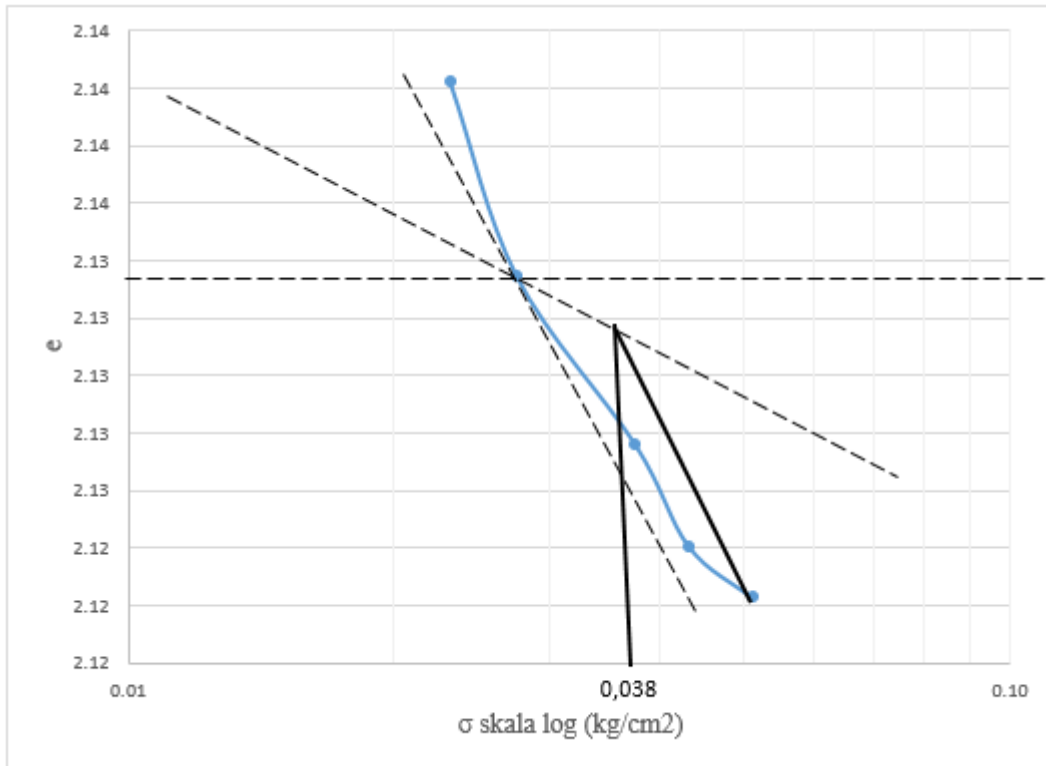
$$Uh = 1 - e^x = 1 - e^{0,137} = 0,094$$

$$U = 1 - (1 - Uv)(1 - Uh) = 1 - (1 - 0,323)(1 - 0,128) = 33,9\%$$

$$St = U \times Sc_{akhir} = 0,339 \times 2,68 = 0,91 \text{ mm}$$

Perhitungan contoh diatas hanya penurunan yang terkena efek *Smearzone* sedangkan tanah yang tidak terjangkau *Smearzone* menggunakan perhitungan penurunan akhir sebagai berikut :





Gambar 4. 13 Menentukan Nilai Prakonsolidasi (σ_c') pada Sampel Tanah Menggunakan PVD 25cm dengan Menggunakan Grafik e -long σ

Dari grafik diatas didapatkan nilai tekanan prakonsolidasi sebesar 0,038 kg/cm²

Diketahui data sebagai berikut :

$$H_{\text{lapisan 1}} = 25 \text{ cm}$$

$$H_{\text{lapisan 2}} = 15 \text{ cm}$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 1485 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \sigma_0' &= 25 \times \gamma_{\text{sat}} + \gamma_{\text{sat}} \times \frac{H}{2} \\ &= 0,25 \times 1485 + 1485 \times \frac{0,15}{2} \\ &= 0,048 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Dikarenakan syarat yang memenuhi $\sigma_0' > \sigma_c'$ maka tanah tersebut mengalami *normally consolidated*

Diketahui :

$$H = 10 \text{ cm}$$

$$e_0 = 2,143$$

$$Cc = 0,039$$

$$\sigma_0' = 0,048 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta\sigma = 0,0512 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_1' = \sigma_0' + \Delta\sigma = 0,048 + 0,051$$

$$\sigma_1' = 0,099 \text{ kg/cm}^2$$

Maka :

$$S_c = C_c \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{\sigma_1'}{\sigma_0'}$$

$$S_c = 0,039 \frac{10}{1 + 2,143} \log \frac{0,099}{0,048}$$

$$S_c = 0,0390 \text{ cm}$$

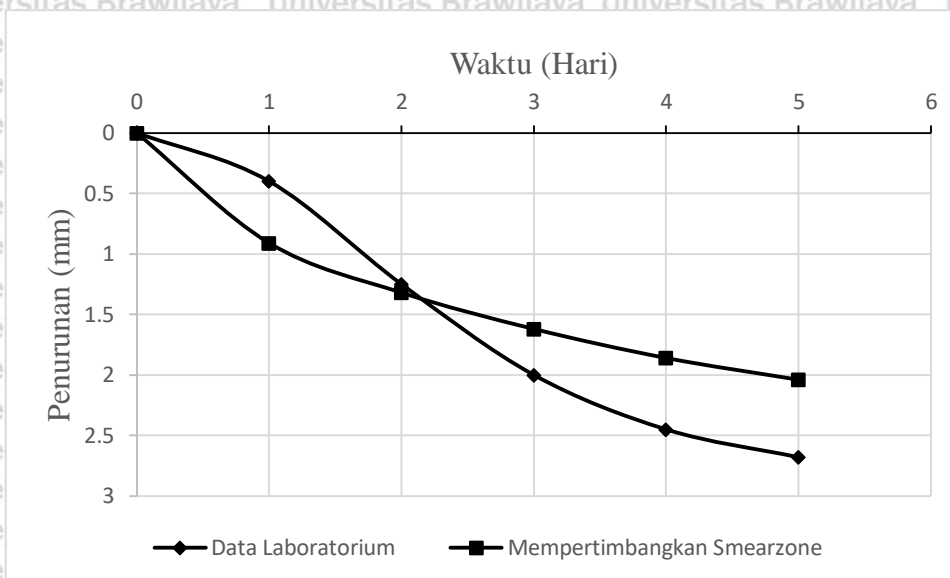
$$S_c = 0,390 \text{ mm}$$

Sehingga total penurunan pada sampel tanah ialah penurunan terakhir *Smearzone* sebesar 2,045mm ditambah penurunan terzaghi sebesar 0,390mm dan didapatkan nilai 2,435mm.

Tabel 4. 17 Perbandingan Penurunan Tanpa Mempertimbangkan *Smearzone* pada Sampel Tanah Menggunakan PVD Pola Segiempat dan Kedalaman 25cm dengan Penurunan yang Mempertimbangkan *Smearzone*

Hari	Penurunan (mm)	
	Penurunan dengan PVD 25cm Data Laboratorium	Penurunan dengan PVD 25cm Mempertimbangkan <i>Smearzone</i>
0	0	0
1	0,4	0,91
2	1,25	1,32
3	2,00	1,62
4	2,45	1,86
5	2,68	2,04





Gambar 4.14 Perbandingan Penurunan Laboratorium dan Smearzone

Tabel 4.18 Tegangan Air Pori PVD Kedalaman 25cm

Hari	Tegangan Air Pori (kg/m ²)
0	0
1	232,12
2	234,43
3	219,27
4	183,45
5	182,54

4.4.1.2 Konsolidasi Tanah Sampel Menggunakan PVD Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 30cm

Berikut hasil uji kadar air yang sudah dirata – rata :

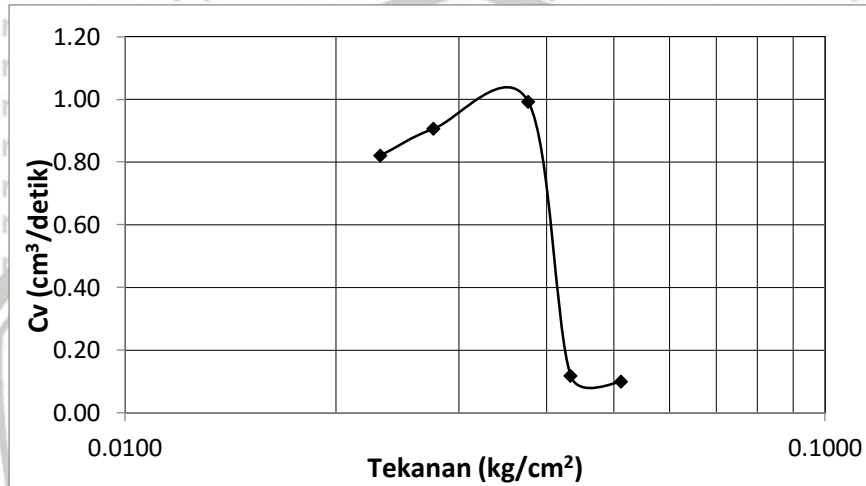
Tabel 4.19 Hasil Uji Kadar Air PVD Kedalaman 30cm

	Kadar Air
Sebelum Pembebanan	81,84%
Setelah Pembebanan	66,26%

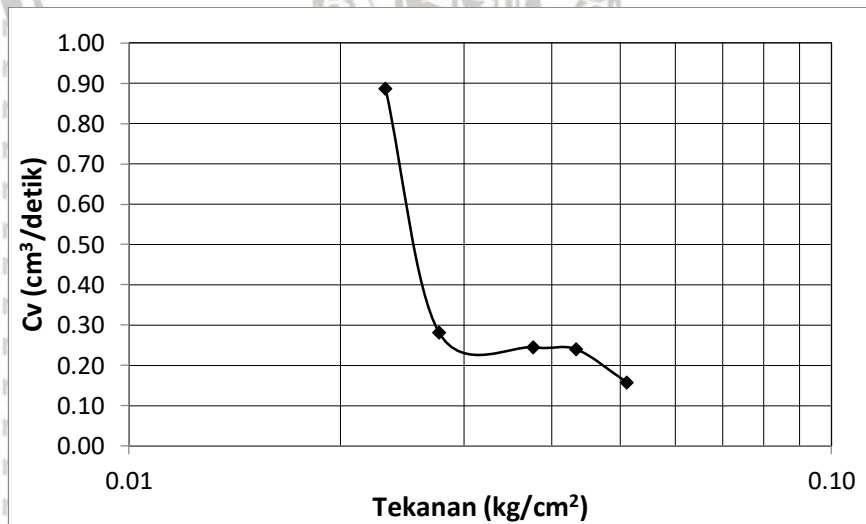
Berikut merupakan harga $C_v(t_{90})$ dan $C_v(t_{50})$ untuk sampel tanah menggunakan pvd berpola segiempat dengan variasi kedalaman 30cm :

Tabel 4.20 Harga C_v dengan Metode Akar Waktu (t_{90}) dan Log Waktu (t_{50}) pada Sampel Tanah Menggunakan PVD dengan Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 30cm

Tegangan (kg/cm ²)	Cv(t ₉₀) (cm ² /det)	Cv(t ₅₀) (cm ² /det)
0,0232	0,821	0,887
0,0276	0,907	0,281
0,0377	0,993	0,245
0,0433	0,118	0,240
0,0512	0,100	0,158



Gambar 4. 15 Hubungan Tegangan dan Cv (t₉₀) pada Sampel Tanah Menggunakan PVD dengan Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 30cm



Gambar 4. 16 Hubungan Tegangan dan Cv (t₅₀) pada Sampel Tanah Menggunakan PVD dengan Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 30cm

Contoh perhitungan harga Cv (t₉₀)

$$Cv = \frac{0,0848 \times H^2}{t_{90}}$$

$$C_v = \frac{0,0848 \times 29,86^2}{912,60}$$

$$C_v = 0,821$$

Untuk t_{50}

$$C_v = \frac{0,197 \times H^2}{t_{50}}$$

$$C_v = \frac{0,197 \times 29,723^2}{198}$$

$$C_v = 0,887$$

Didapatkan nilai $C_v (t_{90})$ sebesar $0,821 \text{ cm}^2/\text{det}$ dan $C_v(t_{50})$ sebesar $0,887 \text{ cm}^2/\text{det}$

Tabel 4. 21 Perbandingan Nilai antara Tegangan, Konsolidasi dan Angka Pori pada Sampel Tanah Menggunakan PVD dengan Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 30cm

Tegangan (kg/cm^2)	Penurunan (mm)	Angka Pori ($e = e_0 - \Delta e$)
0	0	2,143
0,0232	2,78	2,122
0,0276	11,67	2,052
0,0377	23,44	1,959
0,0433	27,91	1,924
0,0512	32,01	1,892

Dari tabel diatas bisa didapatkan nilai C_c dengan contoh perhitungan sebagai berikut:

$$C_{c1} = \frac{\Delta e}{\log \frac{\sigma_4}{\sigma_3}}$$

$$= \frac{e_3 - e_4}{\log \frac{\sigma_4}{\sigma_3}}$$

$$= \frac{2,052 - 1,959}{\log \frac{0,037}{0,027}}$$

$$= 0,679$$

$$C_{c2} = \frac{\Delta e}{\log \frac{\sigma_5}{\sigma_4}}$$

$$= \frac{e_4 - e_5}{\log \frac{\sigma_5}{\sigma_4}}$$

$$= \frac{1,959 - 1,924}{\log \frac{0,043}{0,037}}$$



$$= 0,536$$

Didapatkan nilai indeks kompresi rata – rata sebesar 0,607 dan nilai koefisien pemampatan kembali (Cr) didapatkan $\frac{1}{10}C_c$ yaitu 0,061.

Berikut adalah contoh perhitungan penurunan tanah menggunakan pvd dengan pola segiempat dan variasi kedalaman 30cm yang mengalami penurunan dengan mempertimbangkan *smear zone* :

$$s = 0.2 \text{ m}$$

$$D = 1.13(s) = 1.13(0.20)$$

$$D = 0.226$$

$$\alpha = 0.1$$

$$b = 0.05$$

$$dw = \frac{a + b}{2} = \frac{0.1 + 0.05}{2} = 0.095 \text{ m}$$

$$F(n) = \ln \frac{D}{dw} - 0.75 = \ln \frac{0.28}{0.095} - 0.75 = 0.111$$

Tabel 4. 22 Penurunan dengan Memperhitungkan SmearZone

Waktu (hari)	Tinggi Sampel	Tv	Uv	Th	x	Uh	U	St (mm)
0	30	0	0	0	0	0	0	0
1	29,72	0,243	0,556	0,840	0,590	0,446	75,4%	24,131
2	28,83	0,516	0,811	1,680	1,180	0,693	94,2%	30,145
3	27,65	0,841	1,035	2,520	1,770	0,830	100,0%	32,008
4	27,20	1,159	1,215	3,359	2,361	0,906	100,0%	32,008
5	26,79	1,493	1,379	4,199	2,951	0,948	100,0%	32,008

Berikut contoh perhitungan pada hari pertama :

$$Cv_{rata-rata} = 0,134$$

$$Tv = \frac{Cv \times t}{Ht^2} = \frac{0,134 \times 1 \times 365}{24,446^2} = 0,08$$

$$Uv = \sqrt{\frac{4Tv}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,08}{\pi}} = 0,323$$

$$Th = \frac{Cvt}{4D^2} = \frac{0,134 \times 1 \times 2 \times 365}{4 \left(0,226 \times \frac{1000}{2}\right)^2} = 0,002$$

$$x = -\frac{8Th}{F(n)} = -\frac{8 \times 0,002}{0,111} = -0,137$$

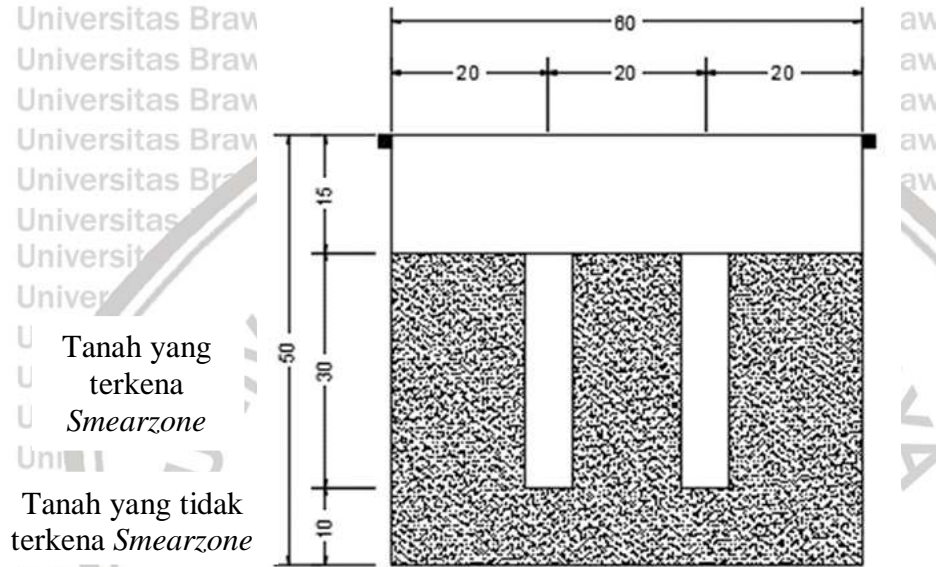


$$Uh = 1 - e^x = 1 - e^{0,137} = 12,8\%$$

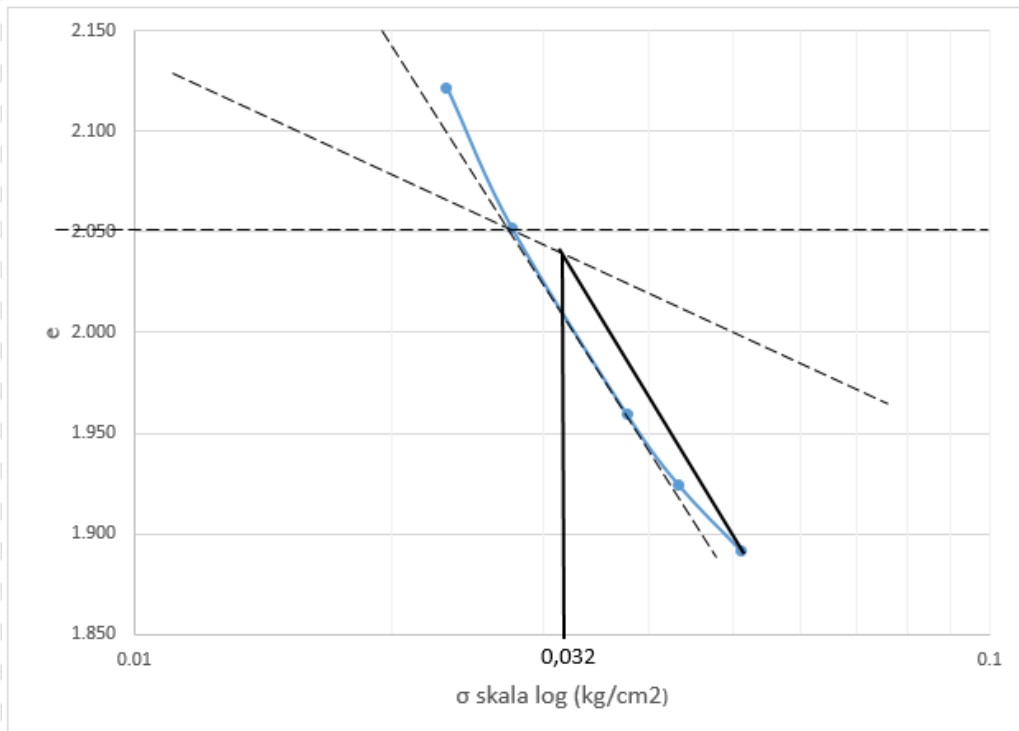
$$U = 1 - (1 - Uv)(1 - Uh) = 1 - (1 - 0,323)(1 - 0,128) = 0,41$$

$$St = U \times Sc_{akhir} = 0,41 \times 13,39 = 5,48 \text{ mm}$$

Perhitungan contoh diatas hanya penurunan yang terkena efek *Smearzone* sedangkan tanah yang tidak terjangkau *Smearzone* menggunakan perhitungan penurunan akhir sebagai berikut :



