

**PERBAIKAN TANAH LUNAK DENGAN PREFABRICATED
VERTICAL DRAIN (PVD) DENGAN POLA SEGITIGA DENGAN
VARIASI KEDALAMAN PADA JALAN TOL PASURUAN-
PROBOLINGGO**

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

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



FRITZ RISTY RANDAN

NIM. 165060101111032

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2020



LEMBAR PENGESAHAN

**PERBAIKAN TANAH LUNAK DENGAN *PREFABRICATED VERTICAL DRAIN*
(PVD) DENGAN POLA SEGITIGA DENGAN VARIASI KEDALAMAN PADA
JALAN TOL PASURUAN-PROBOLINGGO**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

FRITZ RISTY RANDAN

NIM. 165060101111032

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

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. Harimurti, MT.
NIP. 19600926 198802 1 001

Dosen Pembimbing II

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

Mengetahui
Ketua Program Studi S1



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



HALAMAN IDENTITAS PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi :

Perbaikan Tanah Lunak Dengan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) Dengan Pola Segitiga Dengan Variasi Kedalaman Pada Jalan Tol Pasuruan-Probolinggo

Nama mahasiswa : Fritz Risty Randan

NIM : 165060101111032

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Geoteknik

Tim Dosen Penguji :

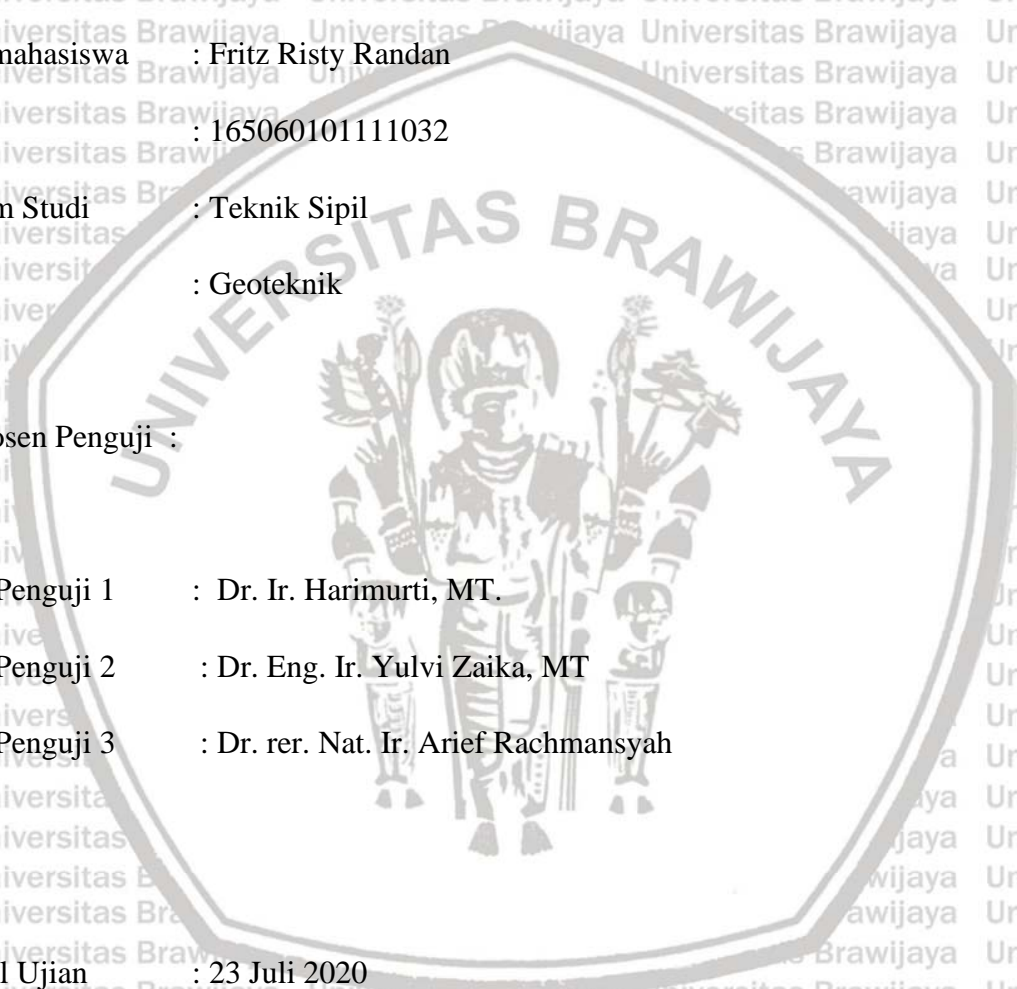
Dosen Penguji 1 : Dr. Ir. Harimurti, MT.

Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Ir. Yulvi Zaika, MT

Dosen Penguji 3 : Dr. rer. Nat. Ir. Arief Rachmansyah

Tanggal Ujian : 23 Juli 2020

SK Penguji : 1346/UN 10.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 Naska Skripsi ini adalah hasil 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 saya tulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naska ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar Pustaka.

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

Malang 24 Juli 2020

Mahasiswa,



Fritz Risty Randan

NIM. 165060101111032

TURNITIN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

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

Sertifikat ini diberikan kepada :

FRITZ RISTY

Dengan Judul Skripsi :

**PERBAIKAN TANAH LUNAK DENGAN PREFABRICATED VERTICAL DRAIN (PVD)
DENGAN POLA SEGIPIGA DENGAN VARIASI KEDALAMAN PADA 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

Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, S.T., M.Eng. [Prac]
NIP. 19810220 200604 1 002

Akhwari Pujiraharjo, S.T., MT
NIP. 19700829 200012 1 001



—ALL BECAUSE OF GOD'S AMAZING GRACE—

DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
RINGKASAN	xv
SUMMARY	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	2
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Tanah.....	5
2.1.1. Pengertian Tanah.....	5
2.1.2. Tanah Lunak.....	5
2.2. Konsolidasi dan Penurunan.....	11
2.2.1. Koefisien Konsolidasi (C_v).....	13
2.2.2. Indeks Pemampatan (Compression Index C_c).....	16
2.2.3. Indeks Pengembangan (<i>Swelling indeks</i> , C_s).....	16
2.2.4. Tekanan Prakonsolidasi (<i>Preconsolidation Pressure</i>) σ_c	17
2.3. Perbaikan Tanah lunak dengan Prefabricated Vertical Drain (PVD).....	18
2.3.1. Waktu Konsolidasi dengan PVD (<i>Pre-fabricated Vertical Drain</i>).....	21
2.3.2 Metode <i>Pre-fabricated Vertical Drain</i>	22
2.3.3. Prakompresi dengan PVD.....	24
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1. Waktu dan Tempat.....	25
3.2. Persiapan.....	25
3.3. Pekerjaan Lapangan.....	25
3.4. Pekerjaan Laboratorium.....	25



3.4.1. Percobaan Penelitian	25
3.4.2. Pengumpulan Data	29
3.5. Metode Penelitian	29
3.6. Rancangan Penelitian	31
3.7. Analisis Data	33
3.8. Diagram Alir	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1. Analisis Karakteristik Tanah Asli	37
4.1.1. Uji SPT (Standard Penetration Test)	37
4.1.2. Kadar Air	38
4.1.3. Menentukan Klasifikasi Tanah (<i>Unified</i> dan AASHTO)	38
4.1.3.1 Analisis Saringan	38
4.1.3.2. Batas Atterberg	39
4.1.4. Analisis Berat Spesifik (<i>Specific gravity</i>)	41
4.2. Pembuatan <i>Slurry</i> Benda Uji	41
4.3. Percobaan Konsolidasi Menggunakan PVD Pola Segitiga	42
4.3.1. Kalibrasi alat uji dan pembebanan	42
4.3.2. Percobaan Konsolidasi , Kadar Air Dan Tegangan Air Pori (tanpa PVD)	45
4.3.3. Percobaan Konsolidasi , Kadar air Dan Tegangan Air Pori Menggunakan PVD Pola Segitiga Variasi Kedalaman 25 cm	49
4.3.4. Percobaan Konsolidasi , Kadar air Dan Tegangan Air Pori Menggunakan PVD Pola Segitiga Variasi Kedalaman 30 cm	58
4.3.5. Percobaan Konsolidasi , Kadar Air Dan Tegangan Air Pori Menggunakan PVD pola segitiga Variasi Kedalaman 40 cm	67
4.4. Percobaan Vane Shear	73
4.4.1. Percobaan Vane Shear sampel tanpa PVD	73
4.4.2. Percobaan Vane Shear pada PVD Pola Segitiga Dengan Variasi Kedalaman 25 cm	75
4.4.3. Percobaan Vane Shear pada PVD Pola Segitiga Dengan Variasi Kedalaman 30 cm	76
4.4.4. Percobaan Vane Shear pada PVD Pola Segitiga Dengan Variasi Kedalaman 40 cm	77
4.5. Perbandingan Variasi Kedalaman Pola Segitiga Terhadap $C_v(t_{50})$, $C_v(t_{90})$, C_c , Penurunan , Tegangan Air pori, Kuat Geser	78



BAB V PENUTUP 85

5.1. Kesimpulan 85

5.2. Saran 86

DAFTAR PUSTAKA 87

LAMPIRAN 88





(HALAMAN INI SENGAJA DI KOSONGKAN)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Klasifikasi Tanah berdasarkan data SPT	6
Tabel 2.2. Sistem klasifikasi tanah Unified.....	7
Tabel 2.3. Sistem klasifikasi AASHTO	10
Tabel 2.4. Hubungan untuk indeks pemampatan Cc.....	16
Tabel 2.5. Perbandingan Nilai	24
Tabel 3. 1 Rekomendasi ukuran baling-baling VST (ASTM D2573).....	26
Tabel 3. 2 Ukuran saringan butiran tanah.....	28
Tabel 3. 3 Berat Jenis Tanah	28
Tabel 3.4. Variasi Jarak dan Kedalaman PVD Pola Segitiga Jarak	30
Tabel 4.1. Klasifikasi Tanah berdasarkan data SPT	38
Tabel 4.2. Kadar Air pada Tanah Asli.....	38
Tabel 4.3. Hasil analisis saringan	39
Tabel 4.4. Rata-rata kadar air pada batas plastis (Plastic limit)	39
Tabel 4.5. Rata-rata kadar air pada batas cair (liquid limit).....	40
Tabel 4.6. Berat Jenis Tanah Asli.....	41
Tabel 4.7. Beban bertahap yang diberikan pada setiap alat uji dengan tegangan yang sama	44
Tabel 4. 8 Kadar air	45
Tabel 4.9. Nilai koefisien konsolidasi Cv (Tanpa PVD).....	45
Tabel 4.10. Nilai penurunan dan angka pori	47
Tabel 4.11. Nilai penurunan tanpa PVD.....	48
Tabel 4.12. Tegangan air pori.....	48
Tabel 4.13. Kadar Air.....	49
Tabel 4.14. Nilai koefisien konsolidasi Cv PVD dengan kedalaman 25 cm.....	49
Tabel 4.15. Nilai penurunan dan angka pori	51
Tabel 4.16. Penurunan tanah untuk sampel PVD kedalaman 25 cm dengan mempertimbangkan smear zone	54
Tabel 4.17. Hasil penurunan sampel tanah menggunakan PVD kedalaman 25 cm untuk penurunan data laboratorium dan Penurunan dengan pertimbangan smear zone	57
Tabel 4.18. Tegangan air pori.....	58

Tabel 4.19. Kadar air.....	58
Tabel 4.20. Nilai koefisien konsolidasi Cv PVD dengan kedalaman 30 cm.....	58
Tabel 4.21. Nilai penurunan dan angka pori.....	60
Tabel 4.22. Nilai tegangan dan angka pori.....	61
Tabel 4.23. Penurunan tanah untuk sampel PVD kedalaman 30 cm dengan mempertimbangkan smear zone.....	64
Tabel 4.24. Hasil penurunan sampel tanah menggunakan PVD kedalaman 30 cm untuk penurunan data laboratorium dan Penurunan dengan pertimbangan smear zone.....	66
Tabel 4.25. Besar tekanan air pori.....	67
Tabel 4. 26 Kadar air.....	67
Tabel 4.27. Nilai koefisien konsolidasi Cv PVD dengan kedalaman 40 cm.....	68
Tabel 4.28. Nilai penurunan laboratorium dan angka pori.....	69
Tabel 4.29. Nilai tegangan dan angka pori.....	70
Tabel 4.30. Penurunan tanah untuk sampel PVD kedalaman 40 cm dengan mempertimbangkan smear zone.....	72
Tabel 4.31. Hasil penurunan sampel tanah menggunakan PVD kedalaman 40 cm untuk penurunan data laboratorium dan Penurunan dengan pertimbangan smear zone.....	72
Tabel 4.32. Tegangan air pori.....	73
Tabel 4.33. Besar Kuat Geser (Su) pada Tanah tanpa PVD.....	75
Tabel 4. 34 Besar Kuat Geser (Su) pada PVD kedalaman 25 cm.....	75
Tabel 4.35. Besar Kuat Geser (Su) pada PVD kedalaman 30.....	76
Tabel 4. 36 Besar Kuat Geser (Su) pada PVD kedalaman 40 cm.....	77
Tabel 4.37. Nilai Cv dengan metode akar waktu (t_{50}) menggunakan PVD pola segitiga variasi kedalaman.....	78
Tabel 4.38. nilai Cv dengan metode akar waktu (t_{90}) menggunakan PVD pola segitiga variasi kedalaman.....	79
Tabel 4.39. Besar Cc Pada Variasi Kedalaman PVD pola segitiga.....	81
Tabel 4.40. Besar penurunan terhadap variasi kedalaman PVD pola segitiga data laboratorium.....	81
Tabel 4.41. Besar penurunan dengan pertimbangan <i>smear zone</i> terhadap variasi kedalaman.....	82



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Sebaran Tanah Lunak di Indonesia (Kementerian Energi dan Sumber daya Mineral 2019) 7

Gambar 2.2. Grafik Plastisitas, sistem USCS (Das, 1995)..... 9

Gambar 2.3. Batas-batas Atterberg untuk sub kelompok A-4,A-5,A-6,dan A-7..... 11

Gambar 2.4. Alat uji konsolidometer (Braja M. Das 1985) 12

Gambar 2.5: Grafik waktu- pemampatan selama konsolidasi untuk suatu penambahan beban yang diberikan (Braja M. Das 1985)..... 13

Gambar 2.6. Metode kecocokan log-waktu (Casagrande, 1940) 14

Gambar 2.7. Metode akar waktu (Taylor,1948) 15

Gambar 2.8. Menentukan Tekanan Prakonsolidasi 17

Gambar 2.9. *Pre-fabricated Vertical Drain* (PVD) (Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul, 2015)..... 18