Gambar 4. 17 Potongan Melintang Box Benda Uji yang Berisi Tanah dan PVD



Gambar 4. 18 Menentukan Nilai Prakonsolidasi ($\sigma'c$) pada Sampel Tanah Menggunakan PVD 30cm dengan Menggunakan Grafik e -long σ

Dari grafik diatas didapatkan nilai tekanan prakonsolidasi sebesar $0,032 \text{ kg/cm}^2$

Diketahui data sebagai berikut :

$$H_{\text{lapisan 1}} = 30 \text{ cm}$$

$$H_{\text{lapisan 2}} = 10 \text{ cm}$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 1485 \text{ kg/m}^3$$

$$\sigma_0' = 30 \times \gamma_{\text{sat}} + \gamma_{\text{sat}} \times \frac{H}{2}$$

$$= 30 \times 1485 + 1485 \times \frac{10}{2}$$

$$= 0,0519 \text{ kg/cm}^2$$

Dikarenakan syarat yang memenuhi $\sigma_0' > \sigma_c'$ maka tanah tersebut mengalami

normally consolidated

Diketahui :

$$H = 10 \text{ cm}$$

$$e_0 = 2,143$$

$$Cc = 0,607$$

$$\sigma_0' = 0,0519 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta\sigma = 0,0512 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_1' = \sigma_0' + \Delta\sigma = 0,0519 + 0,0512$$

$$\sigma_1' = 0,1031 \text{ kg/cm}^2$$

Maka :

$$Sc = Cc \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{\sigma_1'}{\sigma_0'}$$

$$Sc = 0,607 \frac{10}{1 + 2,143} \log \frac{0,1031}{0,0519}$$

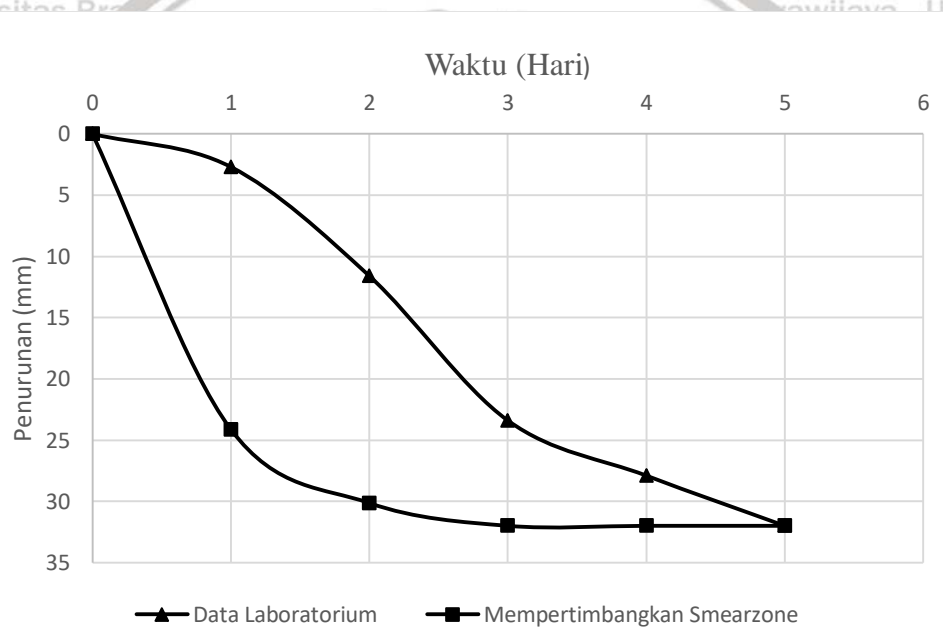
$$Sc = 0,575 \text{ cm}$$

$$Sc = 5,75 \text{ mm}$$

Sehingga total penurunan pada sampel tanah yang mempertimbangkan *Smearzone* ialah penurunan terakhir *Smearzone* sebesar 32mm ditambah penurunan terzaghi sebesar 5,75mm dan didapatkan nilai 37,75mm.

Tabel 4. 23 Perbandingan Penurunan Tanpa Mempertimbangkan *Smearzone* pada Sampel Tanah Menggunakan PVD Pola Segiempat dan Kedalaman 30cm dengan Penurunan yang Mempertimbangkan *Smearzone*

Hari	Penurunan (mm)	
	Penurunan dengan PVD 30cm	Penurunan dengan PVD 30cm Mempertimbangkan <i>Smearzone</i>
0	0	0
1	2,7	24,13
2	11,6	30,14
3	23,4	32,00
4	27,9	32,00
5	32,0	32,00



Tabel 4. 24 Perbandingan Penurunan Tanpa Pertimbangan *Smearzone* dan Pertimbangan

Tabel 4. 25 Tegangan Air Pori PVD Kedalaman 30cm

Hari	Tegangan Air Pori (kg/m^2)
0	0
1	35,24
2	5,45
3	0
4	0
5	0

4.4.1.3 Konsolidasi Tanah Sampel Menggunakan PVD Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 40cm



Berikut hasil uji kadar air yang sudah dirata – rata :

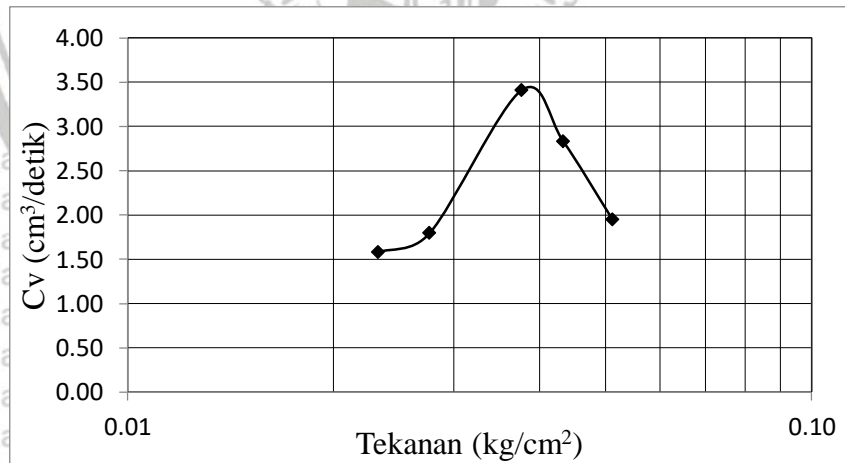
Tabel 4. 26 Hasil Uji Kadar Air PVD Kedalaman 40cm

	Kadar Air
Sebelum Pembebanan	81,46%
Setelah Pembebanan	67,78%

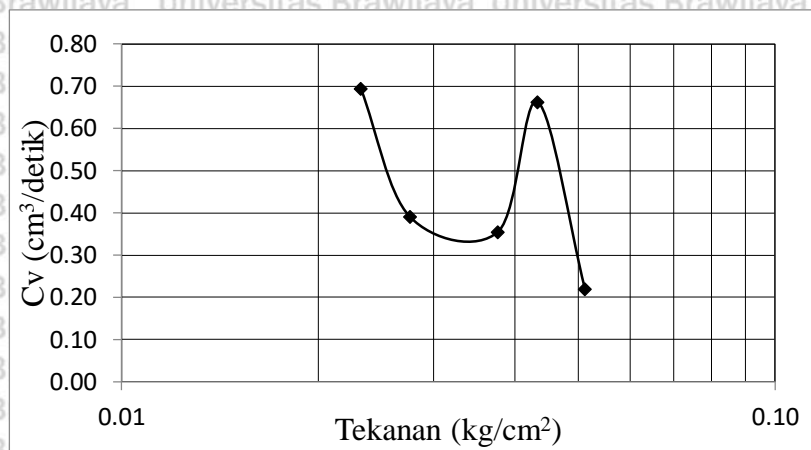
Berikut merupakan harga $C_v(t_{90})$ dan $C_v(t_{50})$ untuk sampel tanah menggunakan pvd berpola segiempat dengan variasi kedalaman 40cm :

Tabel 4. 27 Harga C_v dengan Metode Akar Waktu (t_{90}) dan Log Waktu (t_{50}) pada Sampel Tanah Menggunakan PVD dengan Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 30cm

Tegangan (kg/cm ²)	$C_v(t_{90})$ (cm ² /det)	$C_v(t_{50})$ (cm ² /det)
0,0232	1,579	0,694
0,0276	1,794	0,395
0,0377	3,410	0,335
0,0433	2,831	0,662
0,0512	1,943	0,219



Gambar 4. 19 Hubungan Tegangan dan C_v (t_{90}) pada Sampel Tanah Menggunakan PVD dengan Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 40cm



Gambar 4. 20 Hubungan Tegangan dan Cv (t₅₀) pada Sampel Tanah Menggunakan PVD dengan Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 40cm

Contoh perhitungan harga Cv (t₉₀)

$$Cv = \frac{0,0848 \times H^2}{t_{90}}$$

$$Cv = \frac{0,0848 \times 39,55^2}{821,40}$$

$$Cv = 1,580$$

Untuk (t₅₀)

$$Cv = \frac{0,197 \times H^2}{t_{50}}$$

$$Cv = \frac{0,197 \times 39,55^2}{444}$$

$$Cv = 0,694$$

Didapatkan nilai Cv(t₉₀) sebesar 1,580 dan Cv(t₅₀) sebesar 0,694

Tabel 4. 28 Perbandingan Nilai antara Tegangan, Konsolidasi dan Angka Pori pada Sampel Tanah Menggunakan PVD dengan Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 40cm

Tegangan (kg/cm ²)	Penurunan (mm)	Angka Pori (e = e _o - Δe)
0	0	2,143
0,0232	8,83	2,074
0,0276	16,92	2,010
0,0377	27,19	1,930
0,0433	32,02	1,892
0,0512	36,44	1,857

Dari tabel diatas bisa didapatkan nilai Cc dengan contoh perhitungan sebagai berikut :



$$C_{c2} = \frac{\Delta e}{\log \frac{\sigma_3}{\sigma_2}} = \frac{e2 - e3}{\log \frac{\sigma_3}{\sigma_2}} = \frac{2,074 - 2,010}{\log \frac{0,027}{0,023}}$$

$$= 0,467$$

$$C_{c3} = \frac{\Delta e}{\log \frac{\sigma_4}{\sigma_3}} = \frac{e3 - e4}{\log \frac{\sigma_4}{\sigma_3}} = \frac{2,010 - 1,930}{\log \frac{0,027}{0,037}}$$

$$= 0,990$$

Didapatkan nilai indeks kompresi rata – rata sebesar 0,728 dan nilai koefisien pemampatan kembali (Cr) didapatkan $\frac{1}{10} C_c$ yaitu 0,072.

Berikut adalah contoh perhitungan tanah menggunakan pvd dengan pola segiempat dan variasi kedalaman 40cm yang mengalami penurunan akibat adanya *smear zone* :

$$s = 0,2 \text{ m}$$

$$D = 1,13(s) = 1,13(0,25)$$

$$D = 0,226$$

$$\alpha = 0,1$$

$$b = 0,05$$

$$dw = \frac{\alpha + b}{2} = \frac{0,1 + 0,05}{2} = 0,095 \text{ m}$$

$$F(n) = \ln \frac{D}{dw} - 0,75 = \ln \frac{0,28}{0,095} - 0,75 = 0,111$$

Tabel 4. 29 Penurunan dengan Memperhitungkan SmearZone

Waktu (hari)	Tinggi Sampel	Tv	Uv	Th	x	Uh	U	St (mm)
0	40	0	0.000	0	0	0	0	0
1	39.117	0,551	0.838	0.82604	0.580	0.440	90.9%	33.139



2	38.307	1,150	1.210	1.65207	1.161	0.687	100.0%	36.444
3	37.280	1,821	1.523	2.47811	1.741	0.825	100.0%	36.444
4	36.798	2,493	1.781	3.30414	2.322	0.902	100.0%	36.444
5	36.355	3,192	2.016	4.13018	2.902	0.945	100.0%	36.444

Berikut contoh perhitungan pada hari pertama :

$$Cv_{rata-rata} = 2,311$$

$$Tv = \frac{Cv \times t}{Ht^2} = \frac{2,311 \times 1 \times 365}{39,117^2} = 0,551$$

$$Uv = \sqrt{\frac{4Tv}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,551}{\pi}} = 0,838$$

$$Th = \frac{Cvt}{4D^2} = \frac{2,311 \times 1 \times 2 \times 365}{4 \left(0,226 \times \frac{1000}{2}\right)^2} = 0,826$$

$$x = -\frac{8Th}{F(n)} = -\frac{8 \times 0,826}{0,111} = -0,580$$

$$Uh = 1 - e^x = 1 - e^{0,580} = 0,44\%$$

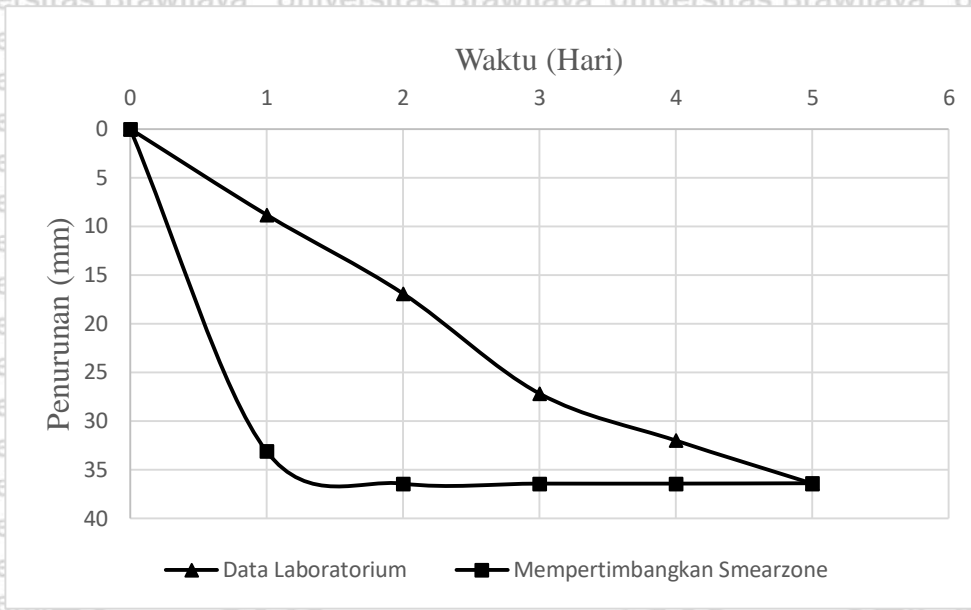
$$U = 1 - (1 - Uv)(1 - Uh) = 1 - (1 - 0,323)(1 - 0,128) = 0,909$$

$$St = U \times Sc_{akhir} = 0,909 \times 36,44 = 33,139 \text{ mm}$$

Tabel 4. 30 Perbandingan Penurunan Tanpa Mempertimbangkan Smearzone pada Sampel Tanah Menggunakan PVD Pola Segiempat dan Kedalaman 40cm dengan Penurunan yang Mempertimbangkan Smearzone

Hari	Penurunan (mm)	
	Penurunan dengan PVD 40cm	Penurunan dengan PVD 40cm Mempertimbangkan Smearzone
0	0	0
1	8,83	33,13
2	16,92	36,44
3	27,19	36,44
4	32,02	36,44
5	36,44	36,44





Tabel 4. 31 Perbandingan Penurunan Tanpa Pertimbangan Smearzone dan Pertimbangan

Tabel 4. 32 Tegangan Air Pori PVD Kedalaman 40cm

Hari	Tegangan Air Pori (kg/m ²)
0	0
1	21,11
2	0
3	0
4	0
5	0

4.4.2 Uji Kuat Geser

Uji baling – baling atau yang disebut juga dengan uji *Vaneshear* dilakukan waktu sebelum pemberian beban dan sesudah pemberian beban, tujuannya ialah agar bisa diketahui perbedaan perubahan kuat geser yang terjadi dalam sampel tanah. Pada sub bab ini akan membahas tentang kuat geser sampel tanah setelah pemberian beban dan menggunakan bantuan *Prefabricated Vertical Drain* pola segiempat dengan variasi kedalaman 25cm untuk membantu keluarnya air pada pori tanah kearah vertikal.

4.4.2.1 Uji *Vaneshear* Tanah Sampel Menggunakan PVD Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 25cm

Cara pengujian *Vaneshear* ialah dengan memasukan baling – baling kedalam sampel yang kedalaman minimalnya 3 (tiga) kali lubang bor dan kecepatan putaran harus setiap

interval 6° sampai 12° per 60 detik. Berikut merupakan tabel yang dihasilkan dari uji

Vaneshear :

Tabel 4. 33 Hasil Uji Vaneshear pada Tanah yang Menggunakan PVD Pola Segiempat dengan Kedalaman 25cm

Derajat	Torsi (Kgm)	Kuat Geser (kg/m ²)	Kuat Geser Rata-Rata
3	0.00027	9708	11866.12
4	0.00036	12944	
4	0.00036	12944	

Berikut merupakan contoh perhitungan uji vane shear pada tanah yang menggunakan

PVD berpola segiempat dengan kedalaman 25cm :

Spesifikasi Vane : H=10cm = 0,1m

D=13,1mm = 0,013m

$$Su = \left(\frac{T}{\pi \left(\frac{D^2 H}{2} + \frac{D^3}{6} \right)} \right) \times 1000$$

$$Su = \left(\frac{0,00027}{3,14 \left(\frac{0,013^2 \times 0,1}{2} + \frac{0,013^3}{6} \right)} \right) \times 1000$$

Su = 9708 kg/m²

Didapatkan nilai kuat geser pada tanah yang menggunakan PVD berpola segiempat dengan kedalaman 25cm pada titik 1 sebesar 9,708 kg/m².

4.4.2.2 Uji Vaneshear Tanah Sampel Menggunakan PVD Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 30cm

Cara pengujian *Vaneshear* ialah dengan memasukan baling – baling kedalam sampel yang kedalamannya minimalnya 3 (tiga) kali lubang bor dan kecepatan putaran harus setiap interval 6° sampai 12° per 60 detik. Berikut merupakan tabel yang dihasilkan dari uji

Vaneshear :

Tabel 4. 34 Hasil Uji Vaneshear pada Tanah yang Menggunakan PVD Pola Segiempat dengan Kedalaman 30cm

Derajat	Torsi (Kgm)	Kuat Geser (kg/m ²)	Kuat Geser (kg/m ²)
13	0.00118	42070	21574,76
3	0.00027	9708	
4	0.00036	12944	

Berikut merupakan contoh perhitungan uji vane shear pada tanah yang menggunakan

PVD berpola segiempat dengan kedalaman 25cm :

$$\begin{aligned} \text{Spesifikasi Vane} &: H=10\text{cm} = 0,1\text{m} \\ &D=13,1\text{mm} = 0,013\text{m} \end{aligned}$$

$$Su = \left(\frac{T}{\pi \left(\frac{D^2 H}{2} + \frac{D^3}{6} \right)} \right) \times 1000$$

$$Su = \left(\frac{0,0012}{3,14 \left(\frac{0,013^2 \times 0,1}{2} + \frac{0,013^3}{6} \right)} \right) \times 1000$$

$$Su = 42070 \text{ kg/m}^2$$

Didapatkan nilai kuat geser pada tanah yang menggunakan PVD berpola segiempat dengan kedalaman 30cm pada titik 1 sebesar 42.070 kg/m²

4.4.2.3 Uji Vaneshear Tanah Sampel Menggunakan PVD Pola Segiempat dan Variasi Kedalaman 40cm

Cara pengujian Vaneshear ialah dengan memasukan baling – baling kedalam sampel yang kedalaman minimalnya 3 (tiga) kali lubang bor dan kecepatan putaran harus setiap interval 6° sampai 12° per 60 detik. Berikut merupakan tabel yang dihasilkan dari uji Vaneshear :

Tabel 4. 35 Hasil Uji Vaneshear pada Tanah yang Menggunakan PVD Pola Segiempat dengan Kedalaman 40cm

Derajat	Torsi (Kgm)	Kuat Geser (kg/m ²)	Kuat Geser Rata-Rata
14	0,0012	45307	44228
15	0,0013	48543	
12	0,0010	38834	

Berikut merupakan contoh perhitungan uji vane shear pada tanah yang menggunakan PVD berpola segiempat dengan kedalaman 25cm :

$$\begin{aligned} \text{Spesifikasi Vane} &: H=10\text{cm} = 0,1\text{m} \\ &D=13,1\text{mm} = 0,013\text{m} \end{aligned}$$

$$Su = \left(\frac{T}{\pi \left(\frac{D^2 H}{2} + \frac{D^3}{6} \right)} \right) \times 1000$$

$$Su = \left(\frac{0,0012}{3,14 \left(\frac{0,013^2 \times 0,1}{2} + \frac{0,013^3}{6} \right)} \right) \times 1000$$

$$Su = 45307 \text{ kg/m}^2$$

Didapatkan nilai kuat geser pada tanah yang menggunakan PVD berpola segiempat dengan kedalaman 40cm pada titik 1 sebesar 45.307 kg/m²

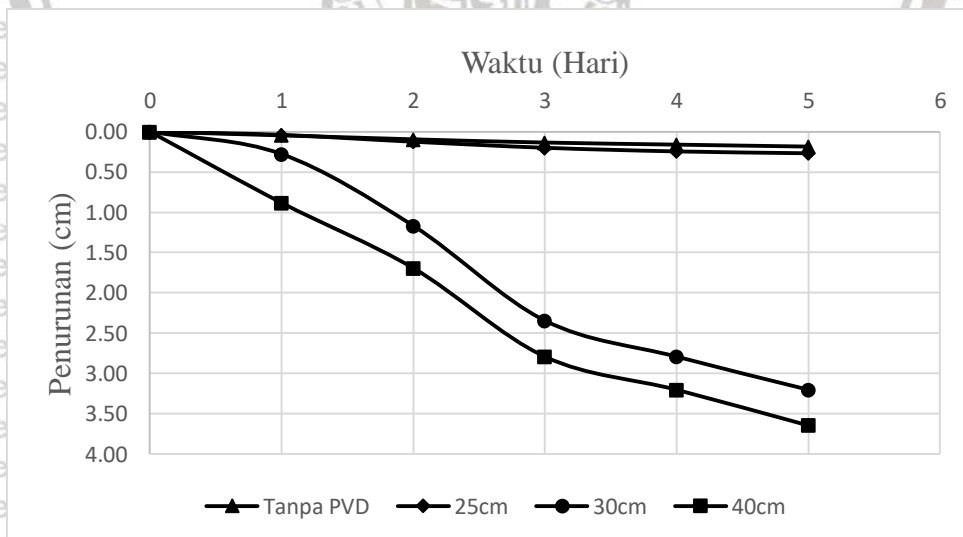
4.5 Perbandingan Konsolidasi, Cv(t90), Cv(t50), Indeks Pemampatan (Cc), Tekanan Air Pori dan Kuat Geser pada Sampel Tanah

4.5.1 Perbandingan Nilai Penurunan Pada Semua Sampel Tanah

Berikut merupakan hasil penurunan yang terjadi pada semua sampel tanah :

Tabel 4. 36 Perbandingan Nilai Penurunan Pada Semua Sampel Tanah

Waktu (Hari)	Variasi Kedalaman (mm)			
	Tanpa PVD	25	30	40
0	0	0	0	0
1	0,46	0,40	2,78	8,83
2	0,95	1,25	11,67	16,92
3	1,35	2,00	23,44	27,19
4	1,61	2,45	27,91	32,02
5	1,85	2,68	32,01	36,44



Gambar 4. 21 Perbandingan Nilai Penurunan Pada Semua Sampel Tanah

Data tabel dan grafik diatas merupakan sampel tanah dengan ketinggian 40cm dan diberikan beban secara bertahap selama 5 hari dengan variasi pergantian setiap 1 hari (24 jam). Sampel tanah memiliki beberapa variasi, untuk yang pertama sampel tanah diberikan beban secara bertahap tanpa menggunakan bantuan *Prefabricated Vertical Drain* sedangkan untuk yang kedua sampai keempat diberikan bantuan berupa dimasukkannya *Prefabricated*

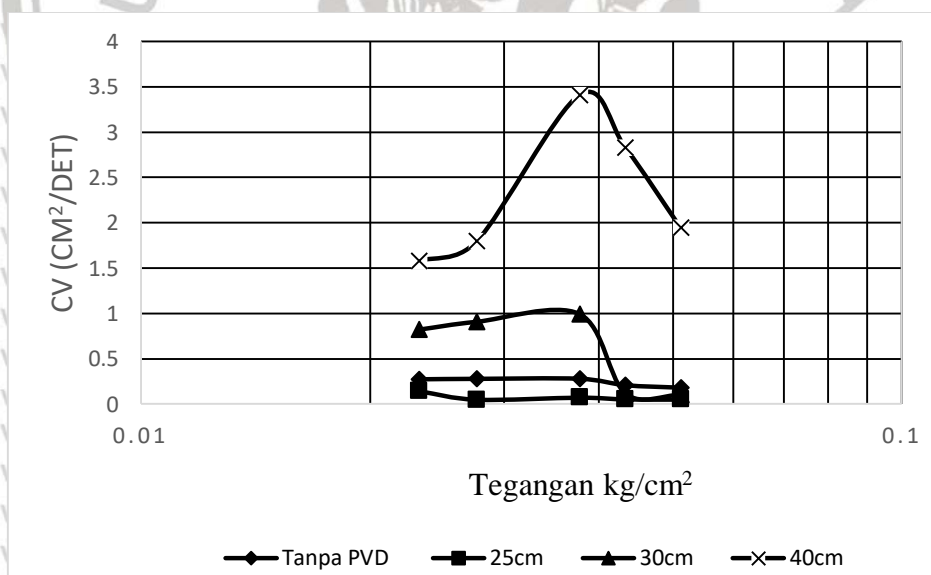
Vertical Drain ke sampel tanah dengan variasi kedalaman masing – masing 25cm, 30cm, dan 40cm. Ada terjadi kesalahan dalam sampel kedalaman 25cm yang disebabkan oleh kesalahan pemasangan sehingga menyebabkan tidak akuratnya pembacaan arlojinya.

Kesimpulan yang bisa kita ambil dari tabel dan grafik diatas ialah semakin tinggi kedalaman *Prefabricated Vertical Drain* pada sampel tanah maka akan semakin besar nilai penurunan karena ketinggian pvd dapat menjangkau air dengan mudah.

4.5.2 Perbandingan Harga Cv(t90) Pada Semua Sampel Tanah

Tabel 4. 37 Perbandingan Harga Cv(t90) Pada Semua Sampel Tanah

Tegangan (kg/cm ²)	Variasi Kedalaman (cm ² /det)			
	Tanpa PVD	25	30	40
0,0232	0,273	0,141	0,821	1,579
0,0276	0,278	0,048	0,907	1,794
0,0377	0,279	0,07	0,993	3,410
0,0433	0,208	0,051	0,118	2,831
0,0512	0,180	0,049	0,1	1,943



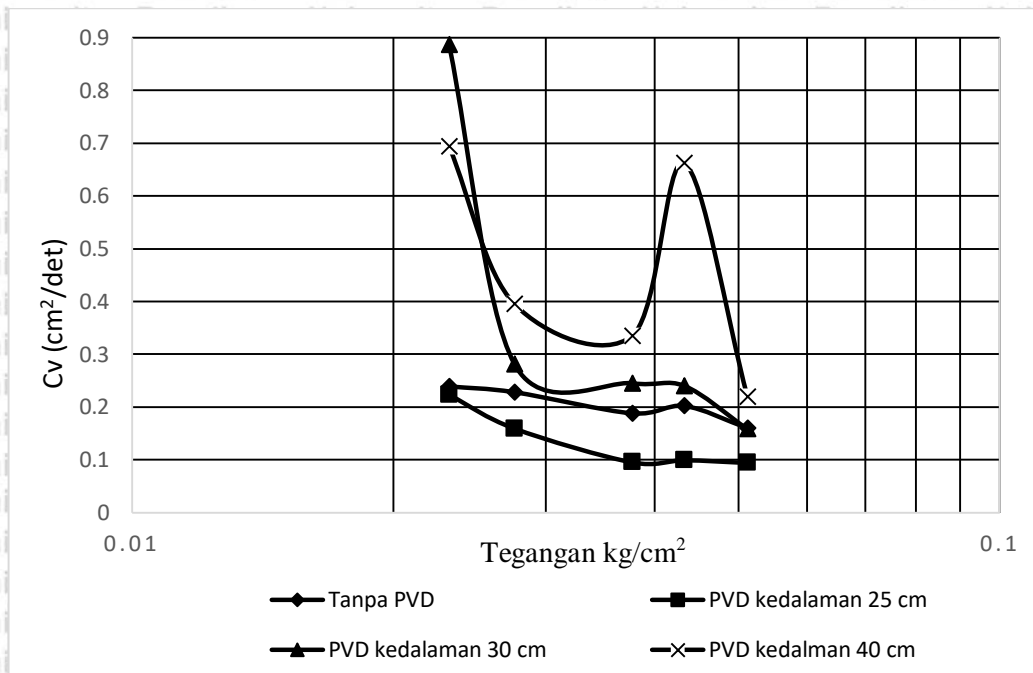
Gambar 4. 22 Perbandingan Harga Cv(t90) Pada Semua Sampel Tanah

4.5.3 Perbandingan Harga Cv(t50) Pada Semua Sampel Tanah

Tabel 4. 38 Perbandingan Harga Cv(t50) Pada Semua Sampel Tanah

Tegangan (kg/cm ²)	Variasi Kedalaman (cm ² /det)			
	Tanpa PVD	25	30	40
0,0232	0,239	0,223	0,887	0,694
0,0276	0,228	0,159	0,281	0,395
0,0377	0,188	0,095	0,245	0,335
0,0433	0,202	0,099	0,24	0,662

0,0512	0,160	0,094	0,158	0,219
--------	-------	-------	-------	-------

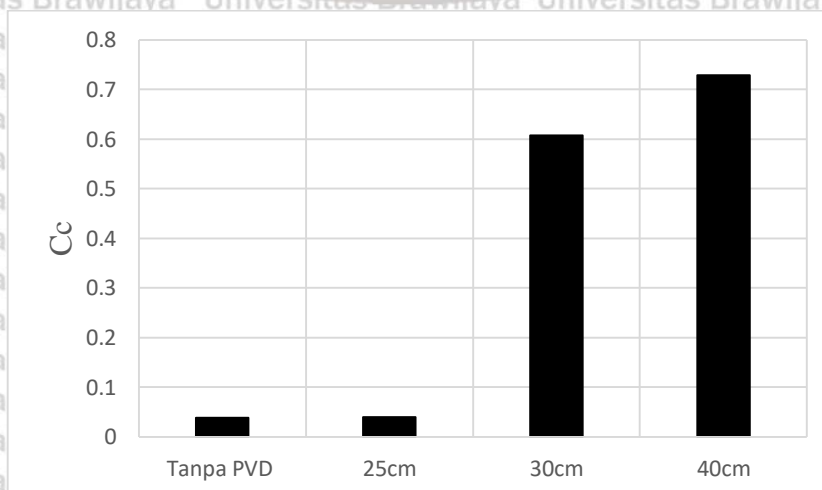


Gambar 4. 23 Perbandingan Harga $C_v(t_{50})$ Pada Semua Sampel Tanah

4.5.4 Perbandingan Nilai C_c (Indeks Compression) pada Semua Sampel Tanah

Tabel 4. 39 Perbandingan Nilai Indeks Compression pada Semua Sampel Tanah

Nilai C_c	Kedalaman PVD			
	Tanpa PVD	25cm	30cm	40cm
C_{c1}	0,023	0,036	0,679	0,467
C_{c2}	0,053	0,043	0,536	0,990
Rata - Rata	0,038	0,040	0,607	0,729



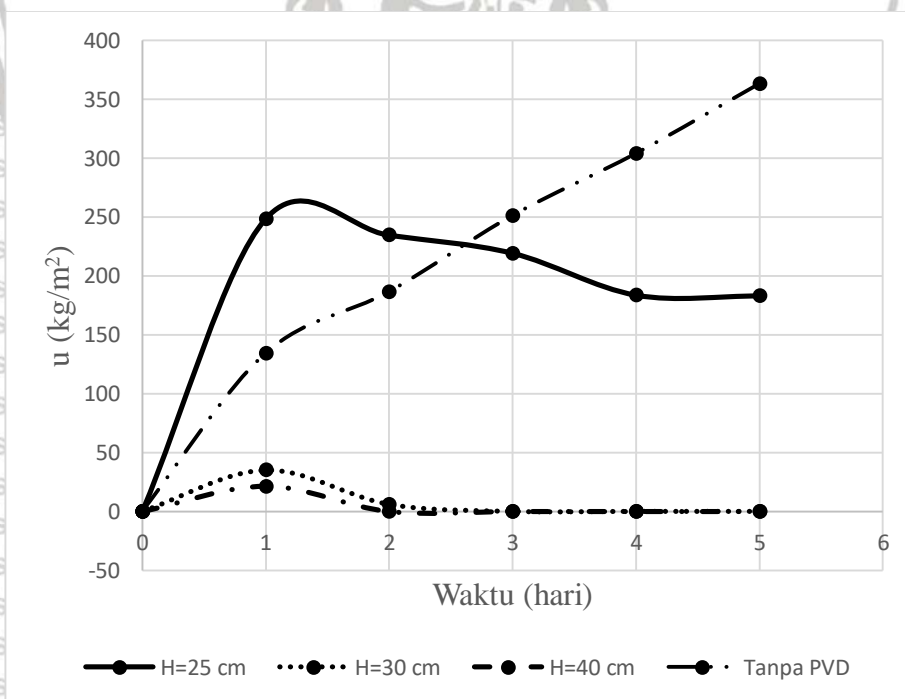
Gambar 4. 24 Perbandingan Nilai C_c pada Semua Sampel Tanah

Indeks kompresi merupakan nilai yang berhubungan dengan besarnya nilai penurunan yang terjadi dilapangan akibat konsolidasi sehingga semakin besar nilai indeks pemampatan maka semakin besar juga penurunan yang akan terjadi. Kesimpulan yang dapat kita ambil dari grafik diatas adalah semakin dalam kedalaman *Prefabricated Vertical Drain* maka akan semakin besar juga nilai C_c sehingga dapat disimpulkan penurunan yang terjadi akan semakin besar.

4.5.5 Perbandingan Nilai Tegangan Air Pori Pada Semua Sampel Tanah

Tabel 4. 40 Perbandingan Nilai Tegangan Air Pori

Hari	Tegangan Air Pori (kg/m^2)			
	Tanpa PVD	PVD 25cm	PVD 30cm	PVD 40cm
0	134,22	0	0	0
1	186,49	232,12	35,24	21.31
2	251,18	234,43	5,45	0
3	303,83	219,27	0	0
4	363,05	183,45	0	0
5	134,22	182,54	0	0



Gambar 4. 25 Perbandingan Nilai Tegangan Air Pori pada Semua Sampel Tanah

Tegangan air pori merupakan suatu perubahan tekanan yang berada di dalam massa tanah dan dapat membuat kemampuan tanah terpengaruh dalam menumpu beban diatasnya.

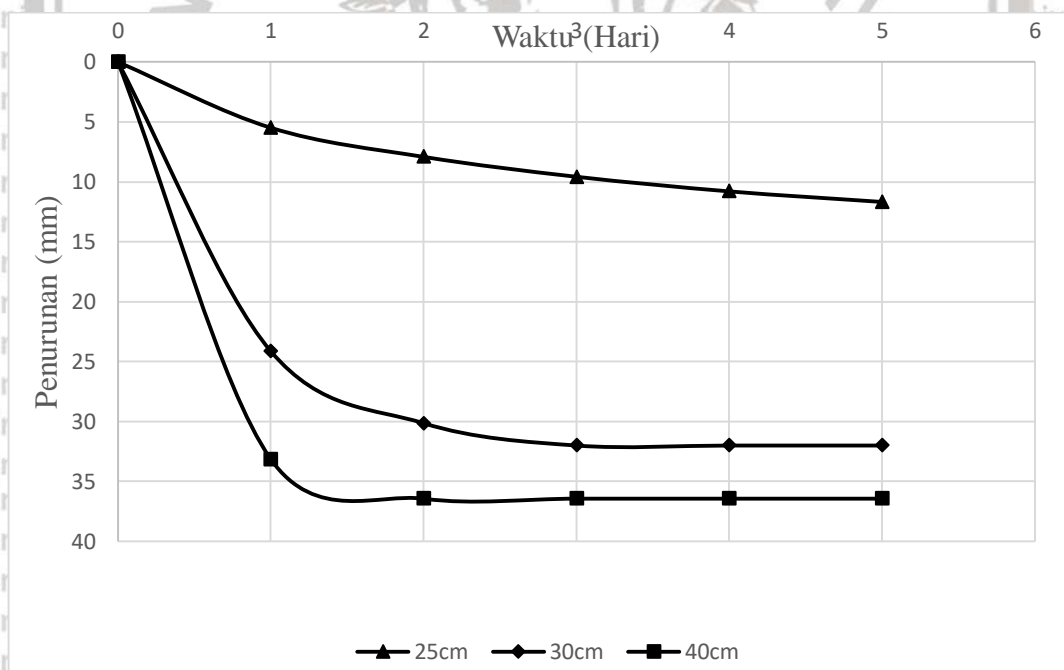
Tegangan air pori ini berbanding terbalik dengan kekuatan tanah menahan beban yang

berada di atasnya, apabila terjadi kenaikan dalam nilai tegangan air pori maka kekuatan tanah dalam menahan beban yang diberikan di atasnya akan mengalami penurunan.