Gambar 2. 10 Proses Konsolidasi Tanpa PVD 19

Gambar 2.11: *Proses Konsolidasi Dengan PVD* 20

Gambar 2.12. Pola Pemasangan PVD 20

Gambar 2.13. Equivalent Diameter (d_w) untuk PVD 21

Gambar 2.14. Metode Pemasangan PVD 23

Gambar 2.15. Daerah Pengaruh Vertical Drain 23

Gambar 3. 1 Konfigurasi Vane Shear Test (Scnaid, 2009) 26

Gambar 3. 2 Tipe baling-baling Vane Shear Test (ASTM D2573)..... 27

Gambar 3.3. Tampak Atas PVD Pola Segitiga..... 31

Gambar 3. 4 Tampak atas alat uji konsolidasi..... 31

Gambar 3.5. Tampak samping alat uji (Potongan A-A)..... 32

Gambar 3. 6. Tampak depan alat uji (potongan B-B) 32

Gambar 3.7. Jarak antara PVD dengan Pola Segitiga 33

Gambar 3.8. Potongan Melintang dengan kedalaman PVD sebesar 25 cm 33

Gambar 3. 9 Diagram Alir Metode Penelitian..... 35

Gambar 4.1. Data SPT jalan tol Pasuruan – Probolinggo 37

Gambar 4.2. Hubungan Kadar Air dengan Banyak Pukulan..... 40



Gambar 4.3. Beban dan beban yang bekerja pada sampel tanah alat uji 1	43
Gambar 4.4. Beban dan beban yang bekerja pada sampel tanah alat uji 2	43
Gambar 4. 5 beban dan beban yang bekerja pada sampel tanah alat uji 3	44
Gambar 4.6. Hubungan tegangan dan C_v (t_{50}).....	45
Gambar 4.7. Hubungan tegangan dan C_v (t_{90}).....	46
Gambar 4.8. Hubungan antara angka pori dan skala log tegangan.....	47
Gambar 4.9. Hubungan tegangan dan C_v (t_{50}).....	50
Gambar 4.10. Hubungan tegangan dan C_v (t_{90}).....	50
Gambar 4.11. Hubungan antara angka pori dan tegangan skala log.....	51
Gambar 4.12. Potongan melintang PVD pola segitiga kedalaman 25 cm	52
Gambar 4.13. Pola pemasangan segitiga sama sisi pada PVD.....	53
Gambar 4. 14 Menentukan tekanan prakonsolidasi (σ_c') dengan grafik hubungan e-long σ	55
Gambar 4.15. Grafik penurunan sampel tanah menggunakan PVD kedalaman 25 cm untuk penurunan data laboratorium dan Penurunan dengan pertimbangan smear zone	57
Gambar 4.16. Hubungan tegangan dan C_v (t_{50}).....	59
Gambar 4.17. Hubungan tegangan dan C_v (t_{90}).....	59
Gambar 4.18. Hubungan antara angka pori dan tegangan skala log	60
Gambar 4.19. Potongan melintang PVD pola segitiga kedalaman 30 cm	62
Gambar 4.20. Pola pemasangan segitiga sama sisi pada PVD.....	62
Gambar 4.21. Menentukan tekanan prakonsolidasi (σ_c') dengan grafik hubungan e-long σ	65
Gambar 4.22. Grafik penurunan PVD kedalaman 30 cm dan Penurunan dengan pertimbangan <i>smear zone</i>	67
Gambar 4.23. Hubungan tegangan dan C_v (t_{50}).....	68
Gambar 4.24. Hubungan tegangan dan C_v (t_{90}).....	69
Gambar 4.25. Hubungan antara angka pori dan tegangan skala log	70
Gambar 4. 26 Potongan melintang PVD pola segitiga kedalaman 40 cm	71
Gambar 4.27. Grafik penurunan PVD kedalaman 30 cm dan Penurunan dengan pertimbangan <i>smear zone</i>	73
Gambar 4.28. Hubungan Kadar Air Terhadap Kuat Geser Tanah dengan Variasi Kadar Air	74



Gambar 4.29. Grafik nilai C_v (t_{50}) menggunakan variasi kedalaman PVD dan tanpa PVD 78

Gambar 4.30. Grafik nilai C_v (t_{90}) menggunakan variasi kedalaman PVD dan tanpa PVD 79

Gambar 4.31. Hubungan antara kedalaman PVD dan kadar air 80

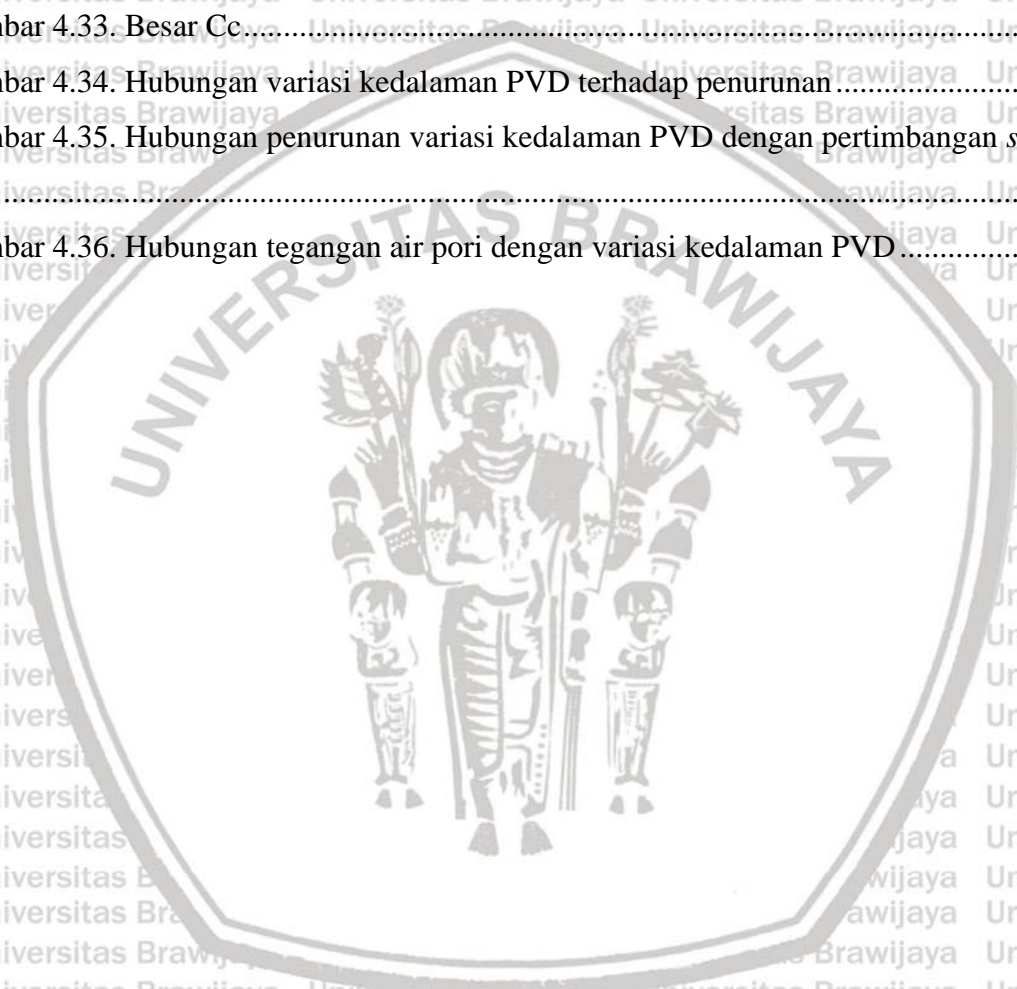
Gambar 4.32. Hubungan antara kedalaman PVD dengan Kuat geser tanah 80

Gambar 4.33. Besar C_c 81

Gambar 4.34. Hubungan variasi kedalaman PVD terhadap penurunan 82

Gambar 4.35. Hubungan penurunan variasi kedalaman PVD dengan pertimbangan *smear zone* 83

Gambar 4.36. Hubungan tegangan air pori dengan variasi kedalaman PVD 83





DAFTAR LAMPIRAN

Kadar air (%).....	89
Berat Spesifik (<i>Specific gravity</i>).....	94
Koefisien konsolidasi (C_v).....	98
Dokumentasi Laboratorium	122





RINGKASAN

Fritz Risty Randan, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2020, *Perbaikan Tanah Lunak Dengan Prefabricated Vertical Drain (PVD) Dengan Pola Segitiga Dengan Variasi Kedalaman Pada Jalan Tol Pasuruan-Probolinggo*, Dosen Pembimbing: Yulvi Zaika dan Harimurti.

Tanah yang terdapat pada jalan Tol Pasuruan-Probolinggo memiliki ketebalan tanah lempung lunak yang bervariasi. Hal ini dapat menyebabkan daya dukung tanah dasar yang rendah dan perbedaan penurunan tanah dasar, yang akan berdampak pada kerusakan pengerasan jalan.

Metode yang digunakan untuk perbaikan pada tanah yang bersifat lunak ini yaitu dengan PVD (*Pre-fabricated Vertical Drain*) pola segitiga untuk mempercepat waktu konsolidasi. PVD adalah drainase buatan berbentuk pita (potongan melintang segiempat) yang terdiri atas material penyaring geotekstil yang membungkus inti plastik. Pengujian konsolidasi jarak PVD adalah 20 cm, variasi kedalaman 25 cm, 30 cm, dan 40 cm. Uji konsolidasi pada sampel dilakukan dengan menggunakan PVD dan tanpa menggunakan PVD untuk membandingkan parameter tanah. Uji ini dilakukan dalam 5 hari dengan membebani tanah secara bertahap, kemudian tegangan yang diberikan sebesar 232,35, 276,31, 376,38, 433,33 dan 511,87 kg/m².

Hasil uji konsolidasi menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara sampel menggunakan PVD dan yang tidak menggunakan PVD. Perbedaan pertama adalah terkait dengan penurunan tanah, yang dengan kedalaman 25 cm mengalami kenaikan sebesar 166,18%, kedalaman 30 cm mengalami kenaikan sebesar 2.137,6%, dan kedalaman 40 cm mengalami kenaikan sebesar 2.219%. Perbedaan kedua adalah kuat geser tanah, semakin besar kedalaman PVD maka kuat geser tanah akan semakin besar. Perbedaan yang muncul dari uji konsolidasi ini terjadi karena PVD memberikan lintasan drainase yang memungkinkan aliran air pori lebih pendek pada saat terjadi konsolidasi. Kedalaman PVD yang semakin besar menyebabkan tegangan air pori akan turun hingga mencapai nilai nol dengan cepat dan disaat yang sama kecepatan konsolidasi akan meningkat.

kata kunci : PVD (*Pre-fabricated Vertical Drain*), Penurunan tanah, kuat geser, kedalaman



(HALAMAN INI SENGAJA DI KOSONGKAN)

SUMMARY

FRITZ RISTY RANDAN, *Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University Brawijaya, July 2020, Remediation of Soft Soil with Triangle Pattern Prefabricated Vertical Drain (PVD) with Depth Variation (Case Study: Pasuruan- Probolinggo Toll Road) academic Supervisors: Yulvi Zaika and Harimurti.*

Soil in the Pasuruan-Probolinggo Toll Road has varying thickness of soft clay. This can cause low soil carrying capacity and differences in subgrade subsidence, which will have an impact on damage to hardening of the road.

The method used to improve the soft soil is PVD (Pre-fabricated Vertical Drain). PVD is a ribbon-shaped artificial drainage (rectangular cross section) consisting of geotextile material that wraps the plastic core. PVD distance testing results are 20 cm, variations in depth of 25 cm, 30 cm and 40 cm. Sample testing on samples is done using PVD and without using PVD to compare soil parameters. This test was carried out in 5 days by step applied vertical stress was 232.35 , 276.31, 376.38 , 433.33 and 511.87 kg/m².

The test results show the difference between samples using PVD and those unused PVD. The first difference is related to displacement, which with a height of 25 cm increased by 166,18% higher, 30 cm height increased by 2.137,6%, and height 40 cm increased by 2.219%. The second difference is the shear strength of the soil, the greater the depth of PVD, the greater the shear strength of the soil. The difference that arises from this consolidation test occurs because PVD provides a drainage path that allows shorter pore water flow when consolidation occurs. The greater PVD depth causes pore water pressure to drop to zero quickly and at the same time the speed of consolidation will increase.

Keywords: *PVD (Pre-fabricated Vertical Drain), soil subsidence, shear strength, depth*



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia adalah negara berkembang dengan jumlah penduduk terbanyak di Asia Tenggara. Di Indonesia Provinsi Jawa Timur merupakan salah satu provinsi yang memiliki jumlah penduduk yang tinggi, pada provinsi Jawa Timur jumlah penduduknya sebesar 39,29 juta penduduk dimana jumlah ini akan meningkat setiap tahunnya. Jawa Timur merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang Kegiatan masyarakatnya meliputi di bidang Perindustrian, Pariwisata, Pendidikan, Pertambangan dan Energi. Untuk itu pada wilayah tersebut haruslah memiliki infrastruktur yang menunjang kegiatan-kegiatan tersebut, adapun infrastruktur yang memiliki pengaruh besar adalah pembangunan jalan tol, jalan tol merupakan suatu infrastruktur pada suatu wilayah yang dapat meningkatkan distribusi barang dan jasa guna untuk menunjang pertumbuhan ekonomi suatu daerah. Salah satu pembangunan jalan tol yang ada di Jawa Timur yang menjadi kajian adalah jalan tol Pasuruan-Probolinggo yang menghubungkan daerah Pasuruan dengan Probolinggo, Jawa Timur.

Tanah yang terdapat pada jalan Tol Pasuruan-Probolinggo memiliki ketebalan tanah lunak yang bervariasi dan terdapat pada beberapa lokasi memiliki ketebalan yang relative dalam, hal ini dapat menyebabkan daya dukung tanah dasar rendah dan terjadinya perbedaan penurunan tanah dasar yang dapat mengakibatkan kerusakan pada perkerasan jalan, oleh karena itu perlu dilakukan perbaikan tanah lunak untuk meningkatkan daya dukung tanah tanah.

Metode yang digunakan untuk perbaikan pada tanah bersifat lunak yaitu dengan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*). Metode dengan penggunaan *Prefabricated Vertical Drain* untuk mempercepat penurunan konsolidasi bertujuan untuk peningkatan kuat geser tanah, yang dapat menambah kekuatan perkerasan jalan. Dalam penelitian ini akan menganalisis pengaruh variasi kedalaman PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) dengan pola segitiga pada sampel tanah lunak. Untuk mengetahui karakteristik tanah akan di lakukan pengujian tanah lunak yang meliputi uji konsolidasi, uji penurunan dan uji *water content*.

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 diteliti berdasarkan sifat fisik tanah?
2. Berapa besar penurunan pada tanah yang diteliti dengan metode pra-pembebanan yang dikombinasikan memakai variasi kedalaman PVD pola segitiga?
3. Berapa besar perubahan kuat geser tanah yang terjadi akibat variasi kedalaman PVD pola segitiga?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah yang diberikan adalah sebagai berikut:

1. Sampel yang di gunakan sebagai benda uji merupakan tanah *disturbed* di Jalan Tol Pasuruan-Probolinggo.
2. Percobaan skala kecil terhadap sampel tanah dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Perlakuan pada sampel, diantaranya:
 - Penambahan variasi kedalaman PVD pola segitiga dengan beban bertahap.
 - Beban yang diberikan bertahap pada sampel yang ditinjau dengan variasi yang disesuaikan dengan faktor lengan dan ukuran box.
 - Digunakan 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 segitiga dengan kedalaman antar PVD adalah 25 cm, 30 cm, dan 40 cm sementara variabel tetap dengan jarak antara PVD sebesar 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 di Jalan Tol Pasuruan-Probolinggo
2. Mengetahui besar penurunan pada tanah yang diteliti dengan metode pra-pembebanan yang dikombinasikan memakai variasi kedalaman PVD pola segitiga.

3. Mengetahui perubahan besar kuat geser tanah yang terjadi akibat variasi kedalaman PVD pola segitiga

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Bagi praktisi lapangan, diantaranya:
 - Sebagai informasi data karakteristik tanah lunak di daerah Jalan Tol Pasuruan-Probolinggo
 - 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 segitiga dengan timbunan yang diberikan secara bertahap.
2. Sebagai Pengetahuan bagi masyarakat bahwa metode dengan menggunakan PVD merupakan salah satu solusi untuk meningkatkan daya dukung tanah lunak.
3. Sebagai acuan bagi penelitian selanjutnya untuk memperbaiki tanah lunak dengan penggunaan PVD pola segitiga.
4. Sebagai referensi yang dapat digunakan sebagai pertimbangan penelitian pada bidang geoteknik dan mekanika tanah khususnya yang terkait dengan permasalahan tanah lunak.