4.5.6 Perbandingan Nilai Penurunan dengan Memperhitungkan Smearzone Pada Semua Sampel Tanah

Tabel 4. 41 Perbandingan Nilai Penurunan dengan Memperhitungkan Smearzone Pada Semua Sampel Tanah

Waktu (Hari)	Variasi Kedalaman (mm)		
	25	30	40
0	0	0	0
1	5.485	24.131	33.139
2	7.913	30.145	36.444
3	9.574	32.008	36.444
4	10.794	32.008	36.444
5	11.677	32.008	36.444



Gambar 4. 26 Perbandingan Nilai Penurunan dengan Memperhitungkan Smearzone Pada Semua Sampel Tanah

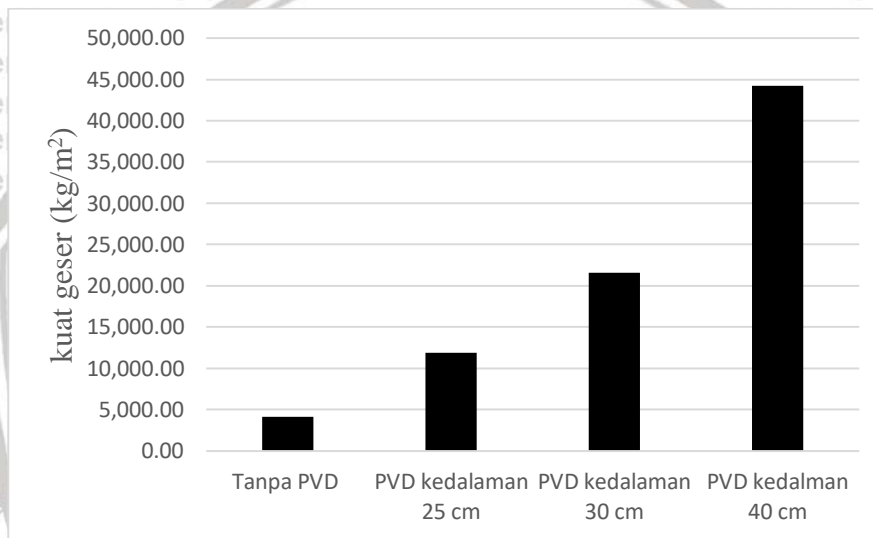
Smearzone merupakan zona yang terjadi karena aktivitas penusukan *Prefabricated Vertical Drain* pada sampel tanah sehingga menyebabkan terjadinya kerusakan struktur tanah pada daerah sekitar pvd. Kerusakan struktur tanah dapat mempengaruhi kecepatan keluarnya air pada pori tanah menuju *Prefabricated Vertical Drain*. Kesimpulannya ialah semakin dalam pemasangan *Prefabricated Vertical Drain* maka akan semakin besar juga

nilai penurunan yang terjadi karena dengan pemasangan pvd semakin dalam akan memperluas *Smearzone*.

4.5.7 Perbandingan Nilai Kuat Geser pada Semua Sampel Tanah

Tabel 4. 42 Perbandingan Nilai Kuat Geser Pada Semua Sampel Tanah

Variasi Kedalaman			
Rata - Rata Vaneshear (kg/m^2)			
Tanpa PVD	25cm	30cm	40cm
4149	11866	21575	44228



Gambar 4. 27 Perbandingan Nilai Kuat Geser Pada Semua Sampel Tanah

Kedalaman *Prefabricated Vertical Drain* pada sampel tanah uji sangat mempengaruhi besarnya nilai kuat geser pada sampel tanah karena dengan panjangnya pvd selain mempercepat penurunan juga memperpendek jalannya air yang berada di dalam pori tanah sehingga air berkurang dengan maksimal dan kepadatan tanah meningkat yang menyebabkan naiknya nilai kuat geser sampel tanah tersebut.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian pola segiempat pemasangan PVD variasi kedalaman, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Karakteristik tanah yang berada jalan tol Pasuruan – Probolinggo :

- Hasil pengujian SPT mendapatkan nilai N sebesar 2 (blow/30cm) kedalaman tanah 8m hingga 10m dan untuk nilai N(2-4) merupakan jenis tanah lunak.
- Tanah berupa berbutir halus dikarenakan lolos saringan No.200 sebesar 98,46%.
- Indeks plastisitas (PI) sebesar 28,93% kemudian di plot dalam sistem klasifikasi uscs dan didapatkan kelompok lanau dengan plastisitas tinggi (MH)
- Hasil uji berat jenis (specific Gravity) didapatkan sebesar 2,56 merupakan lanau organik.

2. Penurunan pada tanah terjadi kenaikan nilai, terlihat pada penurunan sampel tanpa pvd sebesar 0,185mm sedangkan untuk kedalaman 25cm mengalami kenaikan sebesar 31%, untuk kedalaman 30cm mengalami kenaikan sebesar 94% dan untuk kedalaman 40cm mengalami kenaikan sebesar 97%. Adanya peningkatan penurunan pada waktu yang sama terhadap sampel tanah disebabkan oleh bantuan PVD karena mempermudah air pori mengalir dari bawah ke atas sehingga mempercepat dan memperbesar terjadinya penurunan pada sampel tanah di waktu yang sama.

3. Kuat geser pada tanah mengalami kenaikan, terlihat pada perbandingan yang dialami antara sampel tanah tanpa pvd dengan penggunaan pvd 25cm sebesar 65%, sedangkan untuk penggunaan pvd 30cm sebesar 81% dan untuk penggunaan pvd 40cm sebesar 90%. Peningkatan yang terjadi karena semakin dalam pemasangan pvd maka air yang dijangkau oleh pvd akan semakin banyak, hal tersebut bisa menaikkan nilai kuat geser karena air di dalam tanah berkurang semakin banyak.

4. Semakin besar kedalaman maka tegangan air pori turun sampai nilai nol akan semakin cepat, sehingga kecepatan konsolidasi meningkat.



5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian serta analisis pemasangan PVD pola segiempat variasi kedalaman, maka terdapat saran-saran yang berguna untuk pengembangan penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pengujian dilapangan untuk mendapatkan kuat geser yang dapat dibandingkan dengan kuat geser hasil uji laboratorium
2. Perlu melakukan pengujian dengan kadar air sampel yang lebih rendah dari 82% , agar sampel yang di hasilkan setelah pembebanan tidak terlalu lunak agar pengujian *triaxial* dan *unconfined* dapat dilakukan.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR PUSTAKA

- Arianto, Tjatur. 2010. "Studi Kuat Geser Tanah Lunak dengan Metode Uji Geser Sudut Lapangan dan Uji Geser Sudut Laboratorium". Depok: Universitas Indonesia.
- Bachtiar, M., I., M. 2019. "Perencanaan Ulang Perbaikan Tanah Lunak Metode Preloading Kombinasi *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dan *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD) Berdasarkan Data *Back Analysis*". Jember: Universitas Jember.
- Das, M., Braja. 1995. *Mekanika Tanah Jilid 1*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Hardiyatmo, H. C. (2018). *Mekanika Tanah 2 Edisi Ke Enam*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Hardiyatmo, H. C. (2017). *Mekanika Tanah 1 Edisi Ke Tujuh*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Hidayati, A., M. dan Ardana, W., D. 2008. "Kombinasi Preloading dan Penggunaan *Prefabricated Vertical Drains* untuk Mempercepat Konsolidasi Tanah Lempung Lunak (Studi Kasus Tanah Lempung Suwung Kangin)". *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, Vol. 12. Denpasar : Universitas Udayana.
- Kusumawardani, R., dkk. 2015. Analisis Kenaikan Tekanan Air Pori *Clean Sand* Menggunakan Metode *Cyclic Shear-Strain Controlled*. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, Vol. 17, Hal. 63 – 72. Semarang : Universitas Negeri Semarang.
- Raharmadi, Bambang. 2017. Tinjauan Karakteristik Tanah untuk Stabilisasi Lapis Pondasi Perkerasan Jalan. Jakarta: Media Ilmiah Teknik Sipil, Volume 5, Hal. 94-108. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Rostikasari, A., Surjandari, S. N., dan Djarwanti, N. 2016. Korelasi Indeks Kompresi (C_c) dengan Parameter Kadar Air Alamiah (w_n) dan Indeks Plastisitas (IP). *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, Hal. 570 – 575. Surakarta : Universitas Sebelas Maret.
- Sugiharyanto dan Khotimah, Nurul. 2009. *Diktat Mata Kuliah Geografi Tanah*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Widhiarto, H., Fatmawati, E. dan Beatrix, M. 2018. "Pengaruh *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) Mempercepat Proses Konsolidasi pada Konstruksi Taxiway Di Bandara Juanda Surabaya". Surabaya : Universitas 17 Agustus Surabaya.
- Zaika, Y., dan Suroso, H. *Mekanika Tanah II*. Malang: Bargie Media
- Zaika, Y., Rachmansyah, A., dan Harimurti. 2019. *Geotechnical Behaviour of Soft Soil In*

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

Kadar Air (Water Content)

Kadar air tanah asli

No. Cawan		Sampel tanah			
		Satuan	1	2	3
1	Berat Cawan (W_1)	gram	5,49	2,97	5,87
2	Berat Cawan + Tanah Basah (W_2)	gram	20,37	18,38	21,28
3	Berat Cawan + Tanah Kering (W_3)	gram	14,38	12,07	14,95
4	Berat Air (W_a)	gram	5,99	6,31	6,33
5	Berat Tanah Kering (W_t)	gram	8,89	9,1	9,08
6	Kadar Air (W)	%	67,379%	69,341%	69,714%
7	Rata-rata Kadar Air	%	68,81%		

Kadar air pada sampel tanah tanpa PVD sebelum pembebanan

No. Cawan		Sampel tanah			
		Satuan	1	2	3
1	Berat Cawan (W_1)	gram	5,63	3,08	3,13
2	Berat Cawan + Tanah Basah (W_2)	gram	14,1	13	13,5
3	Berat Cawan + Tanah Kering (W_3)	gram	10,36	8,45	8,73
4	Berat Air (W_a)	gram	3,74	4,55	4,77
5	Berat Tanah Kering (W_t)	gram	4,73	5,37	5,6
6	Kadar Air (W)	%	79,07%	84,73%	85,18%
7	Rata-rata Kadar Air	%	82,993%		

Kadar air pada sampel tanah tanpa PVD setelah pembebanan

No. Cawan		sampel tanah			
		Satuan	1	2	3
1	Berat Cawan (W_1)	gram	2,92	4,11	4,3
2	Berat Cawan + Tanah Basah (W_2)	gram	21,19	36,66	27,71
3	Berat Cawan + Tanah Kering (W_3)	gram	13,36	22,55	17,07
4	Berat Air (W_a)	gram	7,83	14,11	10,64
5	Berat Tanah Kering (W_t)	gram	10,44	18,44	12,77
6	Kadar Air (W)	%	75,00%	76,52%	83,32%
7	Rata-rata Kadar Air	%	78,280%		



Kadar air pada sampel tanah kedalaman PVD 25cm sebelum pembebanan

No. Cawan		sampel tanah			
		Satuan	1	2	3
1	Berat Cawan (W1)	gram	4.18	4.2	4.27
2	Berat Cawan + Tanah Basah (W2)	gram	13.72	15.82	18.7
3	Berat Cawan + Tanah Kering (W3)	gram	9.41	10.44	12.48
4	Berat Air (Wa)	gram	4.31	5.38	6.22
5	Berat Tanah Kering (Wt)	gram	5.23	6.24	8.21
6	Kadar Air (W)	%	82.41%	86.22%	75.76%
7	Rata-rata Kadar Air	%	81.463%		

Kadar air pada sampel tanah kedalaman PVD 25cm setelah pembebanan

No. Cawan		sampel tanah			
		Satuan	1	2	3
1	Berat Cawan (W1)	gram	2.98	3	4.07
2	Berat Cawan + Tanah Basah (W2)	gram	10.47	12.47	15.72
3	Berat Cawan + Tanah Kering (W3)	gram	7.73	8.48	10.81
4	Berat Air (Wa)	gram	2.74	3.99	4.91
5	Berat Tanah Kering (Wt)	gram	4.75	5.48	6.74
6	Kadar Air (W)	%	57.68%	72.81%	72.85%
7	Rata-rata Kadar Air	%	67.781%		

Kadar air pada sampel tanah kedalaman PVD 30cm sebelum pembebanan

No. Cawan		sampel tanah			
		Satuan	1	2	3
1	Berat Cawan (W1)	gram	6.05	5.47	5.76
2	Berat Cawan + Tanah Basah (W2)	gram	13.22	13.22	16.36
3	Berat Cawan + Tanah Kering (W3)	gram	9.93	9.84	11.54
4	Berat Air (Wa)	gram	3.29	3.38	4.82
5	Berat Tanah Kering (Wt)	gram	3.88	4.37	5.78
6	Kadar Air (W)	%	84.79%	77.35%	83.39%
7	Rata-rata Kadar Air	%	81.843%		

Kadar air pada sampel tanah kedalaman PVD 30cm setelah pembebanan

No. Cawan		sampel tanah			
		Satuan	1	2	3
1	Berat Cawan (W1)	gram	2,92	3.77	4.26
2	Berat Cawan + Tanah Basah (W2)	gram	9.92	18.54	14.06



3	Berat Cawan + Tanah Kering (W3)	gram	7.09	12.89	10.06
4	Berat Air (Wa)	gram	2.83	5.65	4
5	Berat Tanah Kering (Wt)	gram	4.17	9.12	5.8
6	Kadar Air (W)	%	67.87%	61.95%	68.97%
7	Rata-rata Kadar Air	%	66.261%		

Kadar air pada sampel tanah kedalaman PVD 40cm sebelum pembebanan

No. Cawan		sampel tanah			
		Satuan	1	2	3
1	Berat Cawan (W1)	gram	4,54	6,89	4,81
2	Berat Cawan + Tanah Basah (W2)	gram	14,21	15,13	17,62
3	Berat Cawan + Tanah Kering (W3)	gram	9,86	11,28	12,04
4	Berat Air (Wa)	gram	4,35	3,85	5,58
5	Berat Tanah Kering (Wt)	gram	5,32	4,39	7,23
6	Kadar Air (W)	%	81,77%	87,70%	77,18%
7	Rata-rata Kadar Air	%	82,215%		

Kadar air pada sampel tanah kedalaman PVD 40cm setelah pembebanan

No. Cawan		sampel tanah			
		Satuan	1	2	3
1	Berat Cawan (W1)	gram	4,05	5,69	5,49
2	Berat Cawan + Tanah Basah (W2)	gram	15,24	11,98	19,91
3	Berat Cawan + Tanah Kering (W3)	gram	10,91	9,52	14,19
4	Berat Air (Wa)	gram	4,33	2,46	5,72
5	Berat Tanah Kering (Wt)	gram	6,86	3,83	8,70
6	Kadar Air (W)	%	63,12%	64,23%	65,75%
7	Rata-rata Kadar Air	%	64,365%		

LAMPIRAN 2

Koefisien Konsolidasi (C_v)

Metode kecocokan log-waktu t_{50} (*long-time fitting method*)

Koefisien Konsolidasi $C_v(t_{50})$ pada sampel tanah tanpa PVD

Tegangan Konsolidasi (kg/cm ²)	Konsolidasi (cm)	H (cm)	Tinggi contoh tanah rata-rata (Hdr) (cm)	t_{50} (detik)	Koefisien Konsolidasi $C_v = (0,197 \times H^2) / t_{50}$
0	0	40	-	-	-
0,0232	0,046	39,954	39,977	1302	0,242

0,0276	0,095	39,905	39,930	1332	0,236
0,0377	0,135	39,865	39,885	1578	0,199
0,0433	0,161	39,839	39,852	1446	0,216
0,0512	0,185	39,815	39,827	1800	0,174

Koefisien Konsolidasi $C_v(t_{50})$ pada sampel tanah kedalaman PVD 25cm

Tegangan (kg/cm ²)	Konsolidasi (cm)	H (cm)	Tinggi contoh tanah rata-rata (Hdr) (cm)	t ₅₀ (detik)	Koefisien Konsolidasi $C_v = (0,197 \times H^2) / t_{50}$
0.000	0.000	25.000	-	-	-
0.023	0.040	24.960	24.980	540.000	0.228
0.028	0.126	24.874	24.917	732.000	0.167
0.038	0.200	24.800	24.837	1200.000	0.101
0.043	0.245	24.755	24.777	1134.000	0.107
0.051	0.268	24.732	24.743	1176.000	0.103

Koefisien Konsolidasi $C_v(t_{50})$ pada sampel tanah kedalaman PVD 30cm

Tegangan (kg/cm ²)	Konsolidasi (cm)	H (cm)	Tinggi contoh tanah rata-rata (Hdr) (cm)	t ₅₀ (detik)	Koefisien Konsolidasi $C_v = (0,197 \times H^2) / t_{50}$
0.000	0.000	30.000	-	-	-
0.023	0.278	29.723	29.861	198.000	0.887
0.028	1.167	28.833	29.278	600.000	0.281
0.038	2.344	27.656	28.245	642.000	0.245
0.043	2.791	27.209	27.433	618.000	0.240
0.051	3.201	26.799	27.004	912.000	0.158

Koefisien Konsolidasi $C_v(t_{50})$ pada sampel tanah kedalaman PVD 40cm

Tegangan (kg/cm ²)	Konsolidasi (cm)	H (cm)	Tinggi contoh tanah rata-rata (Hdr) (cm)	t ₅₀ (detik)	Koefisien Konsolidasi $C_v = (0,197 \times H^2) / t_{50}$
0.000	0.000	40.000	-	-	-
0.023	0.883	39.117	39.559	444.000	0.694

0.028	1.692	38.308	38.712	756.000	0.391
0.038	2.719	37.281	37.794	792.000	0.355
0.043	3.202	36.798	37.040	408.000	0.662
0.051	3.644	36.356	36.577	1200.000	0.220

LAMPIRAN 3
Koefisien Konsolidasi (C_v)

Metode akar waktu t_{90} (*square root of time method*, Taylor 1948)

Koefisien Konsolidasi $C_v(t_{90})$ pada sampel tanah tanpa PVD

Tegangan (kg/cm ²)	Konsolidasi (cm)	H (cm)	Tinggi contoh tanah rata-rata (Hdr) (cm)	t_{90} (detik)	Koefisien Konsolidasi $C_v = (0,848 \times H^2) / t_{90}$
0	0,000	40,000	-	-	-
0,0232	0,046	39,954	39,977	4860	0,279
0,0276	0,095	39,905	39,930	4646	0,291
0,0377	0,135	39,865	39,885	4541	0,297
0,0433	0,161	39,839	39,852	6000	0,224
0,0512	0,185	39,815	39,827	6869	0,196

Koefisien Konsolidasi $C_v(t_{90})$ pada sampel tanah kedalaman PVD 25cm

Tegangan (kg/cm ²)	Konsolidasi (cm)	H (cm)	Tinggi contoh tanah rata-rata (Hdr) (cm)	t_{90} (detik)	Koefisien Konsolidasi $C_v = (0,848 \times H^2) / t_{90}$
0.000	0.000	25.000	-	-	-
0.023	0.040	24.960	24.980	8496.600	0.062
0.028	0.126	24.874	24.917	4034.400	0.130
0.038	0.200	24.800	24.837	3744.600	0.139
0.043	0.245	24.755	24.777	5880.600	0.088
0.051	0.268	24.732	24.732	7260.000	0.071

Koefisien Konsolidasi $C_v(t_{90})$ pada sampel tanah kedalaman PVD 30cm

Tegangan (kg/cm ²)	Konsolidasi (cm)	H (cm)	Tinggi contoh tanah rata-rata (Hdr) (cm)	t_{90} (detik)	Koefisien Konsolidasi $C_v = (0,848 \times H^2) / t_{90}$



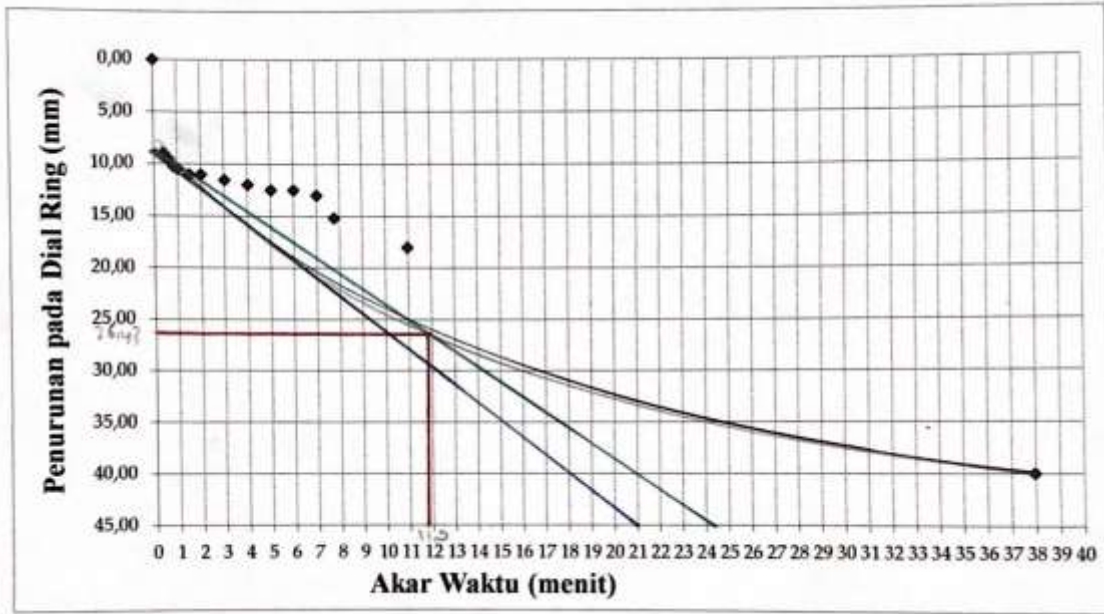
0.000	0.000	30.000	-	-	-
0.023	0.278	29.723	29.861	912.600	0.821
0.028	1.167	28.833	29.278	777.600	0.907
0.038	2.344	27.656	28.245	653.400	0.993
0.043	2.791	27.209	27.433	5301.600	0.118
0.051	3.201	26.799	26.799	6120.600	0.100

Koefisien Konsolidasi $C_v(t_{90})$ pada sampel tanah kedalaman PVD 40cm

Tegangan (kg/cm ²)	Konsolidasi (cm)	H (cm)	Tinggi contoh tanah rata - rata (Hdr) (cm)	t ₉₀ (detik)	Koefisien Konsolidasi $C_v = C_v = (0,848 \times H^2) / t_{90}$
0.000	0.000	40.000	-	-	-
0.023	0.883	39.117	39.559	821.400	1.580
0.028	1.692	38.308	38.712	693.600	1.794
0.038	2.719	37.281	37.794	345.600	3.410
0.043	3.202	36.798	37.040	405.600	2.831
0.051	3.644	36.356	36.577	576.600	1.944

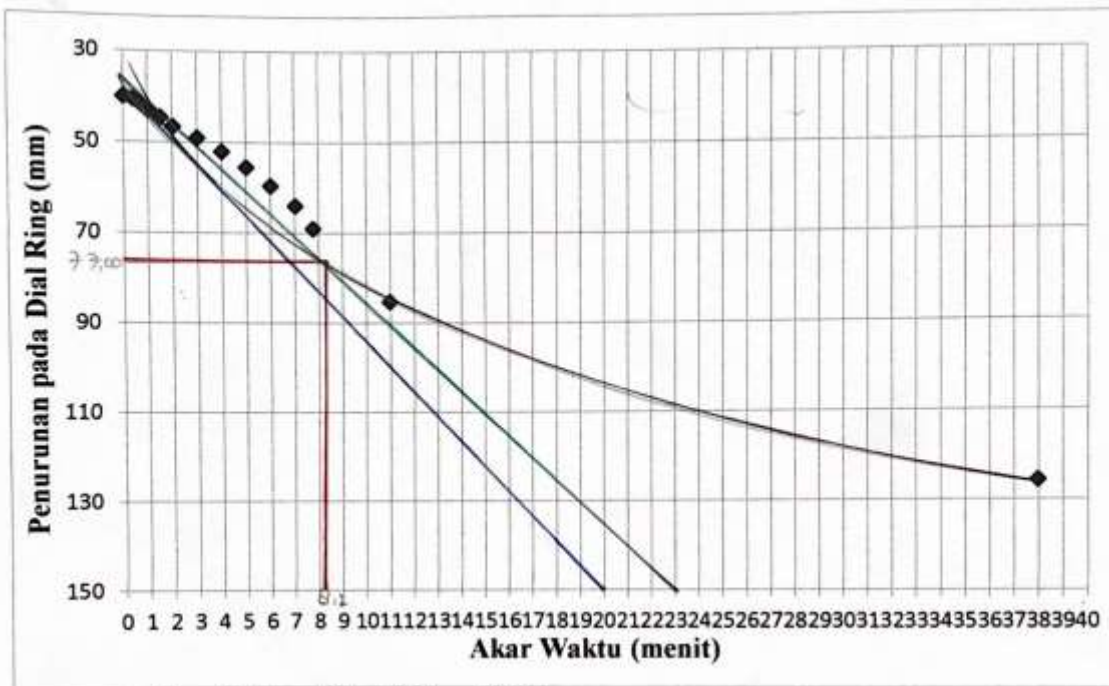
LAMPIRAN 4

Penurunan Akar Waktu Akibat Pembebanan
 Pembebanan 1 Variasi Kedalaman 25cm



Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 38,13 kg

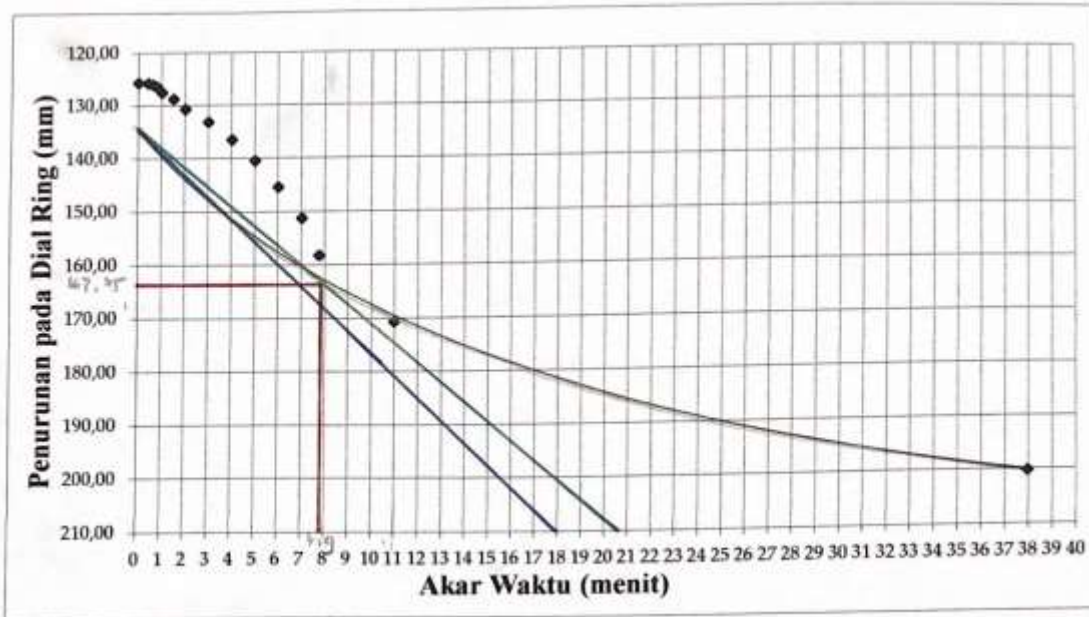
Pembebanan 2 Variasi Kedalaman 25cm



Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 43,56 kg

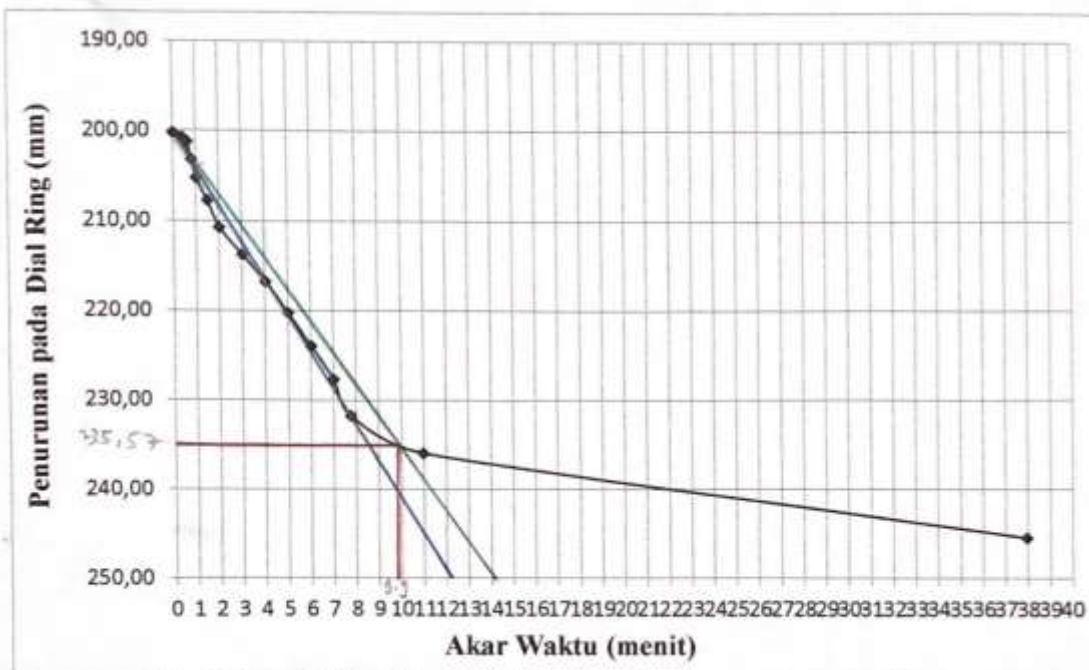


Pembebanan 3 Variasi Kedalaman 25cm



Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 63,33 kg

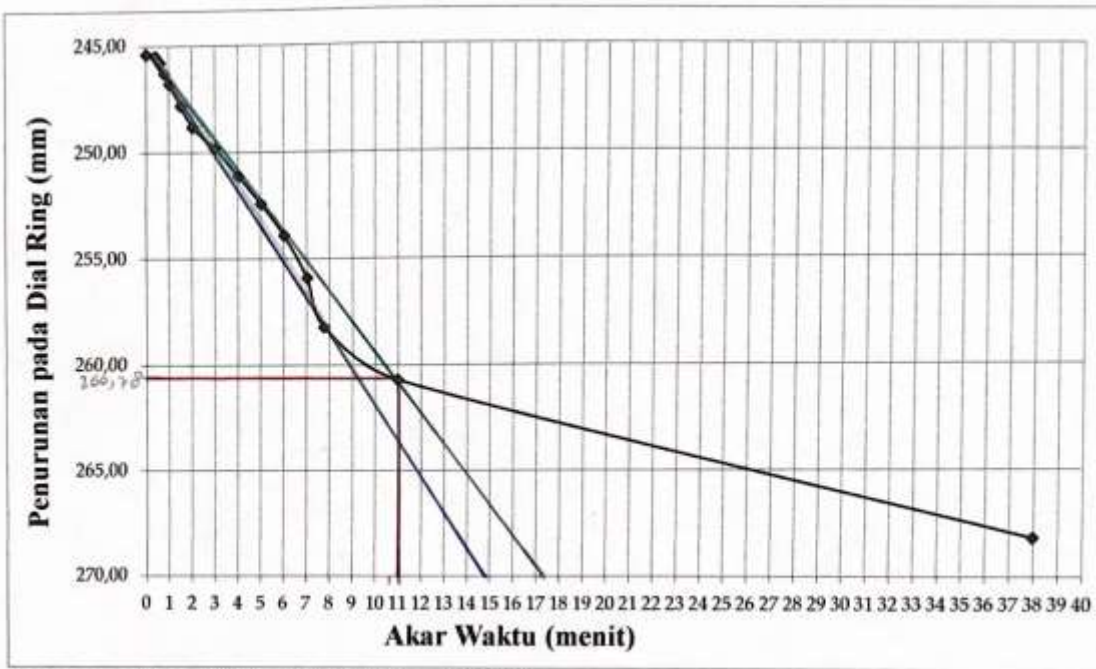
Pembebanan 4 Variasi Kedalaman 25cm



Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 71,15 kg

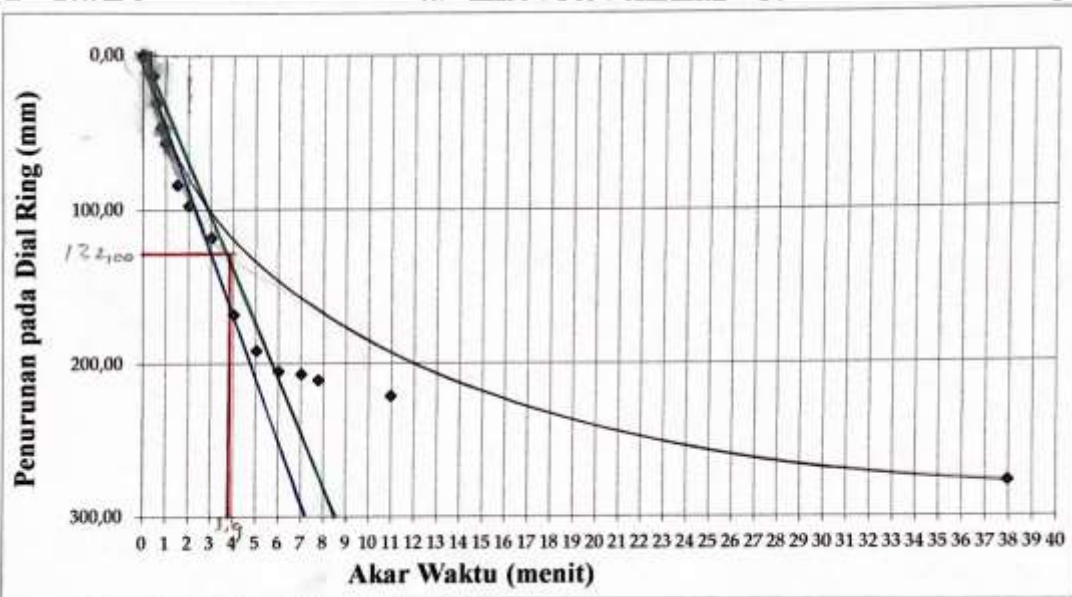


Pembebanan 5 Variasi Kedalaman 25cm



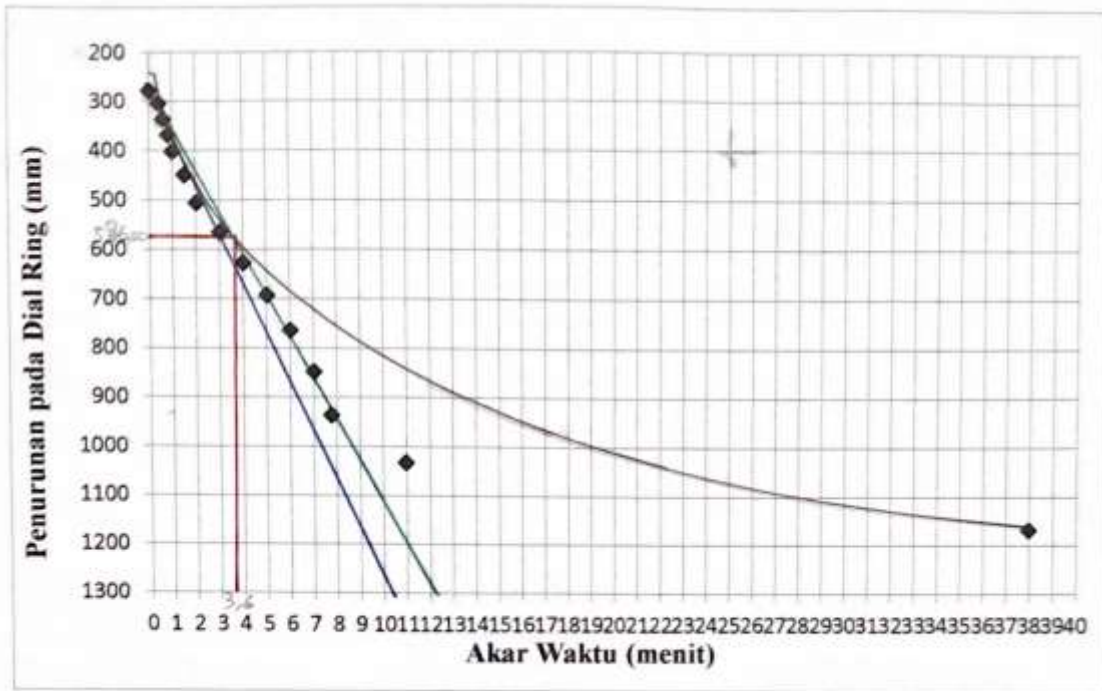
Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 88,02 kg