(HALAMAN INI SENGAJA DI KOSONGKAN)



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanah

2.1.1. Pengertian Tanah

Tanah merupakan campuran bagian-bagian batuan dengan material serta bahan organik yang merupakan sisa kehidupan yang timbul pada permukaan bumi akibat erosi dan pelapukan karena proses waktu. 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. Tanah merupakan media sebagai tempat berlangsungnya reaksi kimia yang terjadi di alam (Berzelliuss, 1803).
2. Tanah tidak hanya sebagai batu-batuan, namun juga bagian dari petrografi (*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 bidang konstruksi, tanah mempunyai andil sangat besar dalam perencanaan dan pembangunan bangunan sipil karena tanah berfungsi untuk mendukung beban konstruksi yang ada di atasnya. Oleh karena itu, tanah yang akan digunakan harus dipersiapkan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai lapisan dasar (*subgrade*).

2.1.2. Tanah Lunak

Tanah lunak adalah tanah yang berpartikel mineral berkerangka dasar silikat yang berdiameter kurang dari 4 mikrometer dimana merupakan tanah yang lolos saringan no.200 pada analisis saringan. Tanah lunak adalah tanah yang mempunyai nilai kompresibilitas tinggi, umumnya terdiri dari lempung berumur holosen (<10.000 tahun), secara ilmiah terbentuk dari proses pengendapan di daratan, alluvial pantai, sungai, danau dan rawa. 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 luas penyebaran tanah lunak atau sekitar 10 persen dari luas total daratan di Indonesia. Jenis Tanah lunak yang terdapat di Indonesia yaitu lempung lunak umumnya berupa lempung dan lanau dengan sifat fisik lunak-sangat lunak, kompresibilitas tinggi-sangat tinggi dan yang kedua yaitu Gambut umumnya berserat-tidak berserat, sifat fisik sangat lunak dan kompresibilitas sangat tinggi.

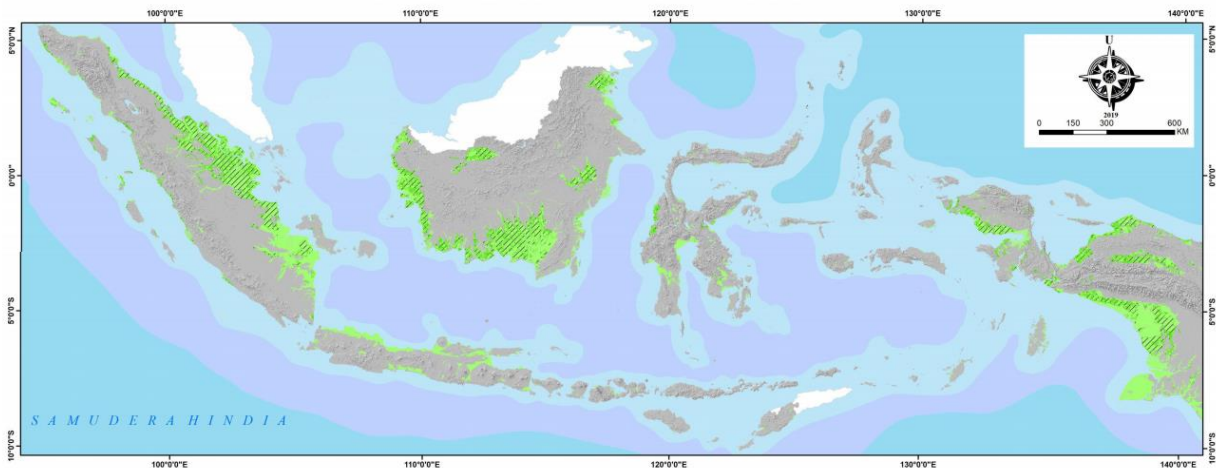
Untuk menentukan jenis tanah lunak yaitu dengan cara pengujian dilapangan memakai SPT (*Standard Penetration Test*). Pada saat melakukan pengeboran inti pada tanah yang akan di uji, mata bor diganti dengan suatu alat yang dinamakan *standard split barrel sampler* kemudian pipa bor di turunkan kembali sampai alat tersebut mencapai lapisan tanah yang akan di uji. Nilai dari N yang merupakan nilai pukulan yang di butuhkan penetrasi untuk mencapai 30 cm pada setiap lapisan pengujian tanah

Tabel 2.1. 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

PETA SEBARAN TANAH LUNAK INDONESIA



Gambar 2.1. Sebaran Tanah Lunak di Indonesia (Kementerian Energi dan Sumber daya Mineral 2019)

Pada tanah lunak, semakin muda umurnya, maka akan semakin tinggi pula letak muka airnya sehingga pada lapisan muda ini memiliki daya dukung yang rendah. Apabila gaya gesernya kecil, kemampuan yang besar, serta koefisien permeabilitas yang kecil, maka dapat dikatakan bahwa tanah tersebut adalah tanah lunak. Jadi, apabila pembebanan konstruksi melampaui daya dukung kritisnya maka besarnya penurunan akan meningkat dan dalam jangka waktu tertentu konstruksi akan mengalami keruntuhan.

Pada pembangunan struktur karena terdapat beberapa alasan yang mengakibatkan bangunan harus didirikan di atas tanah lunak, sehingga sebelum bangunan didirikan maka permasalahan dari daya dukung dan penurunan tanah lunak harus di selesaikan. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan metode prakompresi. Prakompresi merupakan suatu metode pemadatan tanah tanah lunak dengan cara pemberian pembebanan sementara (*preloading*) sebelum konstruksi yang sesungguhnya didirikan

Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan untuk menentukan jenis tanah, yaitu *Unified Soil Classification System* dan AASTHO (*American Association of State Highway and Transportation Official*).

Tabel 2.2. Sistem klasifikasi tanah Unified

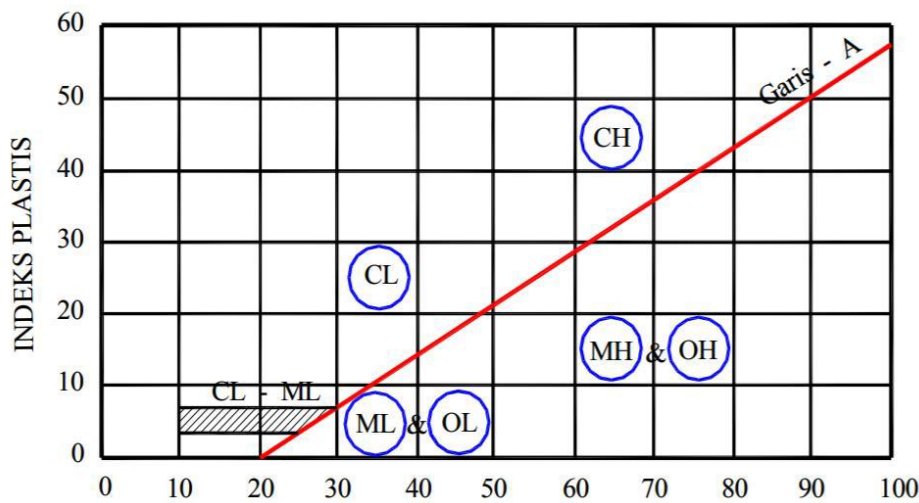
Divisi utama		Simbol kelompok	Nama grup
Tanah berbutir kasar atau lebih dari 50% tertahan	kerikil > 50% dari fraksi kasar dipertahankan pada ayakan No.4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW kerikil bergradasi baik, dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
			GP kerikil bergradasi buruk dan campuran pasir



Sarinagan No.200 (0,075 mm)	Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	kerikil berlanau, campuran kerikil pasir lempung
		GC	kerikil berlempung, campuran kerikil pasir lempung
	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	SW	pasir yang bergradasi baik, pasir berkerikil
		SP	pasir dengan gradasi buruk, pasir berkerikil
	Kerikil banyak butiran halus	SM	pasir berlanau, campuran pasir - lanau
		SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan No.200 (0,075 mm)	<u>anorganik</u>	ML	Lanau dan pasir sangat halus
		CL	lempung plastisitas rendah
	<u>organik</u>	OL	Lanau dengan plastisitas rendah
	anorganik	MH	lanau dengan <u>plastisitas tinggi</u> , lanau <u>elastis</u>
		CH	Lempung yang berplastisitas tinggi, tanah lempung gemuk

		organik	OH	Lempung yang berplastisitas sedang sampai tinggi
Tanah yang sangat organik	Pt	gambut, tanah dengan kandungan organik tinggi		

Sumber : Cassagrande (1942)



Gambar 2.2. Grafik Plastisitas, sistem USCS (Das, 1995)

Prosedur menentukan tanah berbutir halus :

- (a) menguji batas Atterberg dengan cara menyingkirkan sampel tanah yang tinggal dalam saringan no. 40. Jika batas cair mencapai nilai lebih dari 50, klasifikasikan sebagai H (tanah dengan plastisitas tinggi) dan jika kurang dari 50, klasifikasikan sebagai L (plastisitas rendah).
- (b) Untuk tanah dengan plastisitas tinggi, jika diplot dan hasil plot berada pada grafik di bawah garis A, tentukan apakah tanah organik (OH) atau anorganik (MH). Jika plotnya jatuh di atas garis A, klasifikasikan sebagai CH.
- (c) Untuk L (tanah dengan plastisitas rendah), jika plot pada grafik plastisitas di bawah 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 di dalam oven.

(d) Jika hasil plot batas Atterberg pada grafik plastisitas terdapat pada area grafik yang diarsir, dekat dengan garis A atau nilai LL sekitar 50, gunakan simbol doble.

Tabel 2.3. Sistem klasifikasi AASHTO

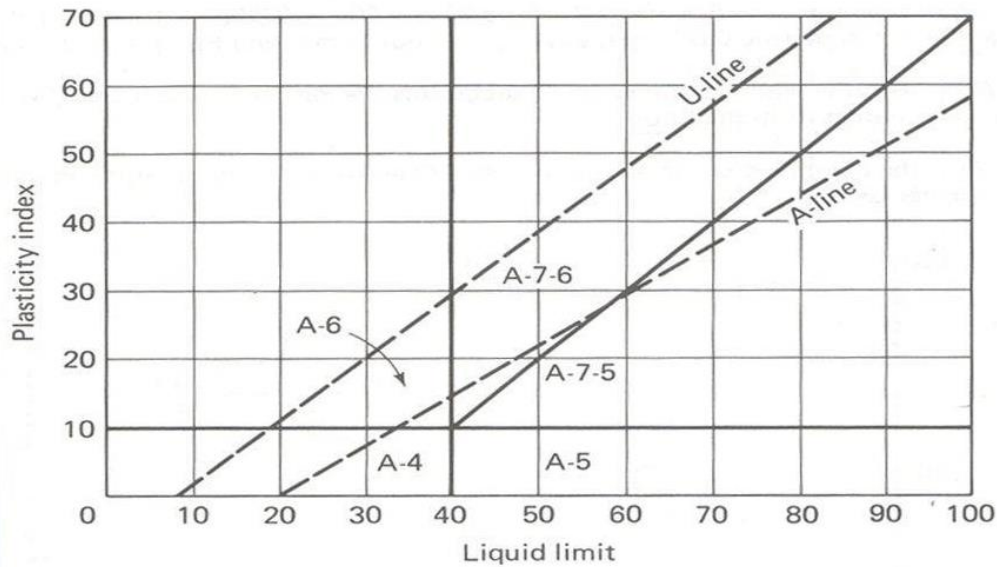
Klasifikasi umum	Tanah -tanah lanau-lempung(>35% lolos saringan no.200)			
Klasifikasi kelompok	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5/A-7-6
Analisis saringan (% lolos)				
2,00 mm (no.10)	-	-	-	-
0,425 mm(no.40)	-	-	-	-
0,075 mm(no. 200)	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat fraksi lolos saringan No.40				
Batas cair (LL)	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Batas plastis (PI)	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks kelompok (G)	8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sedang sampai buruk			

Sumber: Committee on Classification of Materials for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board dalam tahun (1945)

Catatan: kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PL)

Untuk PL>30,klasifikasinya A-7-5; untuk PL<30,klasifikasinya A-7-6



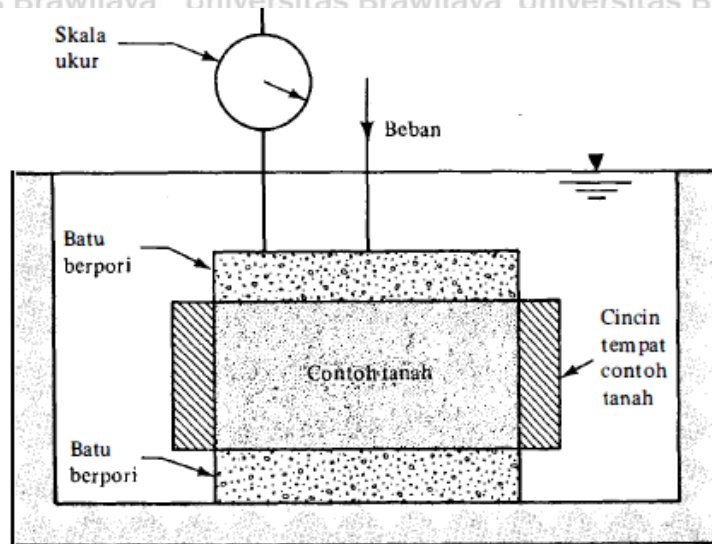


Gambar 2.3. Batas-batas Atterberg untuk sub kelompok A-4,A-5,A-6,dan A-7.

2.2. Konsolidasi dan Penurunan

Konsolidasi adalah proses berkurangnya rongga pori dari tanah lunak akibat tegangan dari proses pembebanan, dimana prosesnya dipengaruhi oleh kecepatan terperasnya air pori keluar dari rongga pori tanah yang berlanjut pada penurunan muka tanah (Hardiyatmo, 2018).

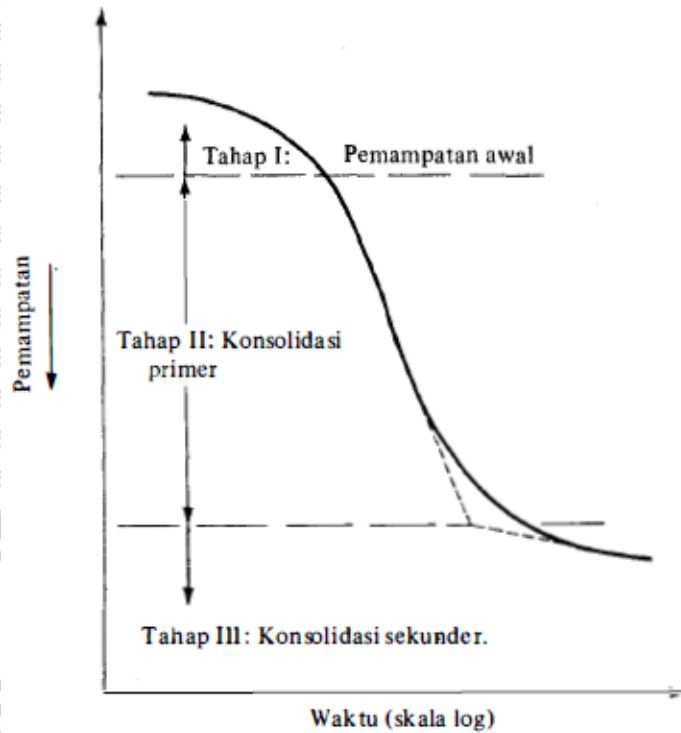
Konsolidasi terbagi menjadi dua macam, diantaranya adalah normally consolidated dan overconsolidated. Proses pengendapan sering terjadi pada lapisan tanah lunak pada saat mengalami pengendapan lapisan ini terkonsolidasi akibat berat tanah di atasnya. Lapisan-lapisan yang berada di atas lapisan tanah lunak akan hilang dengan proses alam yang terjadi, yang berarti lapisan tanah lunak tersebut pernah mengalami beban yang lebih besar dari beban yang dialami oleh tanah pada masa sekarang sehingga tanah semacam ini disebut dalam tanah kondisi *overconsolidated* (OC) atau tanah terkonsolidasi berlebihan. Sebaliknya jika beban yang dialami oleh tanah pada masa sekarang merupakan beban yang maksimum atau dengan kata lain tanah tidak pernah menopang beban yang lebih besar dari masa sekarang, maka tanah termasuk dalam kondisi normally consolidated atau terkonsolidasi normal lebih besar dari tekanan pada waktu sekarang, maka tanah merupakan kondisi normally consolidated atau terkonsolidasi normal.