Pembebanan 1 Variasi Kedalaman 30cm



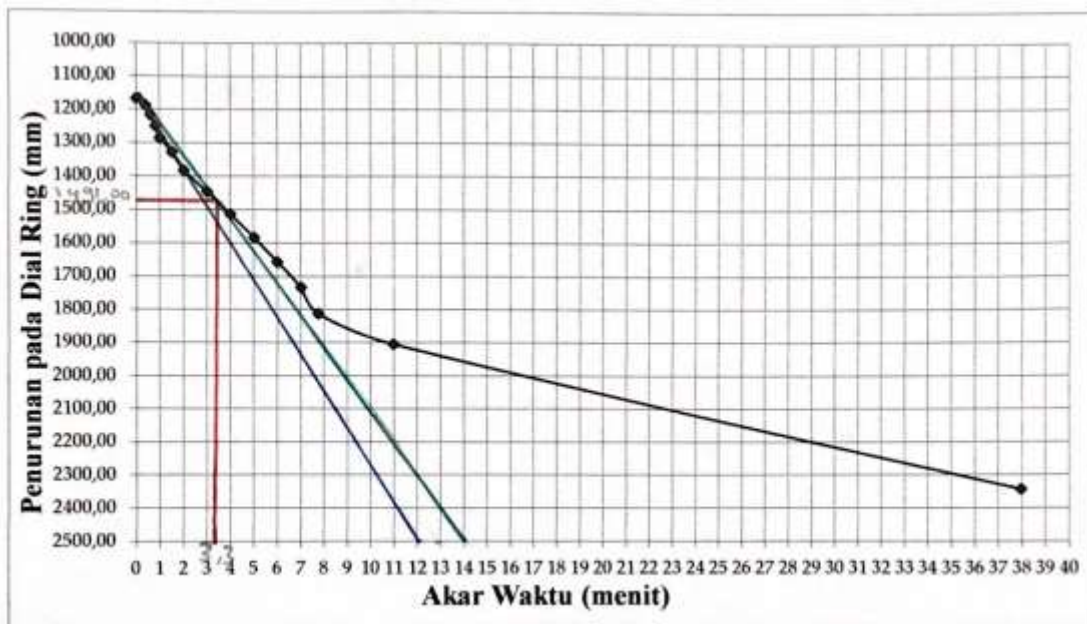
Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 30 kg

Pembebanan 2 Variasi Kedalaman 30cm



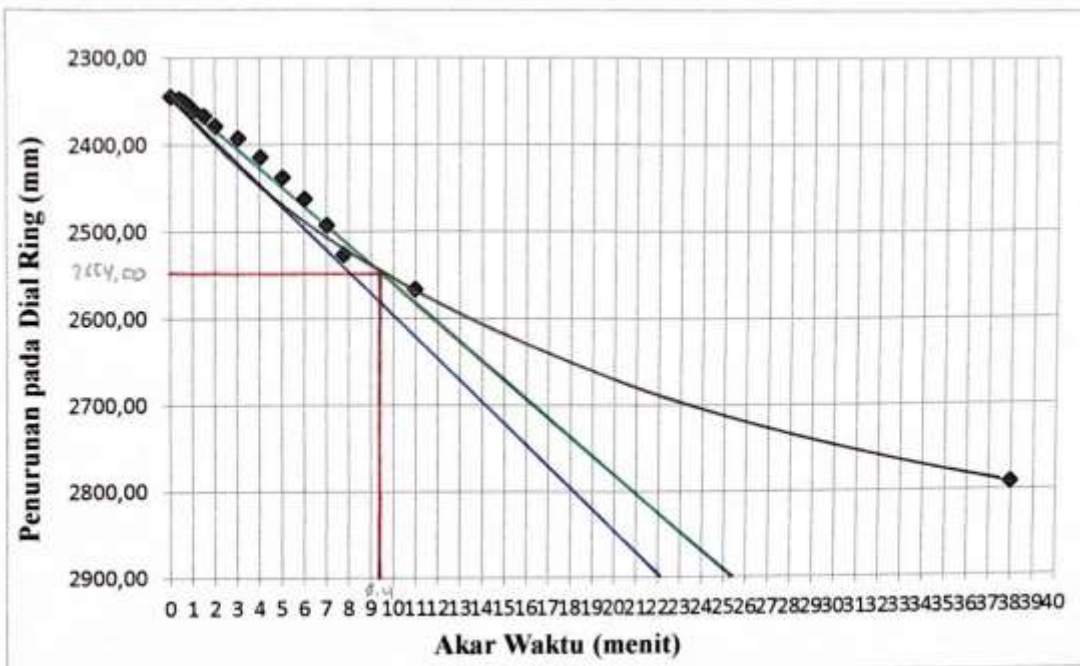
Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 50 kg

Pembebanan 3 Variasi Kedalaman 30cm



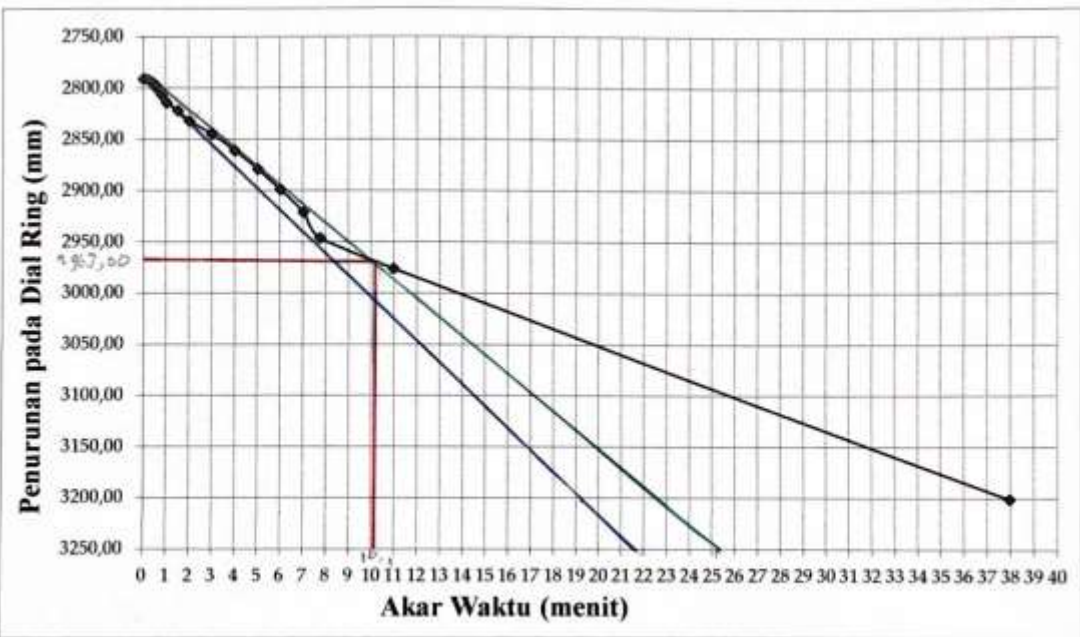
Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 70 kg

Pembebanan 4 Variasi Kedalaman 30cm



Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 90 kg

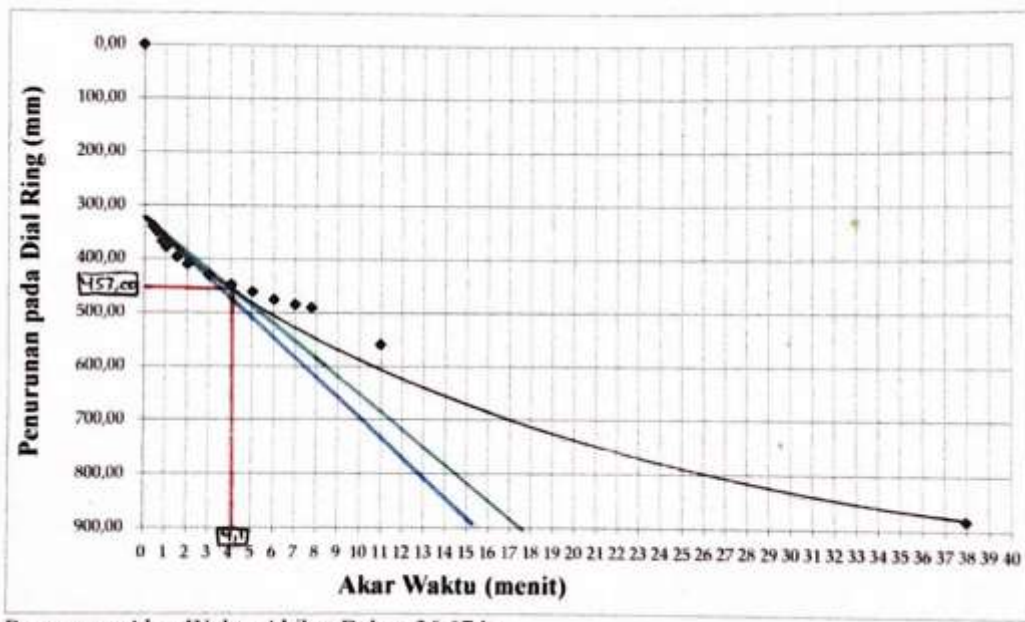
Pembebanan 5 Variasi Kedalaman 30cm



Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 110 kg

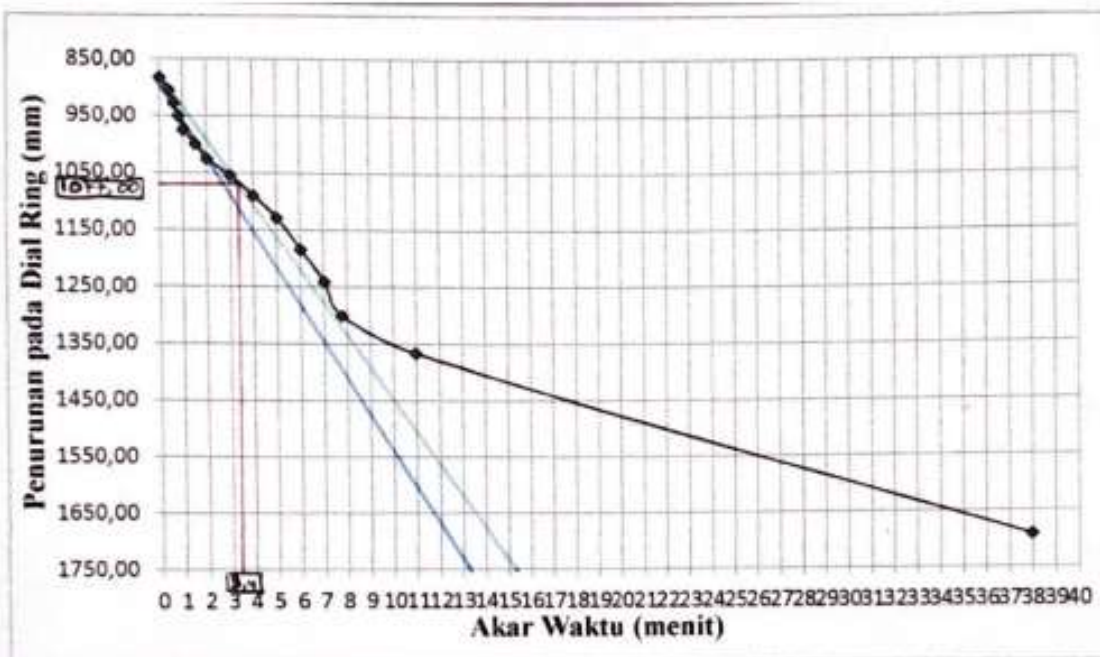


Pembebanan 1 Variasi Kedalaman 40cm



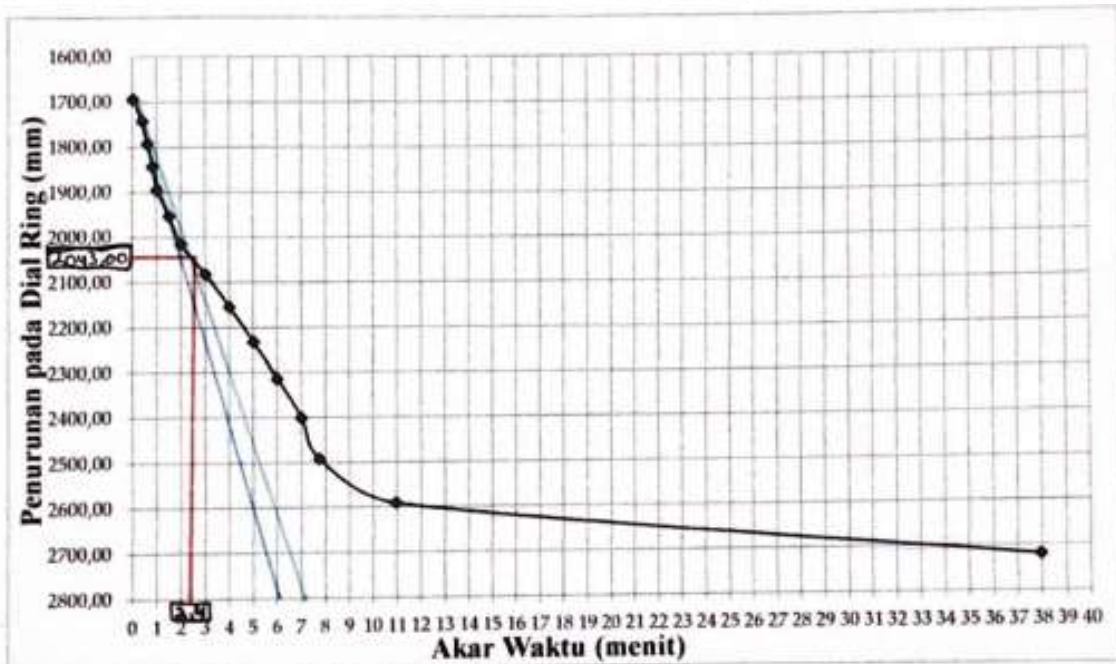
Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 36,67 kg

Pembebanan 2 Variasi Kedalaman 40cm



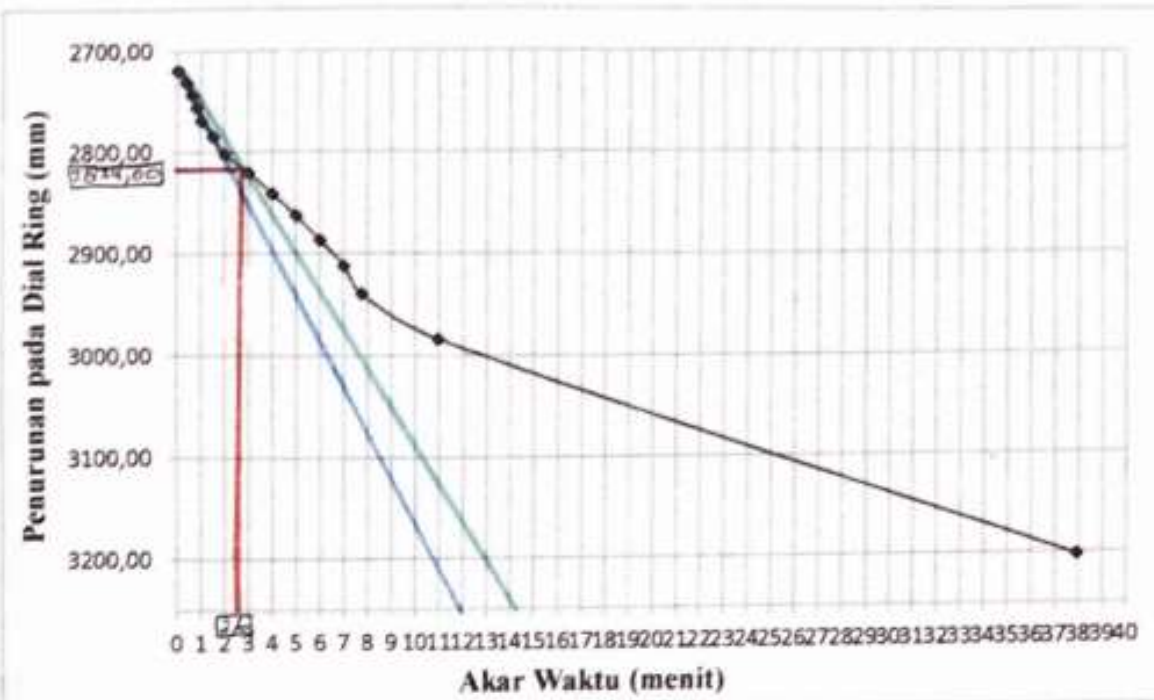
Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 51,43 kg