Gambar 2.4. Alat uji konsolidometer (Braja M. Das 1985)

Alat oedometer atau konsolidometer merupakan suatu alat yang digunakan untuk menguji konsolidasi satu dimensi di laboratorium. Suatu sampel tanah yang akan di uji dari tanah di lapangan dimasukkan ke dalam ring besi.

Skema konsolidometer yang di tunjukan pada Gambar 2.4. contoh tanah di letakkan di dalam ring besi dengan dua batu pori diletakkan di atas dan di bawah contoh tanah. Pembebanan pada tanah dilakukan dengan cara meletakkan beban pada ujung sebuah balok datar beban vertikal yang diberikan pada benda uji akan mengalami penurunan yang diukur dengan arloji(dial gauge). Beban diberikan dalam waktu 24 jam dan bertahap . Pembebanan secara bertahap dua kali beban sebelumnya, dengan urutan beban $0,25\text{kg}/\text{cm}^2$; $0,50\text{kg}/\text{cm}^2$; $1\text{kg}/\text{cm}^2$; $2\text{kg}/\text{cm}^2$; $4\text{kg}/\text{cm}^2$; $8\text{kg}/\text{cm}^2$; $16\text{kg}/\text{cm}^2$.



Gambar 2.5: Grafik waktu- terhadap pemampatan selama konsolidasi pada tanah dengan pembebanan bertahap yang diberikan (Braja M. Das 1985)

Tahap I: Pemampatan ini disebabkan oleh pembebanan awal atau *preloading*

Tahap II: Konsolidasi primer (primary consolidation), yaitu selama proses ini tekanan air pori akan dipindahkan ke dalam tekanan efektif, sebagai akibat dari proses air pori tanah yang keluar akibat beban.

Tahap III: Konsolidasi sekunder (secondary consolidation), yang terjadi jika pada tanah tegangan air pori hilang seluruhnya. Sehingga pemampatan yang terjadi akibat tanah disebabkan oleh sifat dari butir tanah yang bersifat plastis.

2.2.1. Koefisien Konsolidasi (C_v)

Harga C_v dapat di tentukan dari hasil uji odometer koefisien konsolidasi berhubungan dengan koefisien permeabilitas suatu tanah yang sangat digunakan untuk mengetahui sifat dari tanah lunak. Untuk menentukan suatu koefisien konsolidasi C_v ada dua cara yaitu:

- 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.

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 :

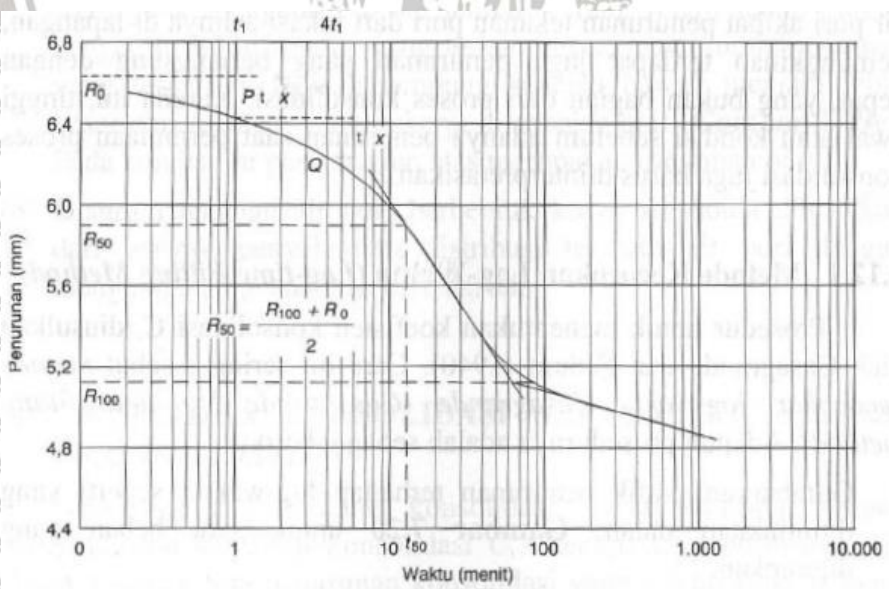
$$R_{50} = R_0 + R_{100}/2 \quad (2-1)$$

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

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

Dimana:

- C_v = Coefisien consolidation (m^3/dt)
- H_t = Tinggi sampel (m)
- t_{50} = Waktu dari derajat konsolidasi 50% (dt)



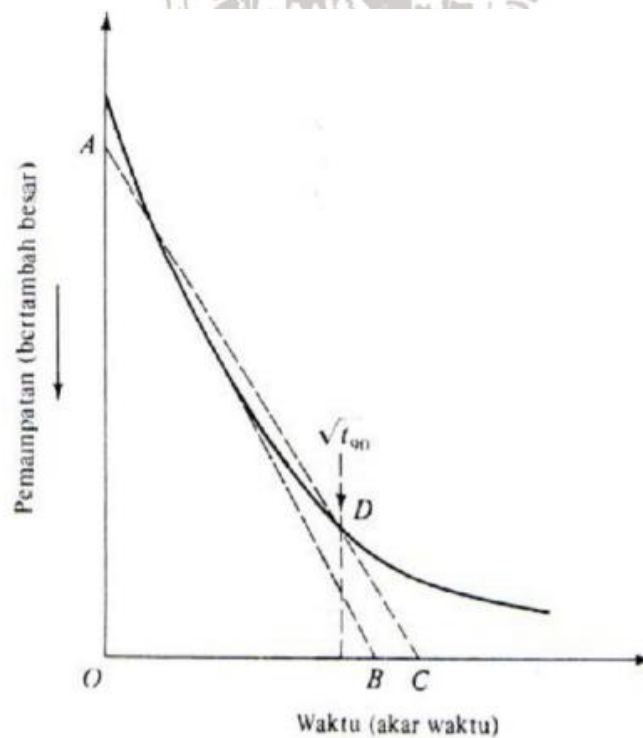
Gambar 2.6. Metode kecocokan log-waktu (Casagrande, 1940)

- b) Cara akar waktu (Square Root of Time Method, Taylor 1948)
 C_v dapat di tentukan dengan metode akar waktu dengan cara menggambarkan hasil uji konsolidasi pada grafik hubungan antara akar waktu dan penurunan. Kurva teoritis yang terbentuk biasanya linier sampai kira-kira 60% konsolidasi. Cara akar waktu adalah metode

dengan menentukan cara derajat konsolidasi $U = 90\%$ tersebut abis OR akan sama dengan 1,15 kali abis QQ. Untuk memperoleh derajat konsolidasi $U=90\%$ adalah sebagai berikut:

1. Dari data hasil uji gambarkan grafik hubungan antara penurunan terhadap akar waktu konsolidasi pada suatu beban tertentu.
2. Titik $U=0\%$ diperoleh dengan memperpanjang garis dari bagian awal kurva yang lurus sehingga memotong absis di titik B. Dengan anggapan kurva awal berupa garis lurus adalah konsisten dengan anggapan bahwa kurva awal berbentuk parabola.
3. AB yang merupakan garis lurus 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 $U=90\%$ adalah 0,848. Pada keadaan ini, koefisien konsolidasi C_v dinyatakan oleh persamaan:

$$Cv = \frac{0,848H^2}{t_{90}} \quad (2-3)$$



Gambar 2.7. Metode akar waktu (Taylor,1948)

2.2.2. Indeks Pemampatan (Compression Index C_c)

Dari kurva yang menunjukkan hubungan antara angka pori dan tekanan Indeks pemampatan dapat di peroleh dan digunakan untuk menghitung penurunan tanah yang terjadi di lapangan sebagai akibat dari konsolidasi dapat di tentukan yang dapat di uji dari konsolidasi di laboratorium. Jika tanah di naikkan tegangannya σ_0' menjadi σ_1' dan angka porinya turun dari e_0 menjadi e_1 , maka indeks kompresi dinyatakan sebagai berikut:

$$C_c = \frac{e_0 - e_1}{\log \frac{\sigma_1'}{\sigma_0'}} \quad (2-4)$$

Hubungan antara indeks pemampatan dengan parameter tanah lainnya dapat di nyatakan seperti pada tabel 2.4.

Tabel 2.4. Hubungan indeks pemampatan C_c dan jenis lempung

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 di lapangan

w_n = kadar air tanah di lapangan

2.2.3. Indeks Pengembangan (Swelling indeks, C_s)

Indeks pengembangan adalah kemiringan dari garis pengembangan (*swelling line*).

Besarnya harga indeks kompresi lebih besar dibandingkan swelling indeks. Disamping itu

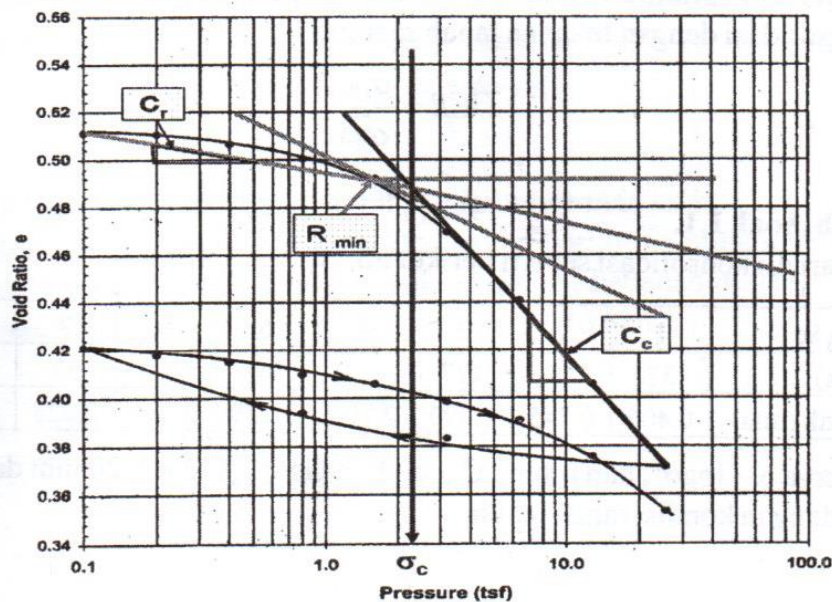
masih ada indeks kemampatan kembali C_r yaitu kemiringan dari *recompression line*.

Besarnya *recompression index* hampir sama dengan *swelling index*.

$$C_s \approx C_r \approx \frac{1}{5} \text{ sampai } \frac{1}{10} \cdot C_c$$

2.2.4. Tekanan Prakonsolidasi (*Preconsolidation Pressure*) σ_c

Tekanan Prakonsolidasi atau *Preconsolidation Pressure* adalah tekanan maksimum yang pernah terjadi pada tanah pada masa lampau. Untuk menentukan besarnya tekanan Prakonsolidasi Casagrande(1936) mengusulkan cara empiris yaitu dengan menggunakan grafik hubungan e - $\log \sigma_c'$



Gambar 2.8. Menentukan Tekanan Prakonsolidasi

Prosedur untuk menentukan tekanan prakonsolidasi σ_c , menurut Casagrande dengan menggunakan gambar:

1. Pilih menurut penglihatan, titik puncak kelengkungan atau titik yang mempunyai jari-jari minimum.
2. Gambar garis horizontal melalui titik puncak kelengkungan.
3. Gambar garis singgung melalui titik puncak kelengkungan.
4. Bagi dua sudut yang dibuat garis horizontal dan garis singgung.



5. Perpanjang garis Garis tekanan dasar (virgin compression line, VCL) dan memotong garis singgung. Titik potong kedua garis ini adalah tekanan prakonsolidasi.

2.3. Perbaikan Tanah lunak dengan Prefabricated Vertical Drain (PVD)

Pre-fabricated Vertical Drain (PVD) merupakan drainase buatan yang berbentuk potongan melintang segiempat yang terdiri dari material penyaring geotekstil yang membungkus inti yang terbuat dari 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) Keuntungan utama yang di timbulkan dari pemasangan PVD untuk memperbaiki tanah lunak adalah sebagai berikut:

1. Untuk lebih mempercepat proses penurunan konsolidasi karena PVD meningkatkan kecepatan permeabilitas tanah lunak yang rendah, sehingga waktu pelaksanaan proyek dapat dikurangi menjadi lebih singkat.
2. Jika tujuan dari pemasangan PVD adalah percepatan konsolidasi dengan aplikasi beban timbunan sementara, maka dengan menambahkan PVD akan mengurangi beban prakonsolidasi yang di butuhkan untuk mencapai nilai penurunan tanah pada waktu yang ditentukan
3. Untuk menambah percepatan pemampatan tanah sehingga kenaikan kuat geser akibat konsolidasi tanah lunak juga meningkat, karena stabilitas menjadi salah satu masalah

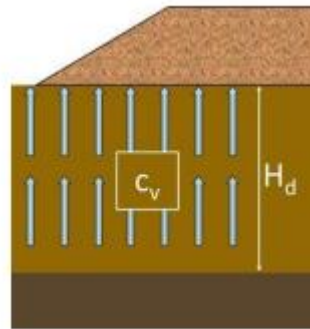


Gambar 2.9. *Pre-fabricated Vertical Drain* (PVD)

(Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul, 2015)

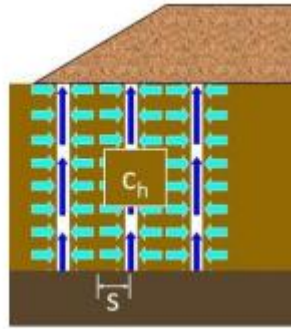
PVD terdiri dari 2 bagian yaitu *core/inti* yang berfungsi untuk mempermudah air pori mengalir dari bawah ke atas dan *jacket/filter* yang berfungsi untuk melindungi dan menyaring material agar tidak bercampur dengan air pori. Selanjutnya, air pori tersebut masuk ke dalam sela-sela inti PVD dan air pori dialirkan keluar dari tanah yang nantinya diteruskan oleh pori-pori dari material timbunan atau *horizontal drain*.

PVD dapat mempercepat waktu konsolidasi dikarenakan PVD sebagai drainase buatan dapat memperpendek jarak aliran 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).



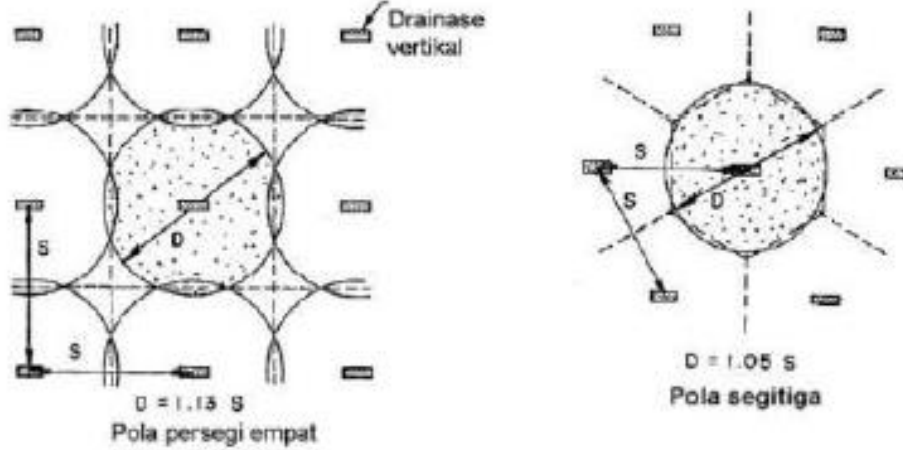
Gambar 2.10. Proses Konsolidasi Tanpa PVD

Jika pada tanah lunak diilustrasikan seperti pada Gambar 2.11. Tekanan 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 2.11. Proses Konsolidasi Dengan PVD

Cara kerja dari PVD adalah dengan mengalirkan air dan udara pada pori tanah lunak pada kedalaman tertentu dengan waktu yang singkat sehingga volume pori tanah dapat berkurang dengan cepat.



Gambar 2.12. Pola Pemasangan PVD

(Sumber: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2004)

PVD yang dengan bentuk persegi diasumsikan dengan diameter equivalen PVD (d_w) sebagai diameter lingkaran. Untuk desain diameter equivalen dapat dihitung dengan

persamaan sebagai berikut :

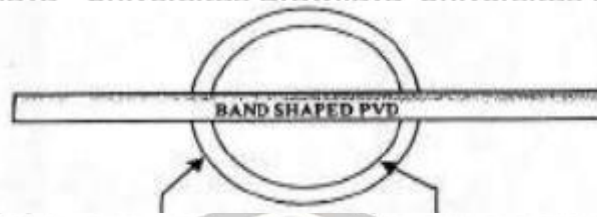
$$d_w = \frac{2(a+b)}{\pi} \quad (2-5)$$

Dimana:



a= Lebar PVD

b= Tebal PVD



Gambar 2.13. Equivalent Diameter (d_w) untuk PVD

2.3.1. Waktu Konsolidasi dengan PVD (*Pre-fabricated Vertical Drain*)

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

$$t = \left(\frac{D^2}{8ch}\right) f(n) \ln\left(\frac{1}{1-U_h}\right) \quad (2-6)$$

Dimana:

- t = Waktu untuk menyelesaikan konsolidasi primer
- D = Diameter ekuivalen dari lingkaran tanah di daerah pengaruh PVD
- D = 1,13 x S untuk pola bujur sangkar
- D = 1,05 x S untuk pola segitiga
- Ch = Koefisien konsolidasi untuk aliran air arah horisontal
- \bar{U}_h = Derajat konsolidasi tanah (arah horisontal)

Menurut Ariza (2014), salah satu hal yang harus dipertimbangkan adalah pengaruh dari gangguan tanah pada zona di sekitar PVD (*smear zone*). Konsolidasi dapat mengalami gangguan dari tanah akibat rusaknya struktur atau susunan lempung selama proses instalasi PVD di lapangan dengan bantuan mandrel. Gangguan tanah ini disebut juga *smear* yang mengakibatkan berkurangnya koefisien permeabilitas arah horizontal (k_h). Meskipun demikian, untuk pemasangan PVD pada skala laboratorium sangat kecil kemungkinan terjadinya *smear*. Oleh karena itu, menentukan derajat konsolidasi radial (U_r) dengan tanpa mempertimbangkan *smear zone*.

Rumus untuk mencari derajat konsolidasi dan T_h



$$U_h = 1 - \exp\left|\frac{-8Th}{m}\right|$$

(2-7)

Dimana :

T_h = Faktor waktu arah horizontal

C_h = Koefisien konsolidasi horizontal

D = Diameter tanah yang dipengaruhi PVD

$$U = 1 - [(1-U_v) \cdot (1-U_h)] \times 100\%$$

(2-8)

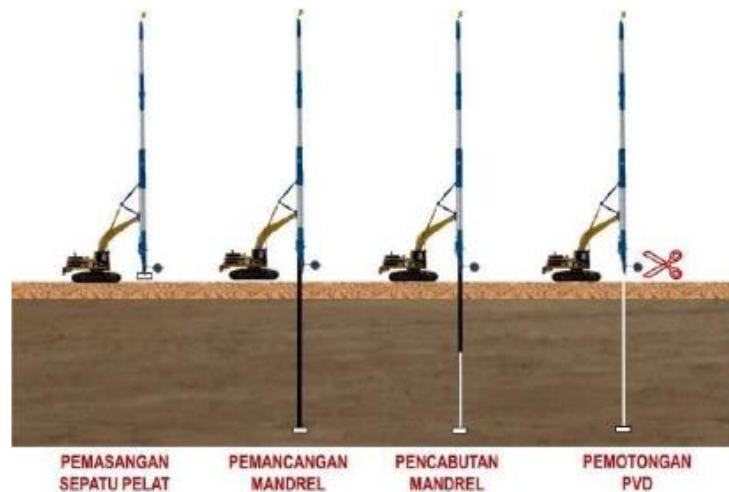
Kedalaman Optimum PVD Besarnya kedalaman PVD (*Preabricated Vertical Drain*) terpasang yang diperlukan adalah sedalam kedalaman lapisan tanah yang terkonsolidasi *compressible*, biasanya dengan nilai NSPT = 0-10 atau tanah sedang *medium stiff*. Fungsi Penggunaan *Pre-fabricated Vertical Drain*:

Cara kerja PVD pada proses pekerjaan perbaikan tanah lunak adalah sebagai berikut:

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

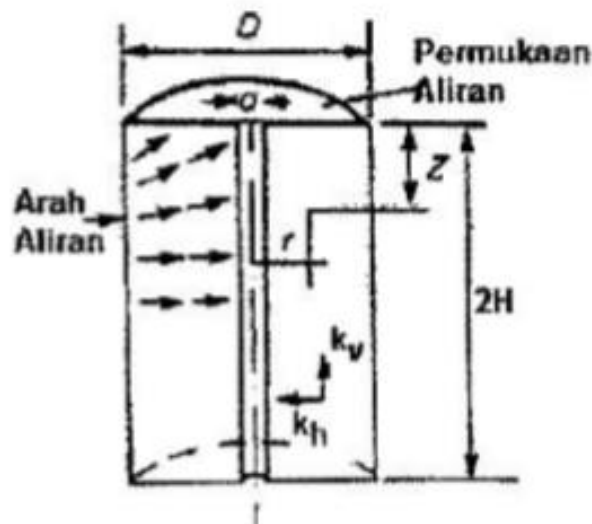
2.3.2 Metode *Pre-fabricated Vertical Drain*

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



Gambar 2.14. Metode Pemasangan PVD

Teori konsolidasi PVD di dasarkan pada bentuk dari drainase PVD merupakan silinder yang berpengaruh pada daerah di sekitar PVD dengan panjang silinder sama dengan Panjang PVD itu sendiri seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.15. pada pemasangan PVD dapat di laksanakan dengan pola pemasangan segitiga maupun segiempat. Lama waktu konsolidasi tanah sangat dipengaruhi oleh nilai Ch . Biasanya nilai Ch ini diambil dengan didasarkan pada nilai C_v . Sebagai pedoman, dapat digunakan perbandingan nilai yang disarankan oleh Jamiolkowski et al (1983) dan diperlihatkan pada Tabel 2.5.



Gambar 2.15. Daerah Pengaruh Vertical Drain

Tabel 2.5. Perbandingan Nilai

Sifat lapisan tanah lempung	Ch/Cv
Relatif homogen (hamper tidak ada lapisan permeable)	1-1,5
Lempung endapan (terdapat lensa-lensa dan lapisan pasir yang tidak kontinu)	2-4
Lempung berlapis (<i>varved clay</i>) atau lempung dengan lapisan pasir yang lebih kurang kontinu	3-15

2.3.3. Prakompresi dengan PVD

Tujuan utama dalam penerapan metode prakompresi dengan PVD adalah untuk mempercepat waktu konsolidasi dengan acuan waktu yang telah ditentukan. Berdasarkan uji konsolidasi pada 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 .

$$U = \frac{U_d}{U_0} = \frac{S_t}{S_f} \quad (2-9)$$



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. 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. Pekerjaan Lapangan

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

3.4. Pekerjaan Laboratorium

3.4.1. Percobaan Penelitian

Percobaan yang dilakukan dalam penelitian ini diantaranya:

a. Uji Konsolidasi (SNI 2812: 2011)

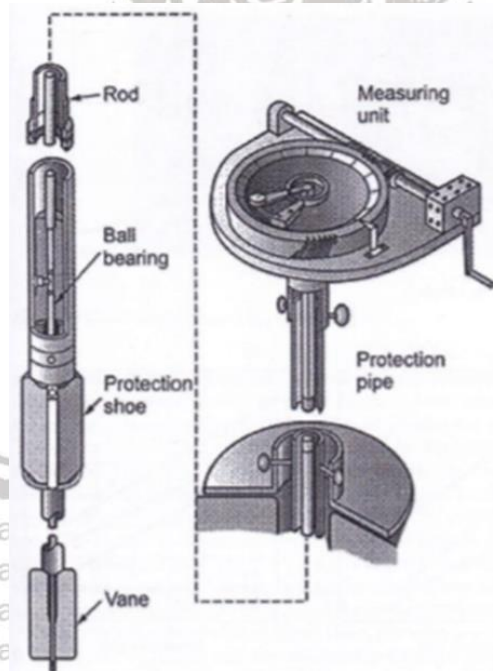
Uji konsolidasi satu dimensi dapat dilakukan di laboratorium menggunakan alat konsolidometer. Suatu sampel tanah yang merupakan tanah di lapangan dimasukkan ke dalam ring besi. Pembebanan dilakukan dengan 5 tahap dengan tegangan yang diberikan sebesar $232,35 \text{ kg/m}^2$, $276,31 \text{ kg/m}^2$, $376,38 \text{ kg/m}^2$, $433,33 \text{ kg/m}^2$ dan $511,87 \text{ kg/m}^2$.

b. Uji Geser Baling-Baling (Vane Shear Test) SNI 3638: 2012

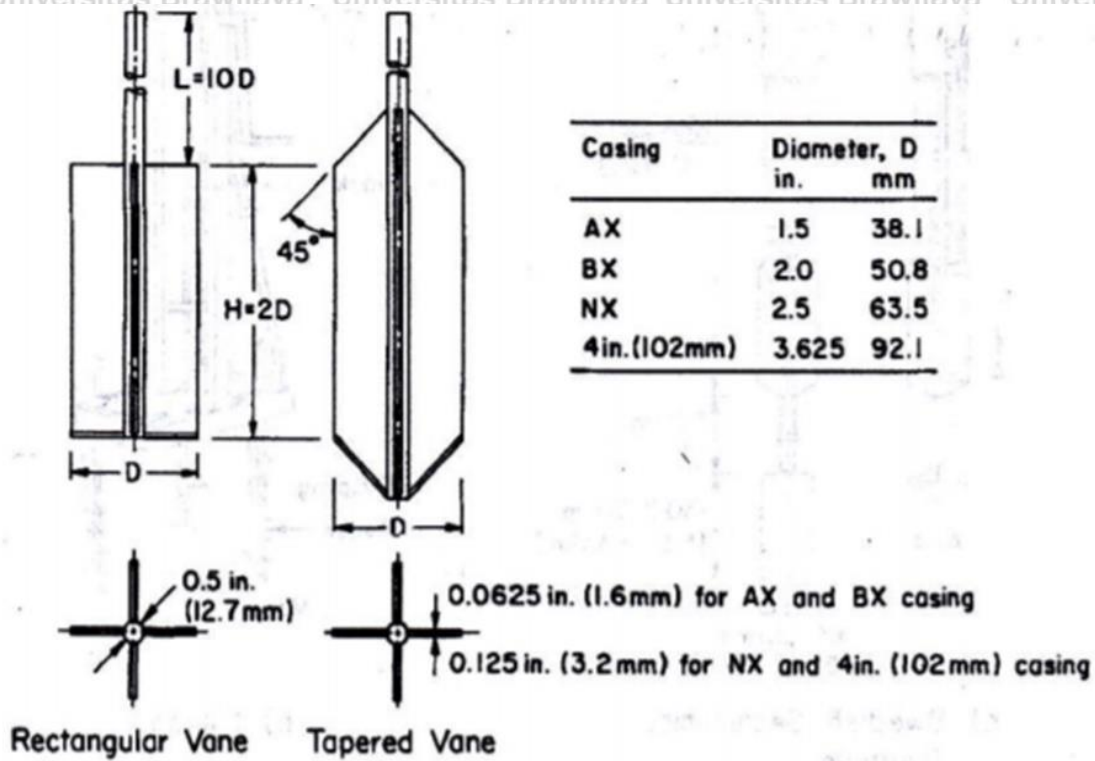
Manfaat dan Penggunaan Vane Shear Test Vane Shear Test (VST) Salah satu metode yang dapat digunakan dan cukup cepat dalam prosedur pengujian tanah dilapangan. Uji vane shear dapat mengukur kapasitas yang besar hingga 200 kPa, yang meruakan tanah lunak untuk analisi kuat geser tanah tak terdrainase.

Tabel 3. 1 Rekomendasi ukuran baling-baling VST (ASTM D2573)

Tipe ukuran	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Tebal baling-baling (mm)	Diameter vane 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
101,6 mm	92,1	184,1	3,2	12,7



Gambar 3. 1 Konfigurasi Vane Shear Test (Scnaid, 2009)



.Gambar 3. 2 Tipe baling-baling Vane Shear Test (ASTM D2573)

c. Uji Grain Size (ASTM D2216-92 (1996))

Tujuan dari analisis ini yaitu untuk mengetahui prosentase butiran tanah yang sesuai dengan klasifikasi dalam pengujian ini digunakan standar ASTM D422-63 (1990).



Tabel 3. 2 Ukuran saringan butiran tanah

ASTM Vol. 14.02		BSI, BS-410	
No. Saringan	Ukuran (mm)	No. Saringan	Ukuran (mm)
¾"	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		

d. Uji Berat Jenis

Berat jenis tanah adalah perbandingan antara berat butir tanah dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu. Pada konstruksi yang kekuatannya di pengaruhi oleh berat jenis tanah, pengujian berat jenis tanah sangatlah diperlukan(Sarnono, 1992).

Tabel 3. 3 Berat Jenis Tanah

Jenis Tanah	Berat Jenis Butir
Kerikil	2,65-2,68
Pasir	2,65-2,68
Lanau Tak Organik	2,65-2,68
Lempung Organik	2,58-2,68



Lempung Tak Organik	2,68-2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25-1,80

Sumber : Hardiyantmo,2012

e. Uji Kadar Air

Kadar air didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari yang dinyatakan dalam persen. Dalam metode ini tanah dikeringkan dengan cara di oven selama 24 jam dan ditimbang beratnya.