Pembebanan 3 Variasi Kedalaman 40cm



Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 72,5 kg

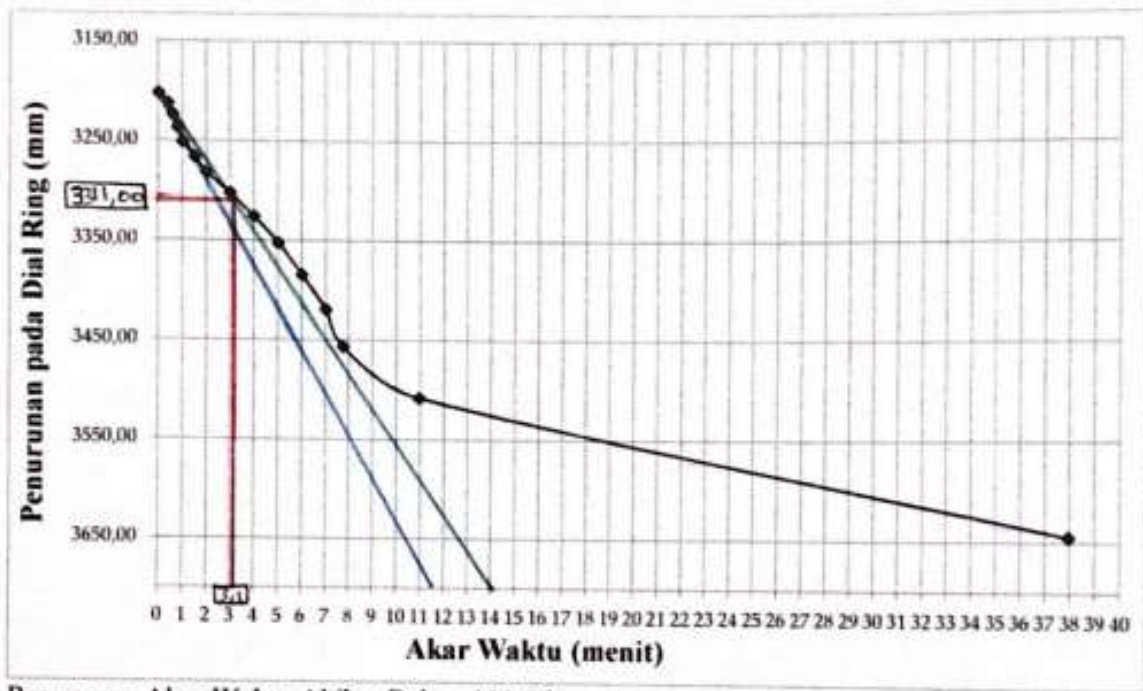
Pembebanan 4 Variasi Kedalaman 40cm



Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 93,33 kg



Pembebanan 5 Variasi Kedalaman 40cm

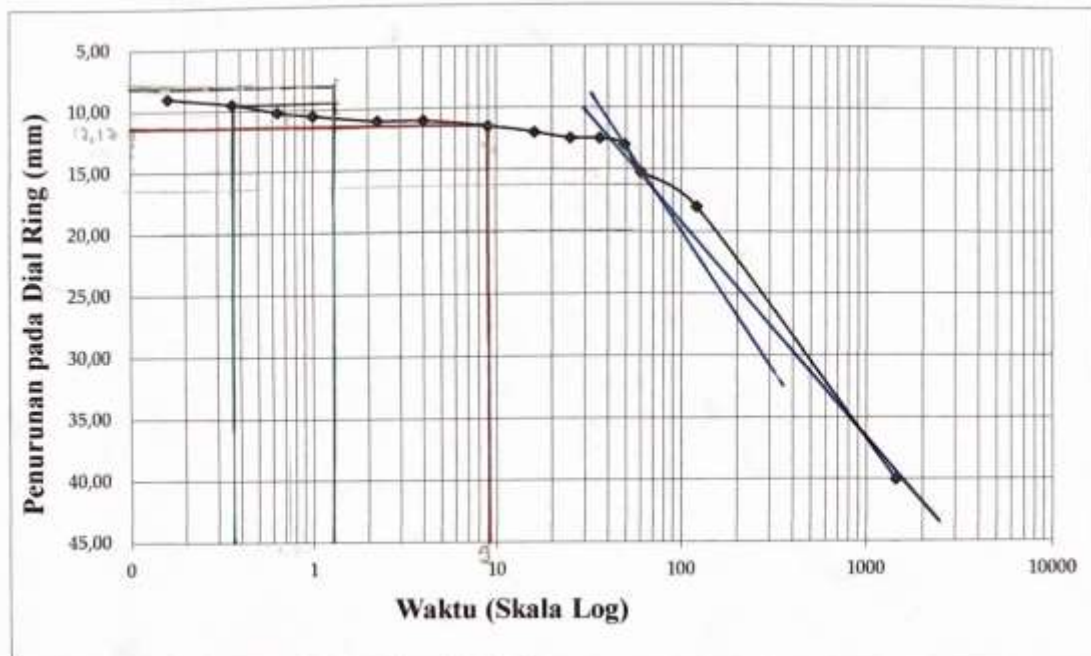


Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 111,8 kg

LAMPIRAN 5

Penurunan Skala Log Akibat Pembebanan

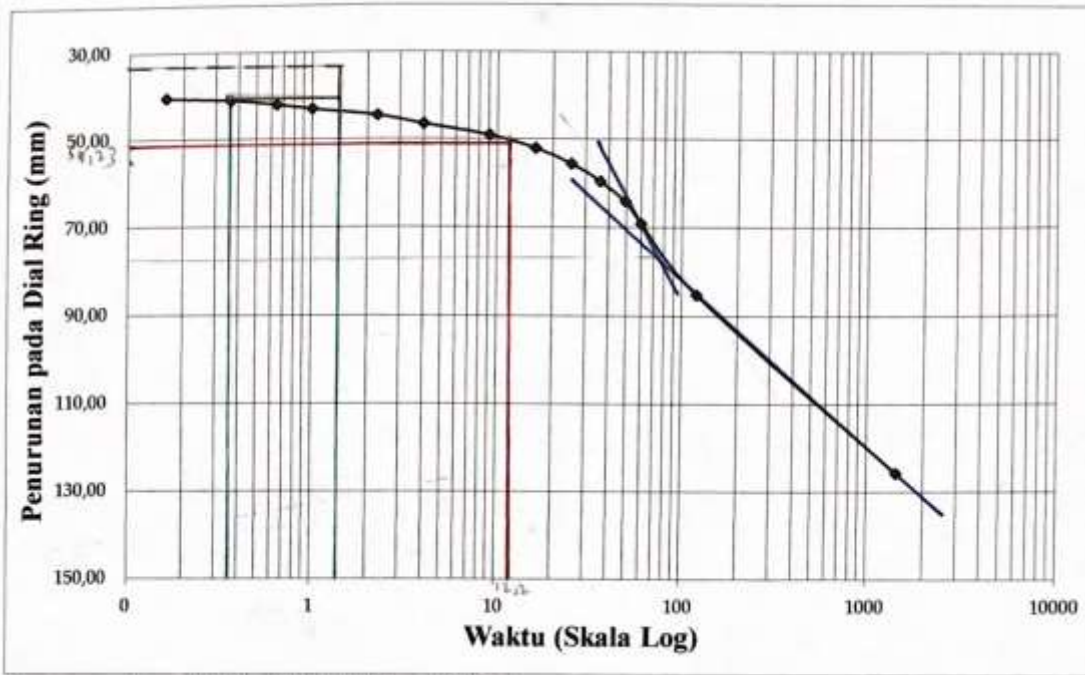
Pembebanan 1 Variasi Kedalaman 25cm



Penurunan Log Waktu Akibat Beban 38,13 kg

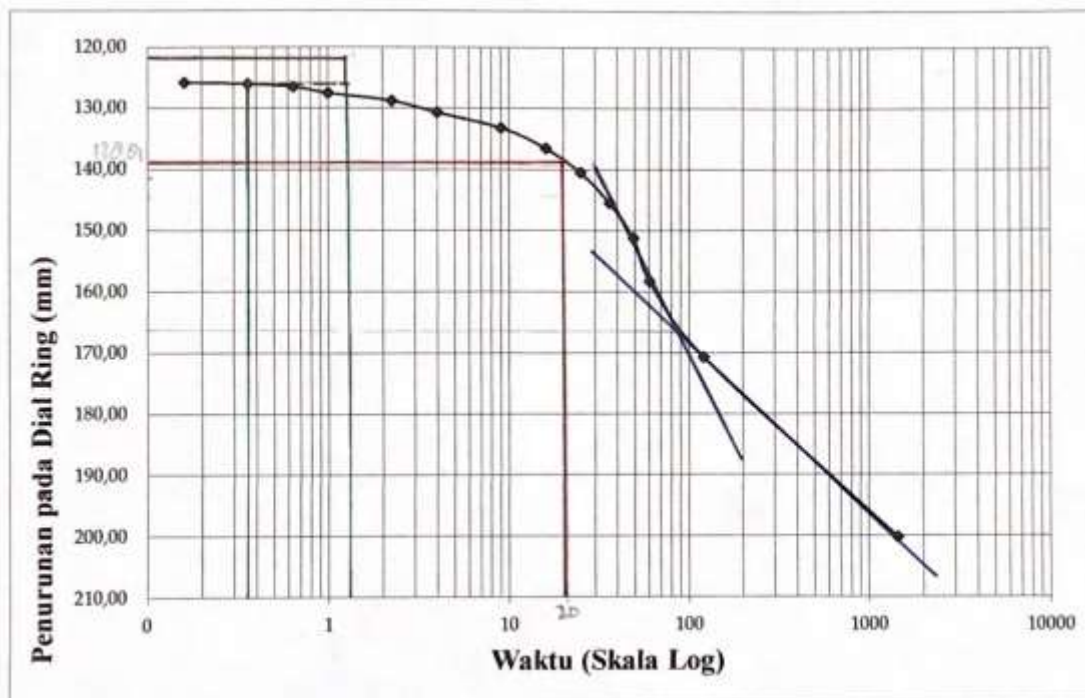


Pembebanan 2 Variasi Kedalaman 25cm



Penurunan Log Waktu Akibat Beban 43,56 kg

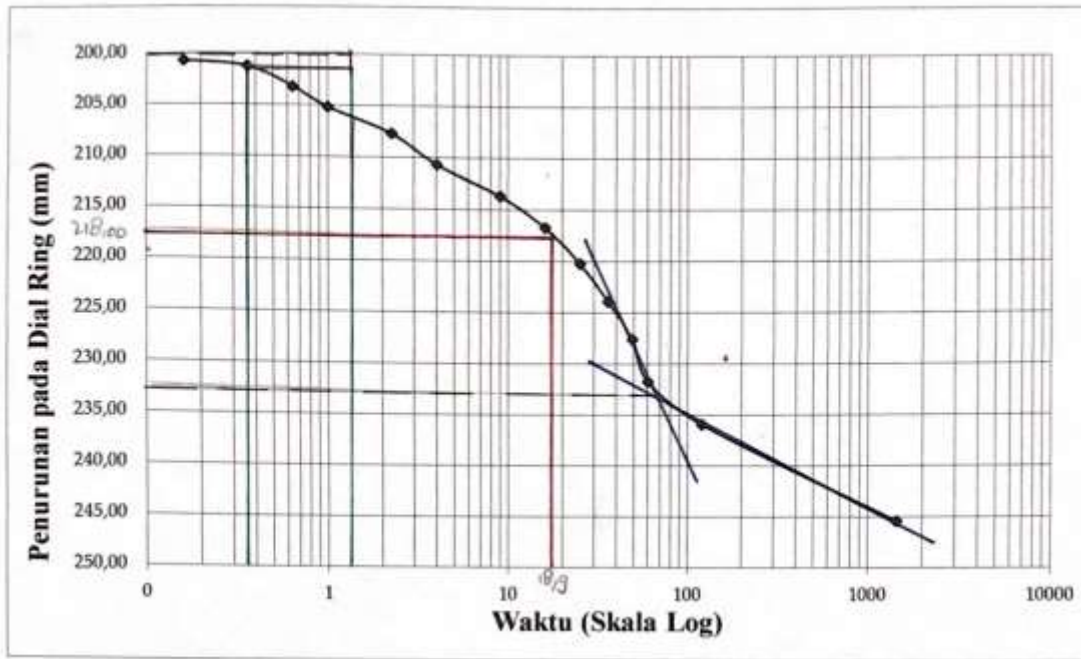
Pembebanan 3 Variasi Kedalaman 25cm



Penurunan Log Waktu Akibat Beban 63,33 kg

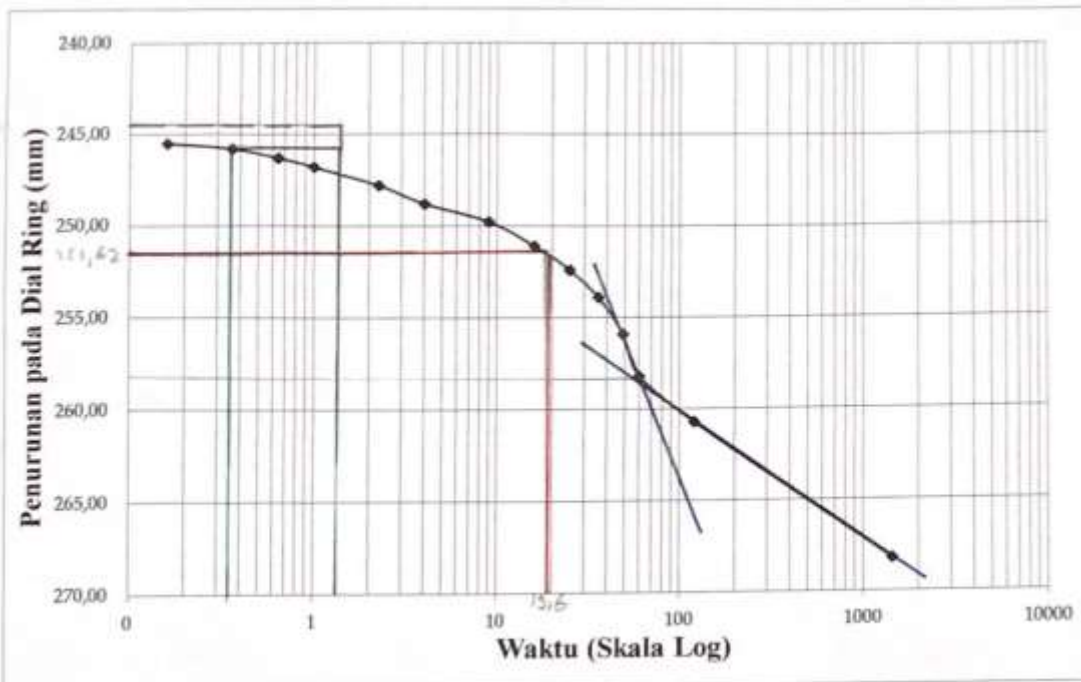


Pembebanan 4 Variasi Kedalaman 25cm



Penurunan Log Waktu Akibat Beban 71,15 kg

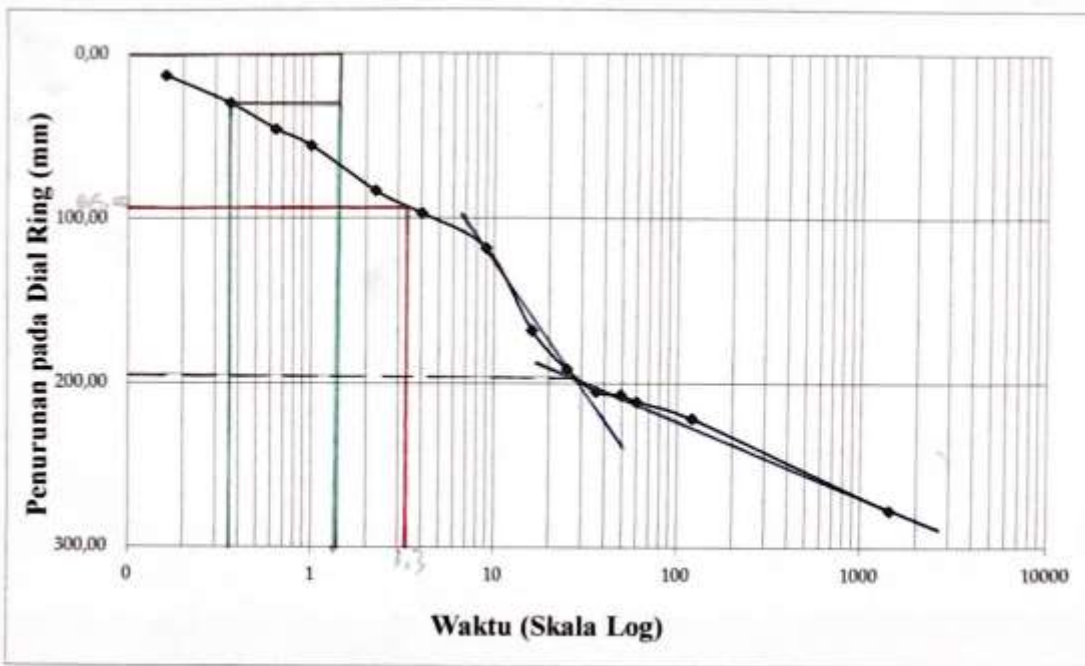
Pembebanan 5 Variasi Kedalaman 25cm



Penurunan Log Waktu Akibat Beban 88,02 kg

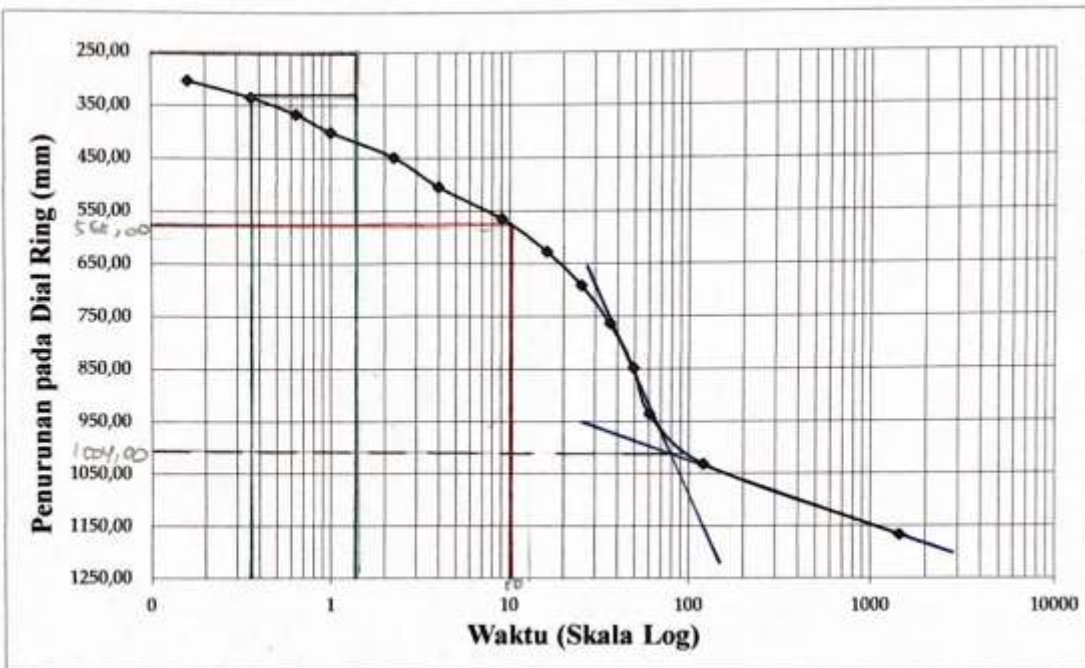


Pembebanan 1 Variasi Kedalaman 30cm



Penurunan Log Waktu Akibat Beban 30 kg

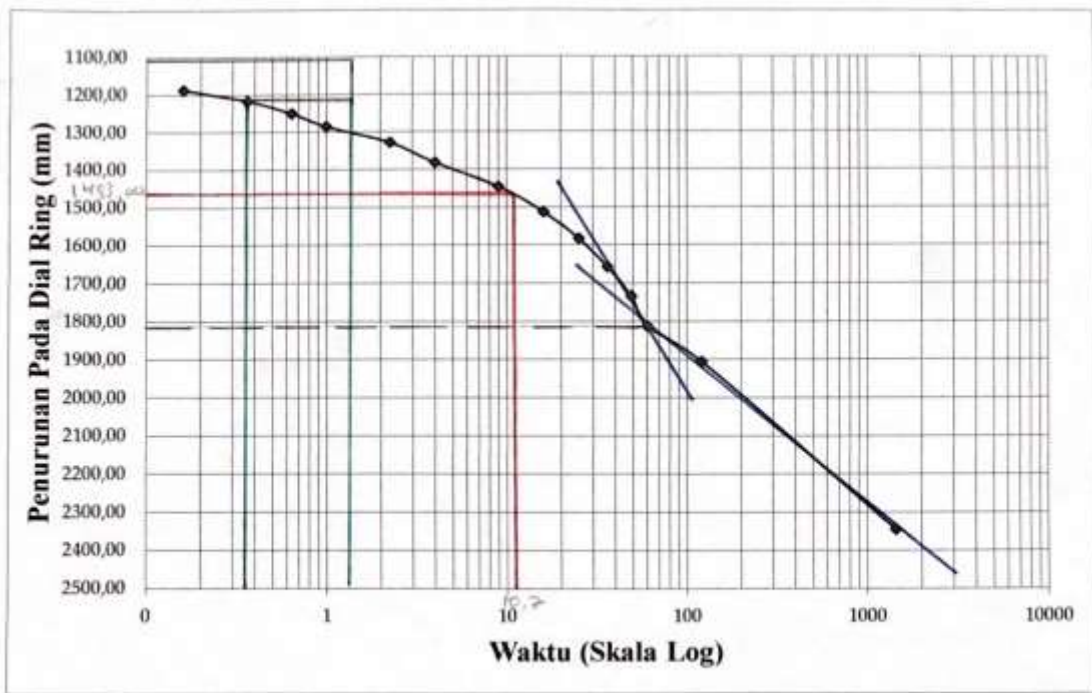
Pembebanan 2 Variasi Kedalaman 30cm



Penurunan Log Waktu Akibat Beban 50 kg