3.4.2. Pengumpulan Data

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

3.5. Metode Penelitian

Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Tanah, Berikut adalah metode pengujian sifat fisik dan mekanik tanah, antara lain:

1. *Disturbed soil* yang sudah diambil kemudian dikeringkan selama 24 jam di bawah sinar matahari dan dihancurkan menjadi bongkahan tanah yang lebih kecil dengan cara manual (tenaga manusia) menggunakan pacul dan sekop.
2. Bongkahan tanah yang sudah kering selanjutnya diubah menjadi *slurry* (lumpur) tanah dengan mencampurkan air dan tanah sebanyak berat yang dibutuhkan untuk mencapai kadar air tertentu berdasarkan hubungan antara kadar air dengan berat air dan berat total, dimana berat air yang diperlukan sebanding dengan kadar air target dikalikan dengan berat tanah yaitu:

$$W_w = w \times W_s \quad (3-1)$$

Lalu, berat total dapat didefinisikan sebagai berat air ditambah dengan berat tanah. Berat total juga dapat diartikan sebagai volume total benda uji dikalikan dengan berat jenis tanah yang sudah ditetapkan.

$$W = W_w + W_s = \gamma \times V \quad (3-2)$$

Sebagai contoh, untuk box dengan volume $100 \times 100 \times 50 \text{ cm}^3$ didapatkan berat total seberat 742,5 kg dengan mengalikan volume box dan berat jenis tanah yang telah ditetapkan sebesar 1485 kg/m^3 . Untuk kadar air target 82%, didapatkan berat air (W_w) dan berat tanah (W_s) sebagai berikut:

$$W_w = 0,82W_s \quad (3-3)$$

$$W = W_w + W_s$$

$$742,5 = W_s + 0,82W_s$$

$$W_s = 408 \text{ kg}$$

$$W_w = 742,5 - 408 = 334,5 \text{ kg}$$

3. Pengujian konsolidasi dilakukan dengan tinggi sampel 40 cm dan dipasang PVD dengan pola persegi dan jarak yang bervariasi sesuai pada Tabel 3.6. 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.

Tabel 3.4. Variasi Jarak dan Kedalaman PVD Pola Segitiga Jarak

Kedalaman (cm)	Jarak (cm)			
	20	30	40	50
25	✓	x	x	x
30	✓	x	x	x
40	✓	x	x	x

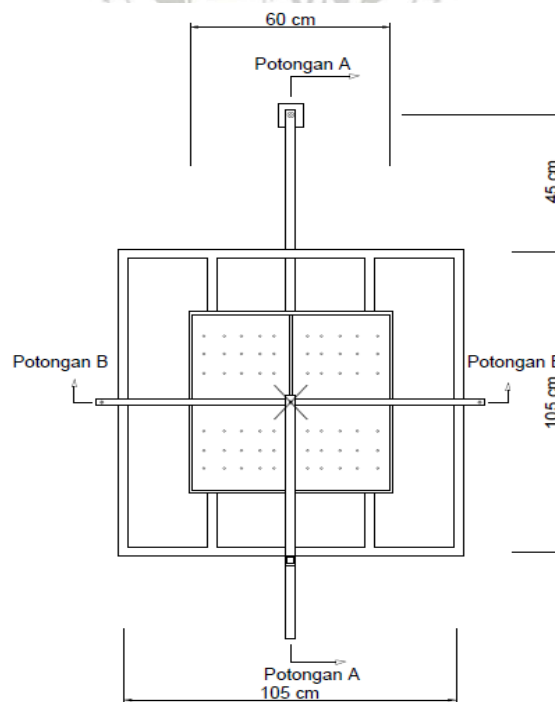
4. Pengujian kadar air dan berat jenis dilakukan dengan mengambil tanah sampel uji lalu di keringkan dalam oven dan dilakukan penimbangan.
5. Pengujian *vane shear* dilakukan dengan mengambil tanah sampel uji lalu dimasukkan ke dalam alat uji.

3.6. Rancangan Penelitian

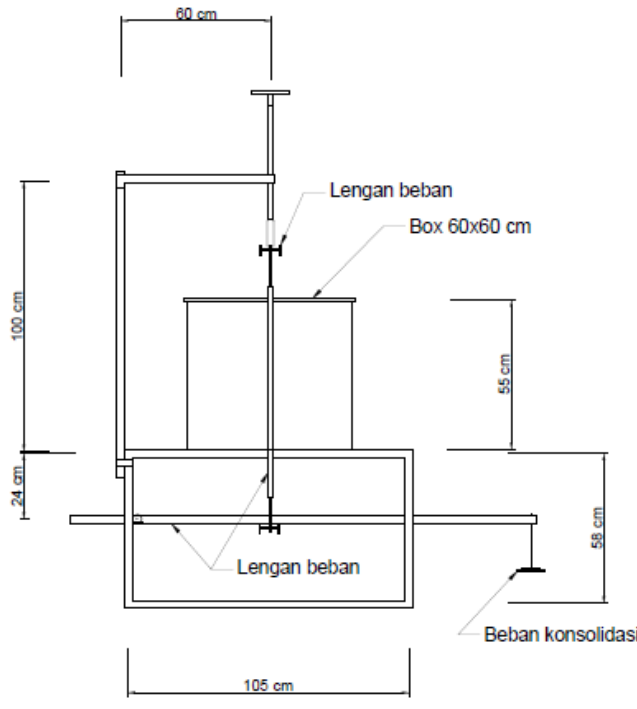


Gambar 3.3. Tampak Atas PVD Pola Segitiga

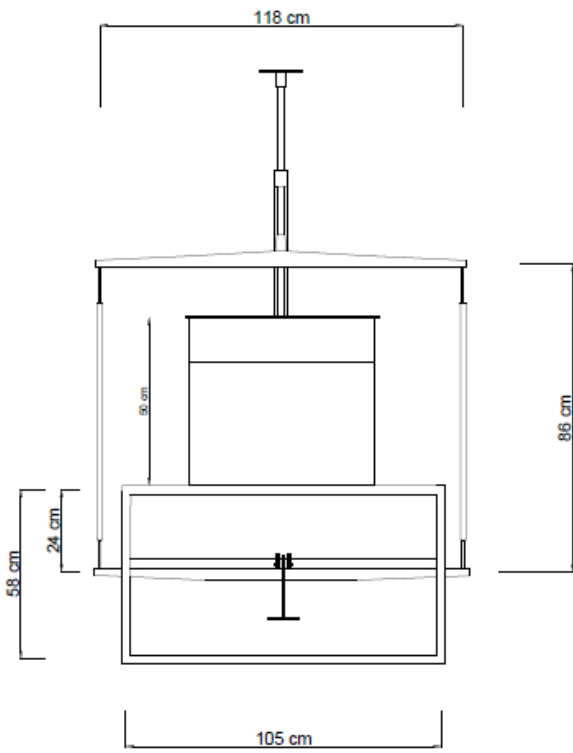
Pada percobaan ini tanah diberikan perlakuan, dimana setiap perlakuannya terdiri dari satu sampel. Perluannya diantaranya pemberian beban yang disesuaikan dengan faktor lengan dan ukuran box



Gambar 3. 4 Tampak atas alat uji konsolidasi

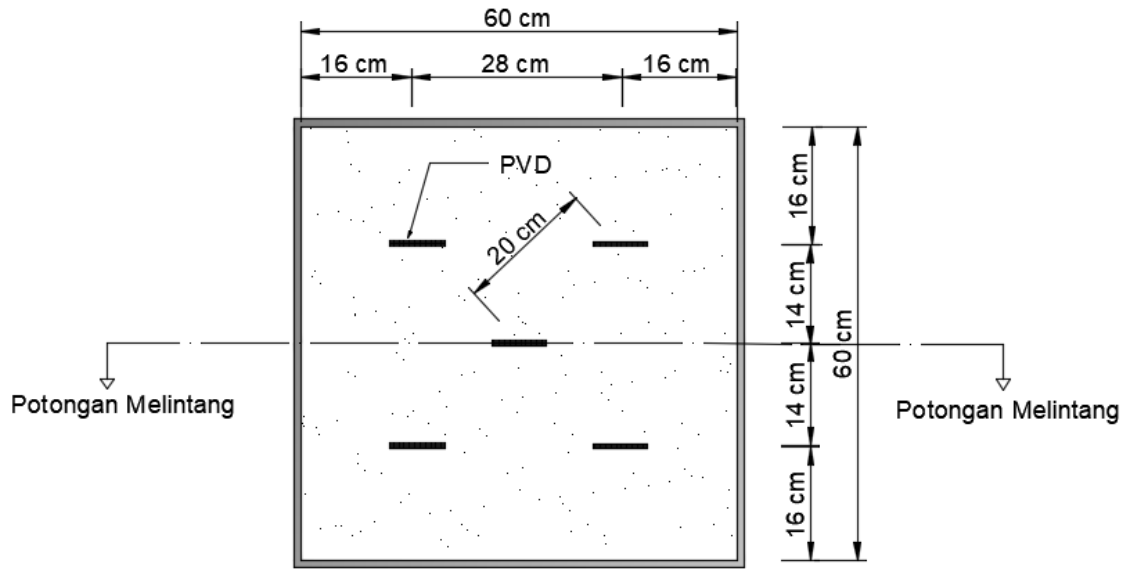


Gambar 3.5. Tampak samping alat uji (Potongan A-A)

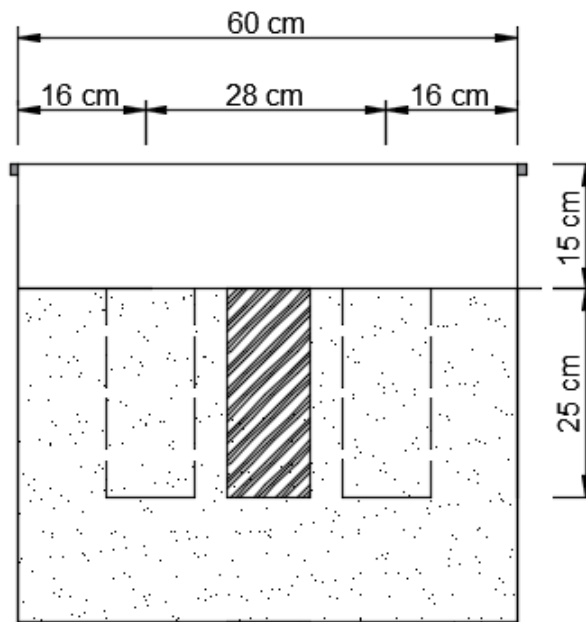


Gambar 3. 6. Tampak depan alat uji (potongan B-B)





Gambar 3.7. Jarak antara PVD dengan Pola Segitiga



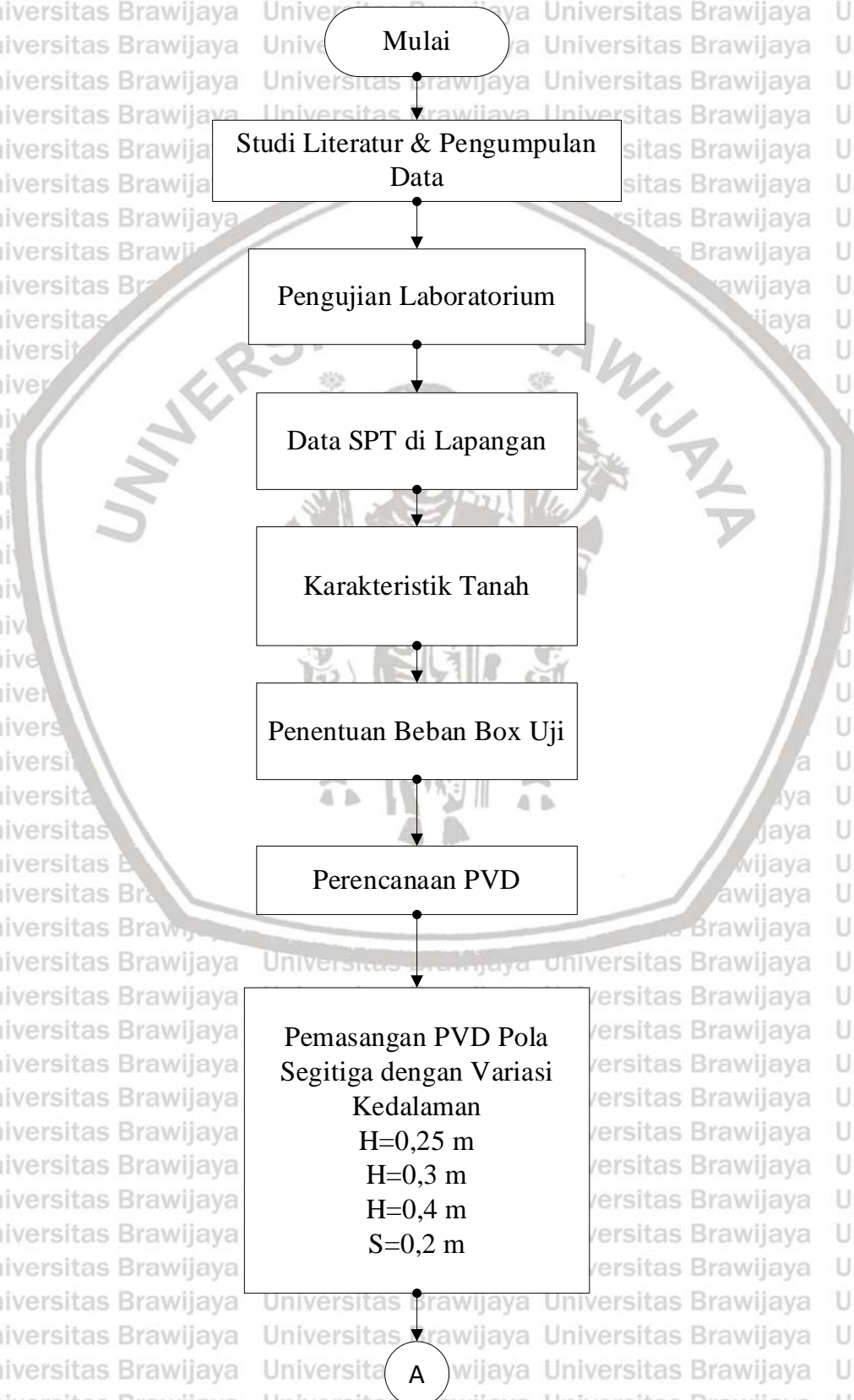
Gambar 3.8. Potongan Melintang dengan kedalaman PVD sebesar 25 cm

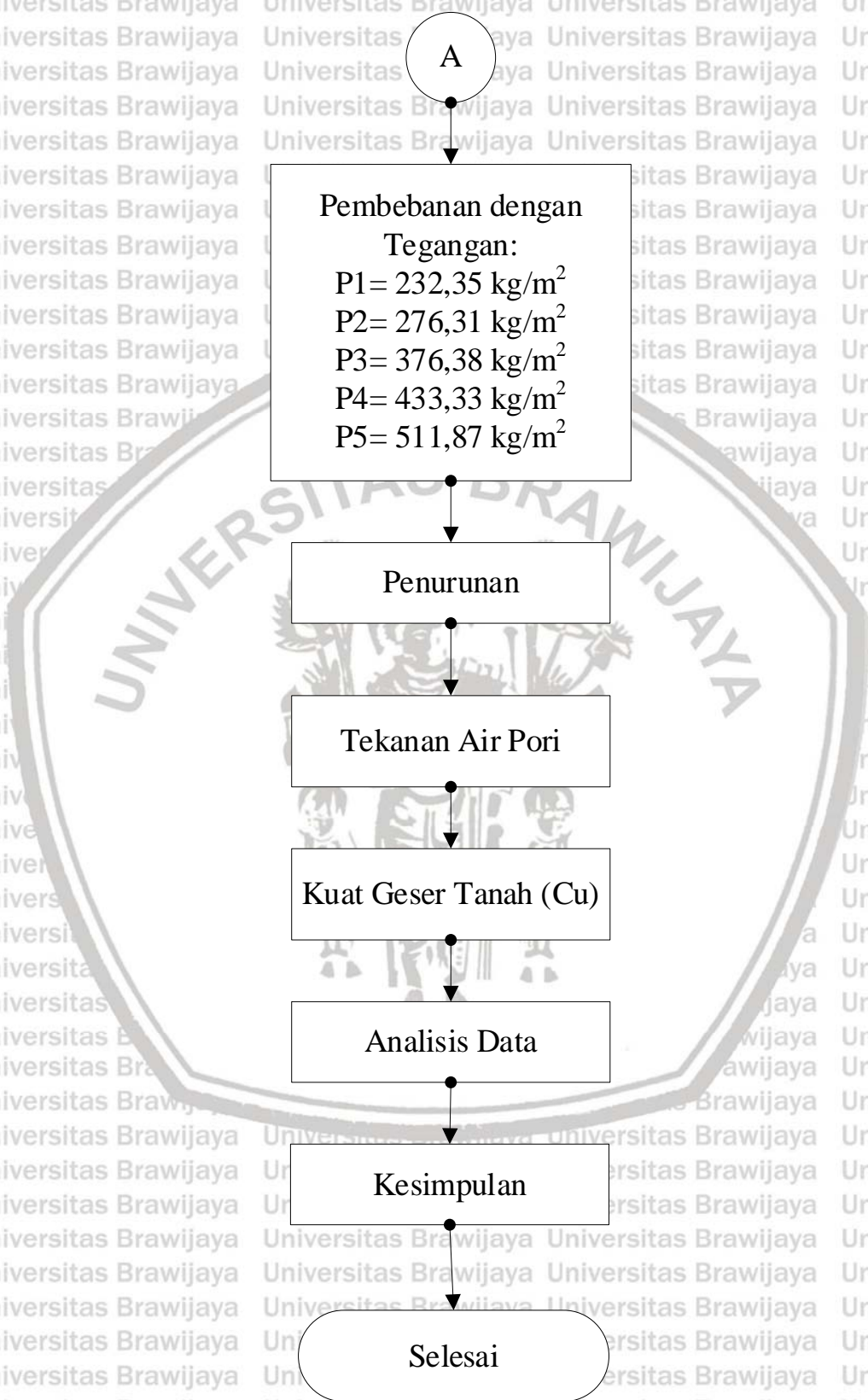
3.7. Analisis Data

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.

3.8. Diagram Alir





Gambar 3. 9 Diagram Alir Metode Penelitian



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

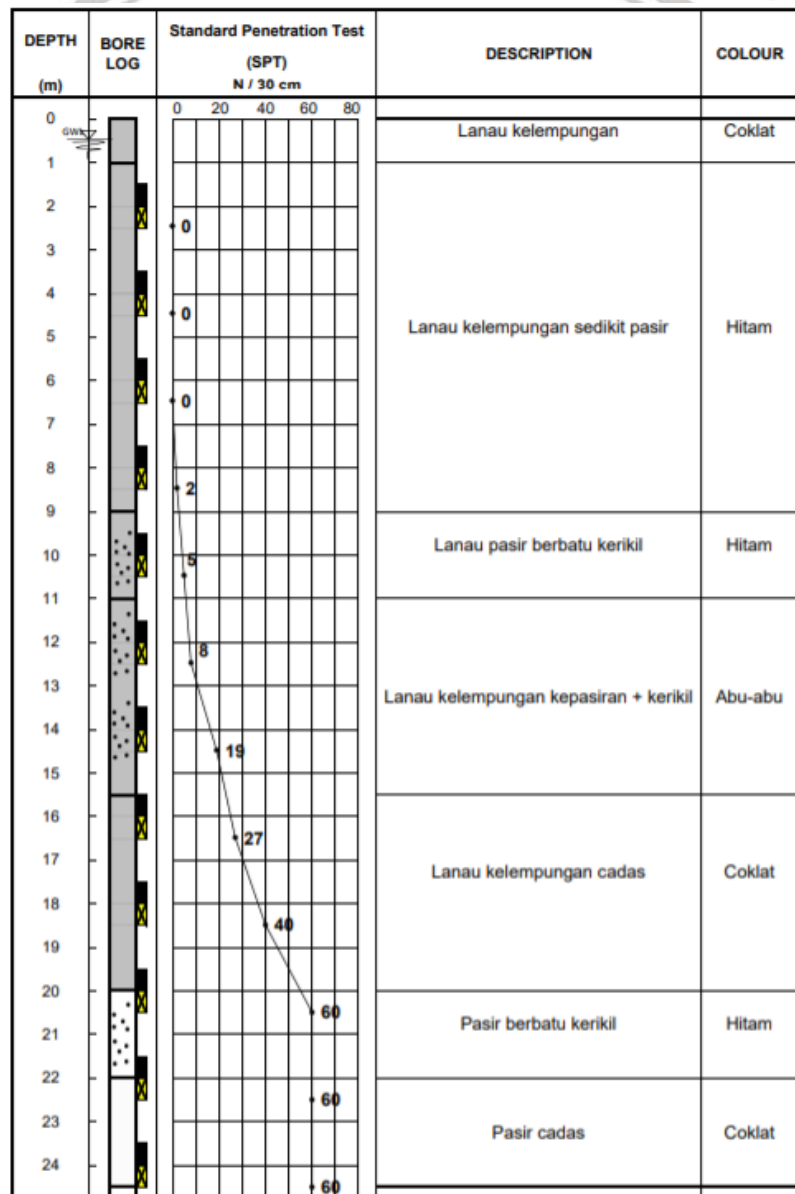
(HALAMAN INI SENGAJA DI KOSONGKAN)



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Karakteristik Tanah Asli

4.1.1. Uji SPT (Standard Penetration Test)



Gambar 4.1. Data SPT jalan tol Pasuruan – Probolinggo

Tabel 4.1. Klasifikasi Tanah berdasarkan data SPT

N (blows/305 mm)	Konsistensi
< 2	<i>Very soft</i>
2 – 4	<i>Soft</i>
4 – 8	<i>Medium</i>
8 – 15	<i>Stiff</i>
15 – 30	<i>Very stiff</i>
>30	<i>Hard</i>

Sumber: Terzaghi dan Peck, 1948

Berdasarkan data SPT dan tabel 4.1. kelompok tanah hingga kedalaman 10 meter merupakan konsistensi tanah lunak.

4.1.2. Kadar Air

Tanah berbutir halus memiliki kuat geser yang sangat dipengaruhi oleh kadar air tanah, oleh karena itu pada penelitian ini perlu dilakukan pengujian kadar air tanah, kadar air tanah merupakan perbandingan antara berat air dan berat butiran padat yang dinyatakan dalam persen (%). Pada tabel 4.2. merupakan kadar air rata-rata dari 3 sampel tanah asli.

Tabel 4.2. Kadar Air pada Tanah Asli

Sampel Tanah	Kadar Air (%)
1	67,37
2	69,34
3	69,71
Rata-rata kadar air	68,81

4.1.3. Menentukan Klasifikasi Tanah (*Unified* dan AASHTO)

4.1.3.1 Analisis Saringan



Tabel 4.3. Hasil analisis saringan

Saringan	Tertahan	Jumlah	% Jumlah	% Lolos
Diameter	saringan	Tertahan	Tertahan	Saringan
No.	(mm)	(gram)	(gram)	
4	4,75	0	0	100%
10	2	0	0	100%
20	0,84	0	0	100%
40	0,42	0	0	100%
50	0,3	0	0	100,000%
80	0,18	0,150	0,150	0,075%
100	0,15	0,350	0,500	0,250%
200	0,075	2,560	3,060	1,531%
PAN		196,770	199,830	100,000%
				0,000%

Dari hasil analisis saringan persentase tanah yang lolos saringan nomor 200 (0,075 mm) lebih besar dari 50%, tanah termasuk dalam tanah berbutir halus.

4.1.3.2. Batas Atterberg

Batas Atterberg merupakan suatu penyelidikan tanah yang digunakan untuk tanah jenis berbutir halus yang menggambarkan konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan jumlah dari kadar air tanah, pada penelitian ini sampel tanah di uji untuk mendapatkan 2 batas Atterberg yaitu batas plastis (*plastic limit*) dan batas cair (*liquid limit*).

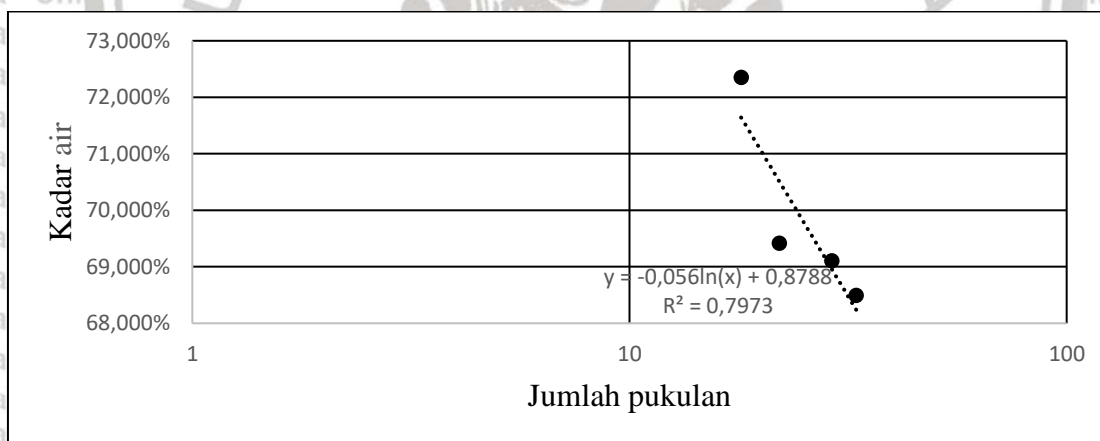
Tabel 4.4. Rata-rata kadar air pada batas plastis (*Plastic limit*)

Batas Plastis (<i>Plastic limit</i>)			
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
Kadar air rata-rata (%)	40,917		



Tabel 4.5. Rata-rata kadar air pada batas cair (*liquid limit*)

Batas Cair (<i>liquid limit</i>)				
Nomor Cawan	1	2	3	4
Banyaknya Pukulan	18	22	29	33
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 memplot kadar air dari tabel diatas, maka akan didapatkan grafik dengan rumus $y = -0,056 \ln(x) + 0.8788$ dimana $x = 25$, maka akan didapatkan nilai batas cair (LL) sebesar 69,854%.

Dari nilai batas cair dan batas plastis maka akan didapatkan index plastis (PI) dengan rumus

$$PI = LL - PL$$

$$PI = 69,854\% - 40,917\%$$

$$PI = 28,938\%$$



Berdasarkan sistem klasifikasi tanah *unified* dengan indeks plastisitas sebesar 28,938% dan batas cair LL sebesar 69,854% maka tanah termasuk dalam jenis tanah lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau plastisitas tinggi (MH). Berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO (*American association of state Highway and Transportation Officials*) tanah lolos saringan nomor 200 lebih besar dari 35%, nilai indeks kelompok (GI) sebesar 11,91, PI lebih besar dari 30% maka tanah di klasifikasikan dalam kelompok tanah berlempung (A-7-5)

4.1.4. Analisis Berat Spesifik (*Specific gravity*)

Pengujian berat jenis bertujuan untuk mengklasifikasikan jenis tanah sampel, dimana berat jenis adalah perbandingan antara berat volume butiran padat, dengan berat volume air pada temperature 30°C. Berikut hasil pengujian berat jenis pada tanah asli:

Tabel 4.6. Berat Jenis Tanah Asli

Berat Jenis Tanah (Gs)			
Labu 1	Labu 2	Labu 3	Rata-rata
2,586	2,531	2,577	2,565

Dari tabel 4.6. rata-rata berat jenis di dapatkan sebesar 2,565, dari rata-rata nilai Gs dapat di simpulkan bahwa sampel tanah termasuk dalam mineral *Halloysite*.

4.2. Pembuatan *Slurry* Benda Uji

Sebelum melakukan uji konsolidasi, sampel tanah asli perlu di perhitungkan kadar airnya agar mencapai kadar air yang di inginkan. Untuk mencapai kadar air yang diinginkan pada sampel tanah asli di keringkan terlebih dahulu selama 24 jam, setelah tanah menjadi kering tanah di hancurkan hingga menjadi sampel tanah dengan ukuran yang lebih kecil.

Bongkahan tanah yang sudah kering selanjutnya diubah menjadi *slurry* (lumpur) tanah dengan mencampurkan air dan tanah sebanyak berat yang dibutuhkan untuk mencapai kadar air tertentu berdasarkan hubungan antara kadar air dengan berat air dan berat total, dimana berat air yang diperlukan sebanding dengan kadar air target dikalikan dengan berat tanah yaitu:

$$W_w = w \times W_s$$

Lalu, berat total dapat didefinisikan sebagai berat air ditambah dengan berat tanah.

Berat total juga dapat diartikan sebagai volume total benda uji dikalikan dengan berat jenis tanah yang sudah ditetapkan.

$$W = W_w + W_s = \gamma \times V$$

Sebagai contoh, untuk box dengan volume 60x60x40 cm³ didapatkan berat total seberat 213,83 kg dengan mengalikan volume box dan berat jenis tanah yang telah ditetapkan sebesar 1485 kg/m³. Untuk kadar air target **82%**, didapatkan berat air (W_w) dan berat tanah (W_s) sebagai berikut.

$$W_w = 0,82W_s$$

$$W = W_w + W_s$$

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

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

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

4.3. Percobaan Konsolidasi Menggunakan PVD Pola Segitiga

4.3.1. Kalibrasi alat uji dan pembebanan

Pada pengujian konsolidasi terdapat 3 alat uji yang digunakan, jika ke tiga alat uji ini di berikan beban yang sama dengan luas box sampel yang sama maka tegangan yang bekerja pada sampel tanah akan berbeda hal ini di karenakan perbedaan dari Panjang lengan beban, berat lengan beban dan berat plat penutup box, untuk itu perlu dilakukan kalibrasi pada alat uji dengan mengkalibrasi ulang box terhadap pembacaan *dial reading* dari box kosong yang dibebani per interval 10 kg.

Pada pengujian konsolidasi setiap sampel tanah diberikan tegangan yang sama dengan alat uji 3, kemudian diplot dalam grafik hubungan beban *dial reading* terhadap beban konsolidasi untuk mencari urutan pelat beban yang setara dengan urutan beban 30 kg, 50 kg,

70 kg, 90 kg, dan 110 kg pada box 60x60x55 cm³ dalam alat uji 3.