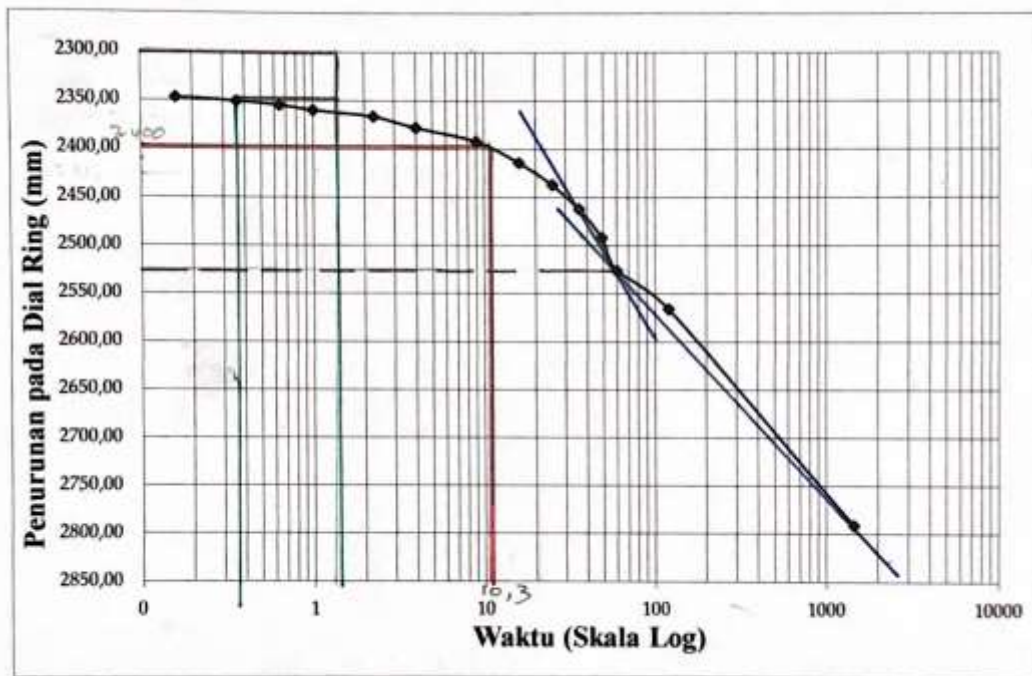


Pembebanan 3 Variasi Kedalaman 30cm



Penurunan Log Waktu Akibat Beban 70 kg

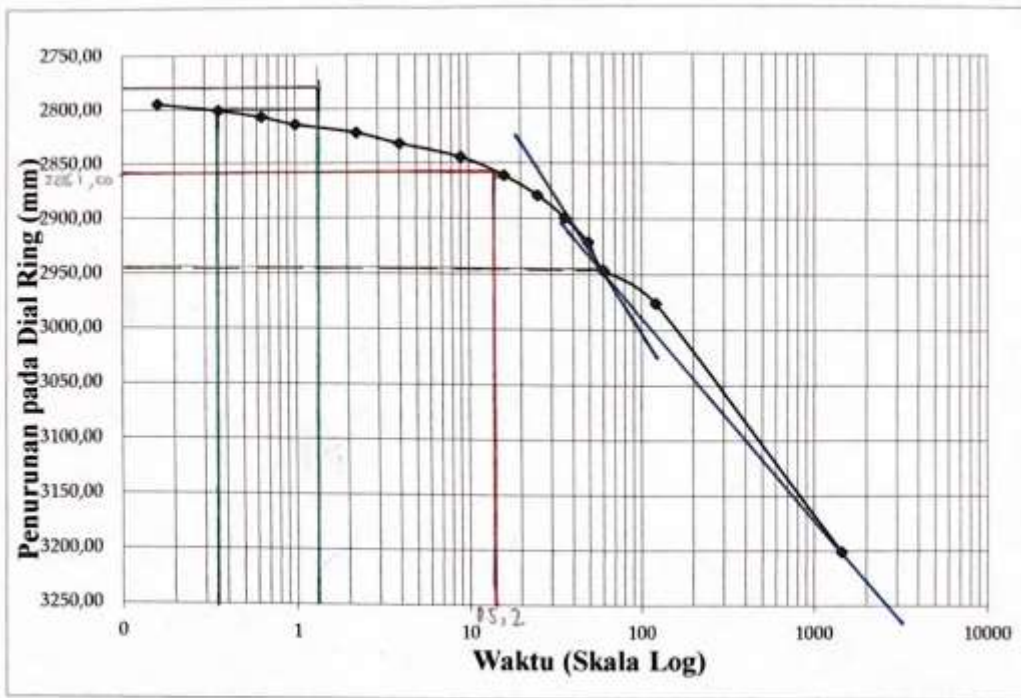
Pembebanan 4 Variasi Kedalaman 30cm



Penurunan Log Waktu Akibat Beban 90 kg

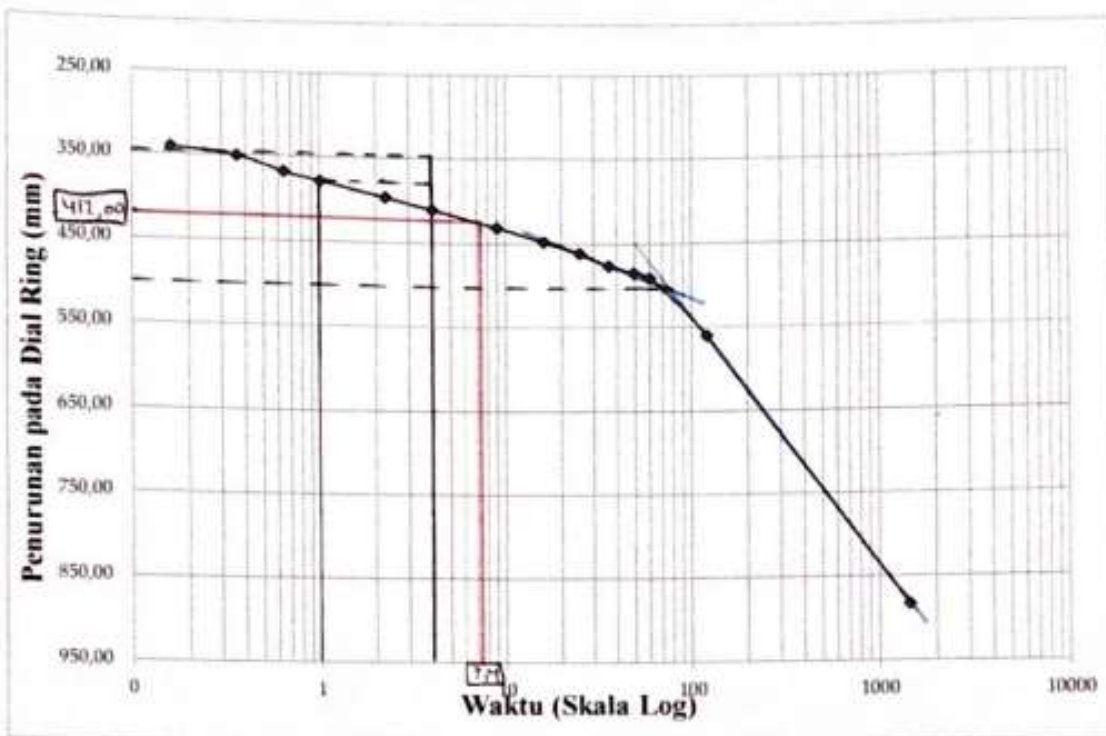


Pembebanan 5 Variasi Kedalaman 30cm



Penurunan Log Waktu Akibat Beban 110 kg

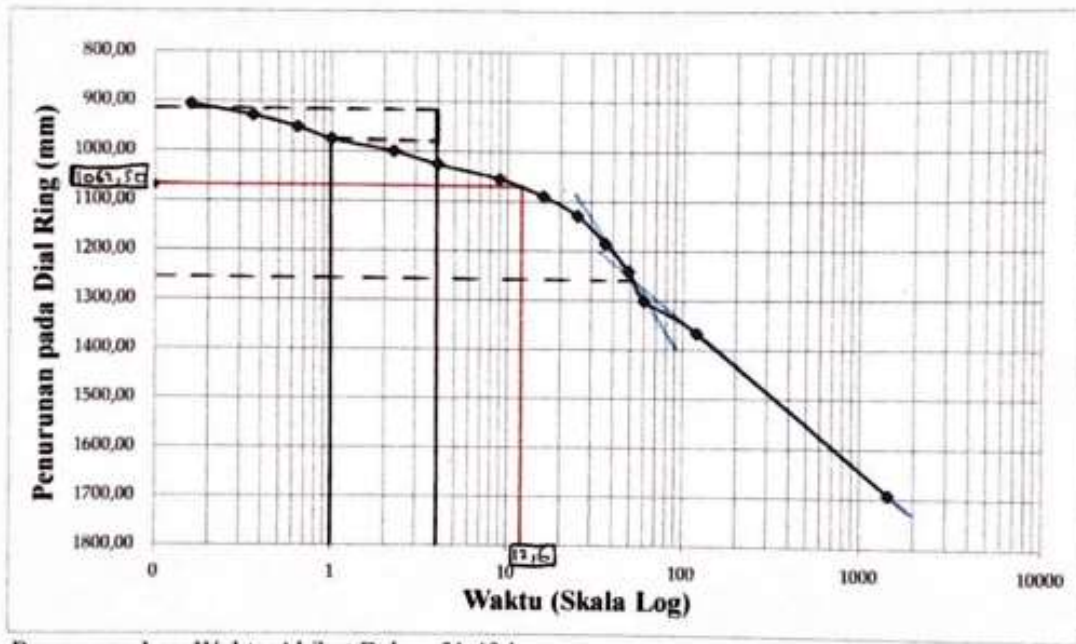
Pembebanan 1 Variasi Kedalaman 40cm



Penurunan Log Waktu Akibat Beban 36,67 kg

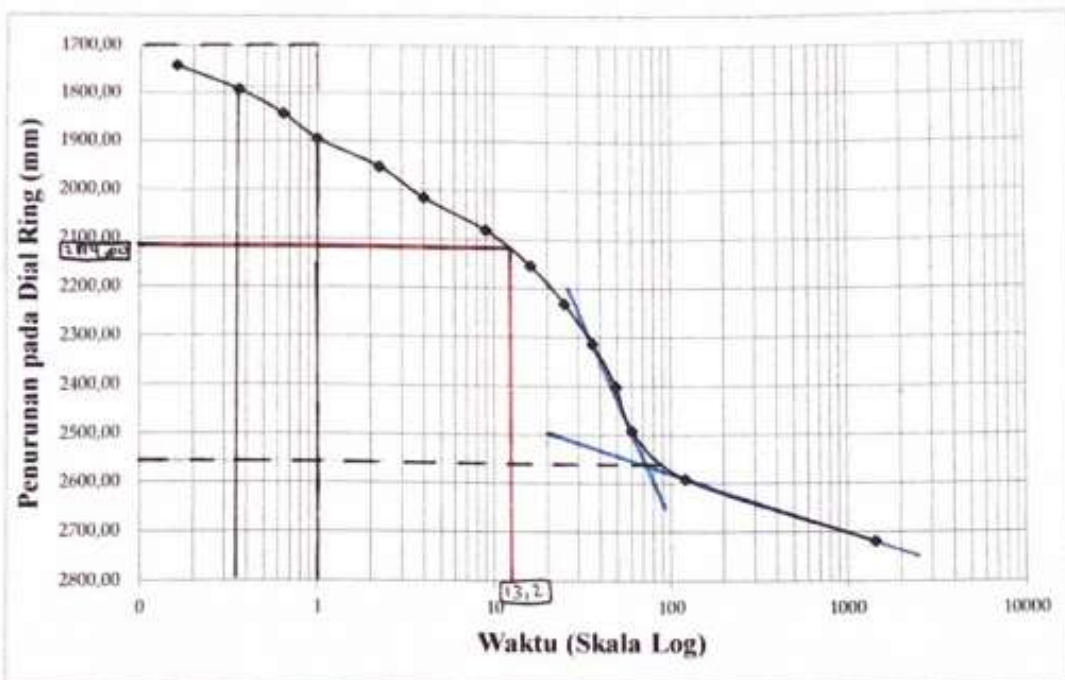


Pembebanan 2 Variasi Kedalaman 40cm



Penurunan Log Waktu Akibat Beban 51,43 kg

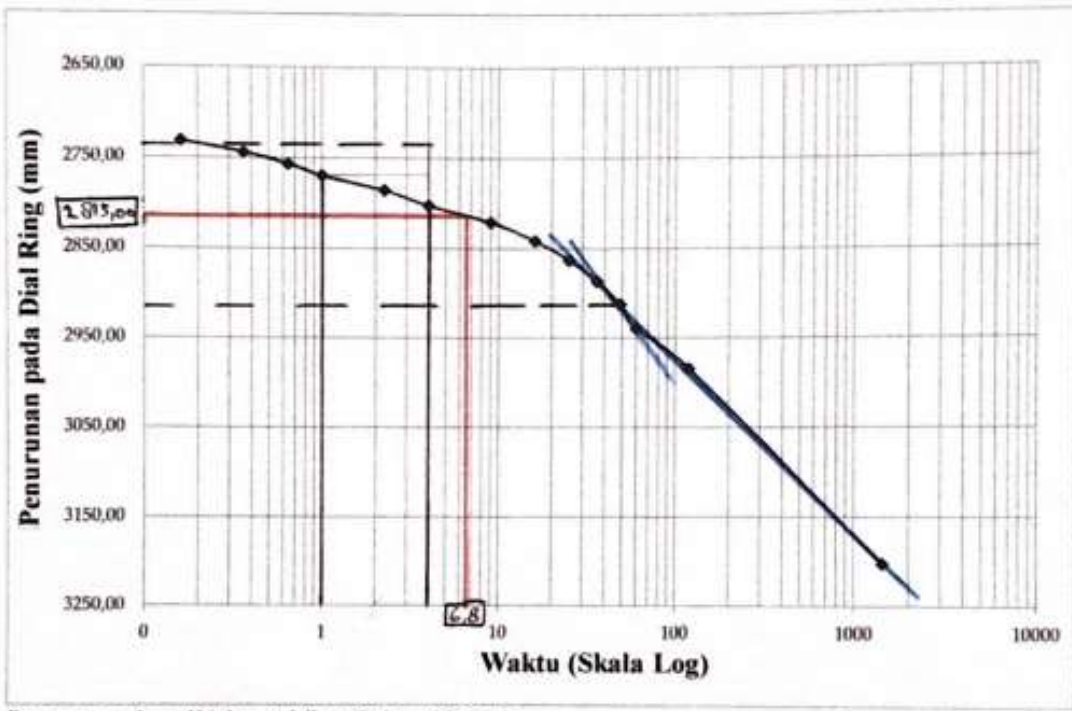
Pembebanan 3 Variasi Kedalaman 40cm



Penurunan Log Waktu Akibat Beban 72,5 kg

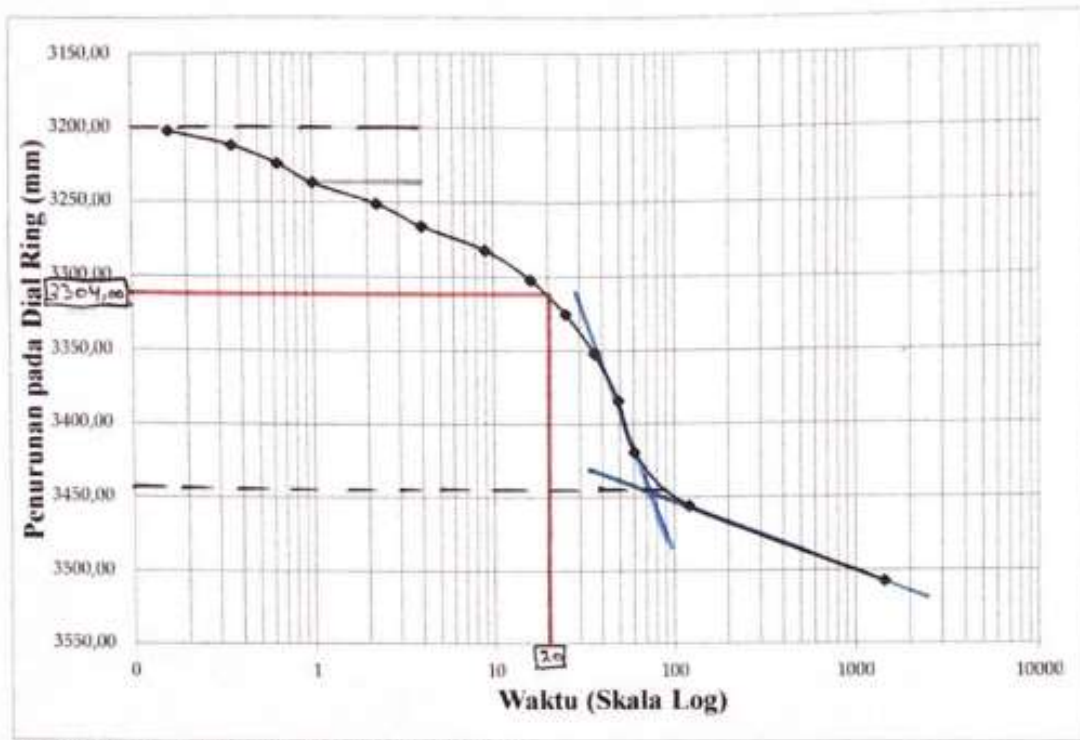


Pembebanan 4 Variasi Kedalaman 40cm



Penurunan Log Waktu Akibat Beban 93,33 kg

Pembebanan 5 Variasi Kedalaman 40cm



Penurunan Log Waktu Akibat Beban 111,8 kg



LAMPIRAN 6

Foto Pelaksanaan Penelitian

Proses Pembuatan Slurry



Proses Pencampuran Tanah ke Dalam Box



Proses Pemasangan PVD



Tampak atas pemasangan pvd pola segiempat dengan jarak 20cm kedalamannya 25cm



Proses pemasangan piezometer dan kain pori



Foto benda uji setelah pemberian beban



Pengambilan air setelah pembebanan



Pengujian Vaneshear pada sampel tanah