Kalibrasi Alat Uji dan Box Konsolidasi :

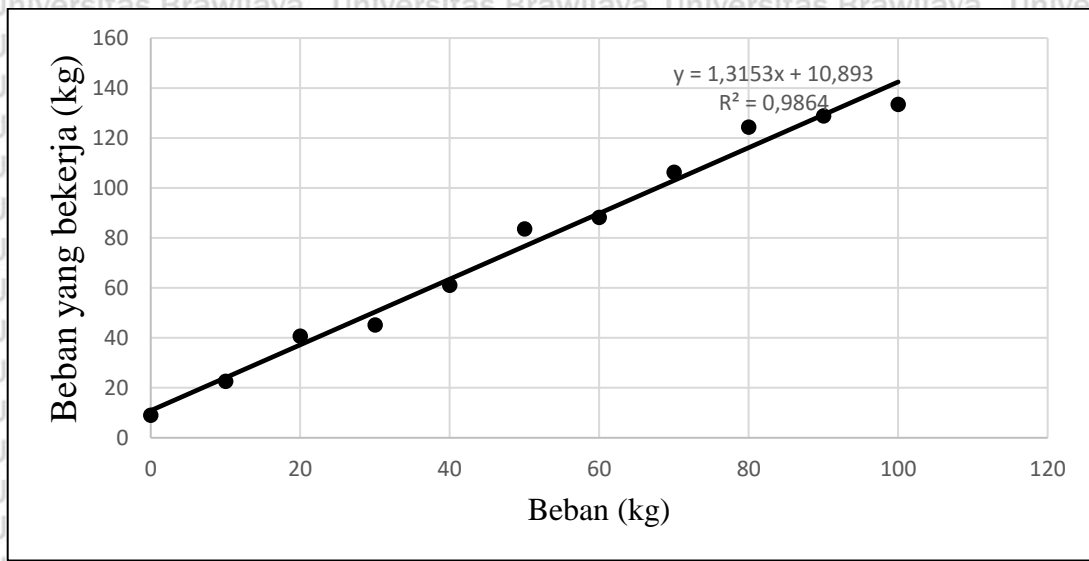
Pembacaan per garis (*dial reading*) = 49,796 lbf

1 lbf

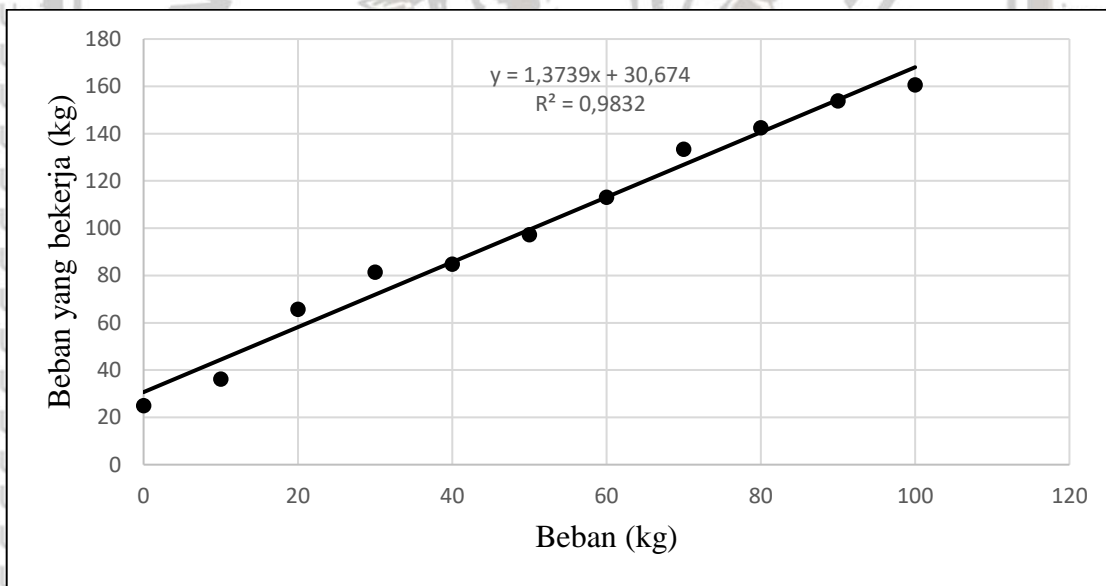
= 0,454 kg

49,8 lbf

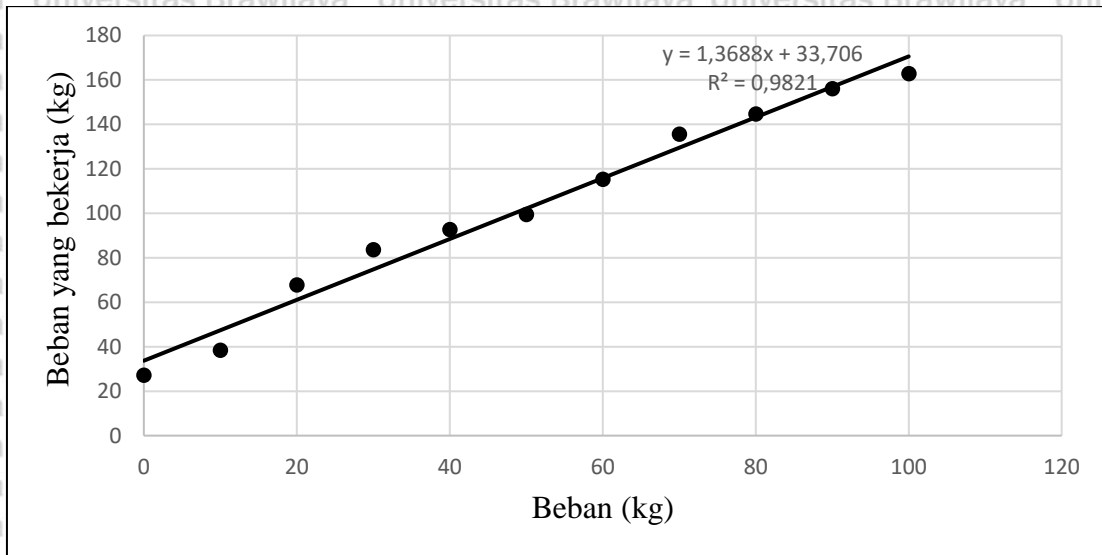
= 22,607



Gambar 4.3. Beban dan beban yang bekerja pada sampel tanah alat uji 1



Gambar 4.4. Beban dan beban yang bekerja pada sampel tanah alat uji 2



Gambar 4. 5 beban dan beban yang bekerja pada sampel tanah alat uji 3

Tabel 4.7. Beban bertahap yang diberikan pada setiap alat uji dengan tegangan yang 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



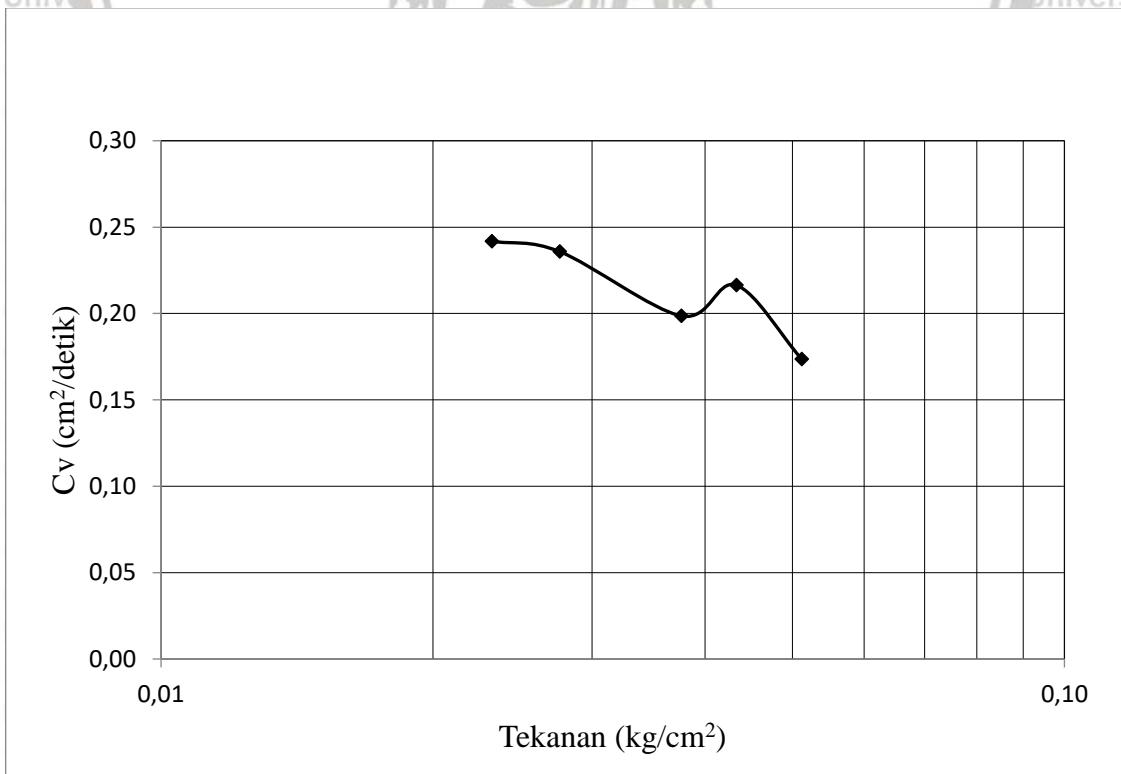
4.3.2. Percobaan Konsolidasi , Kadar Air Dan Tegangan Air Pori (tanpa PVD)

Tabel 4. 8 Kadar air

Pengujian kadar air	Kadar air (%)
Sebelum pembebanan	85,93%
Setelah pembebanan	78,28%

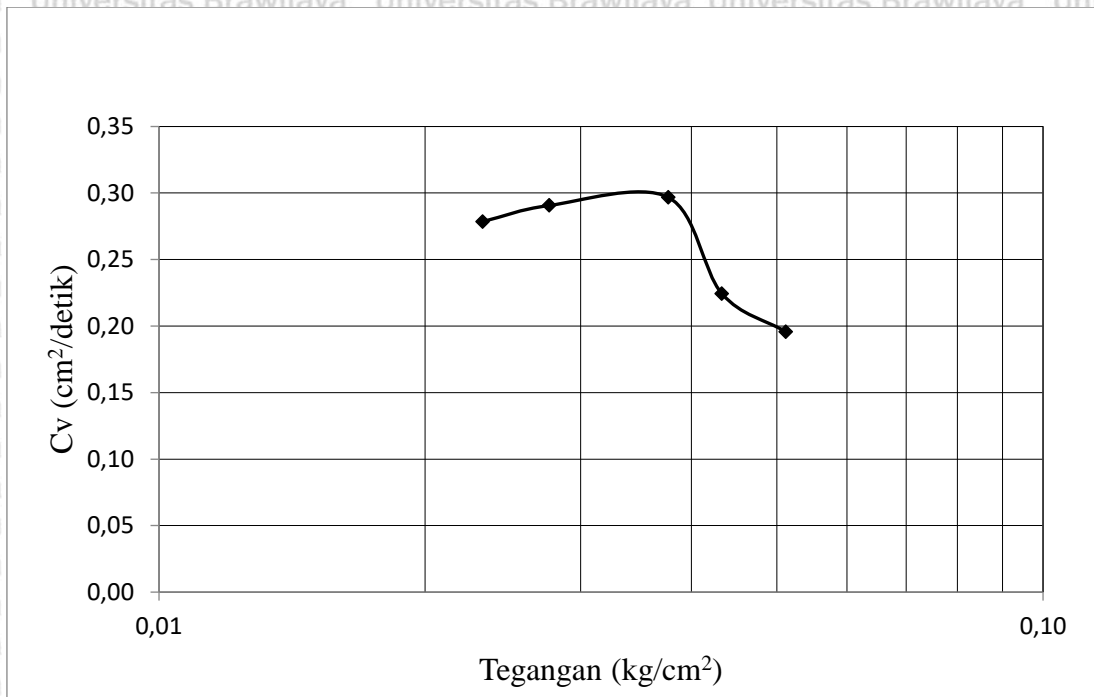
Tabel 4.9. Nilai koefisien konsolidasi Cv (Tanpa PVD)

Tegangan (kg/cm ²)	Cv (t ₅₀) (cm ² /det)	Cv (t ₉₀) (cm ² /det)
0,0232	0,2418	0,2785
0,0276	0,2358	0,2906
0,0377	0,1986	0,2967
0,0433	0,2164	0,2243
0,0512	0,1736	0,1957



Gambar 4.6. Hubungan tegangan dan Cv (t₅₀)





Gambar 4.7. Hubungan tegangan dan Cv (t_{90})

$$Cv = (0,848 \times H^2)/t_{90}$$

$$Cv = (0,848 \times (39,954)^2)/4860$$

$$Cv = 0,279 \text{ cm}^2/\text{det}$$

Sedangkan Cv untuk t_{50}

$$Cv = (0,197 \times H^2)/t_{50}$$

$$Cv = (0,197 \times (39,977)^2)/1302$$

$$Cv = 0,242 \text{ cm}^2/\text{det}$$

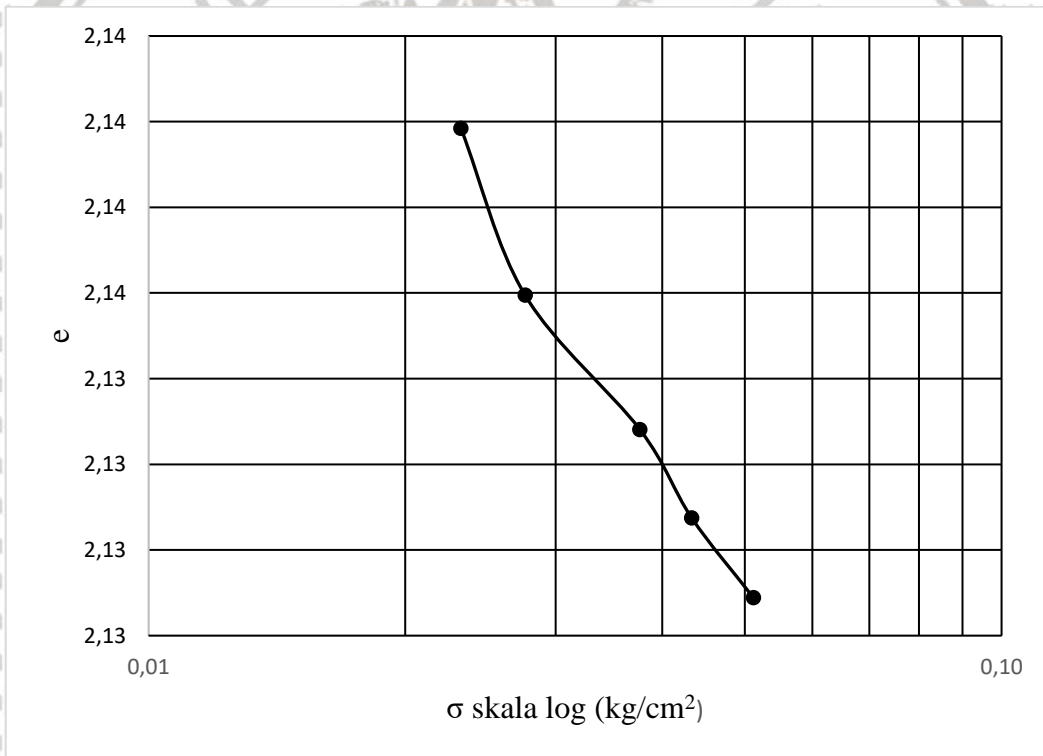
Kecepatan penurunan konsolidasi dapat dihitung dengan menggunakan koefisien Cv.

Koefisien konsolidasi berhubungan dengan berapa lama suatu perubahan tanah tertentu akan terjadi dan juga tingkat penurunan konsolidasi yang akan terjadi kedepannya.



Tabel 4.10. Nilai penurunan dan angka pori

Tegangan (kg/cm ²)	Penurunan, ΔH (cm)	$\Delta e = \Delta H /$ Ht(12,725 cm)	Angka Pori $e = e_0 - \Delta e$
0	0	0	2,143
0,0232	0,046	0,004	2,140
0,0276	0,095	0,007	2,136
0,0377	0,135	0,011	2,133
0,0433	0,161	0,013	2,131
0,0512	0,185	0,015	2,129



Gambar 4.8. Hubungan antara angka pori dan skala log tegangan

Untuk menghitung besarnya nilai C_c dengan menggunakan tabel 4.10.:



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

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

$$C_c = 0,05180$$

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

$$C_c = \frac{2,136 - 2,133}{\log \frac{0,0377}{0,0276}}$$

$$C_c = 0,02331$$

Dari perhitungan rata-rata Indeks kompresi (Cc) di dapatkan 0,038

Tabel 4.11. Nilai penurunan tanpa PVD

Hari	Penurunan tanpa PVD (mm)
1	0,456
2	0,952
3	1,3515
4	1,614
5	1,851

Tabel 4.12. Tegangan air pori

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



4.3.3. Percobaan Konsolidasi , Kadar air Dan Tegangan Air Pori Menggunakan PVD Pola Segitiga Variasi Kedalaman 25 cm

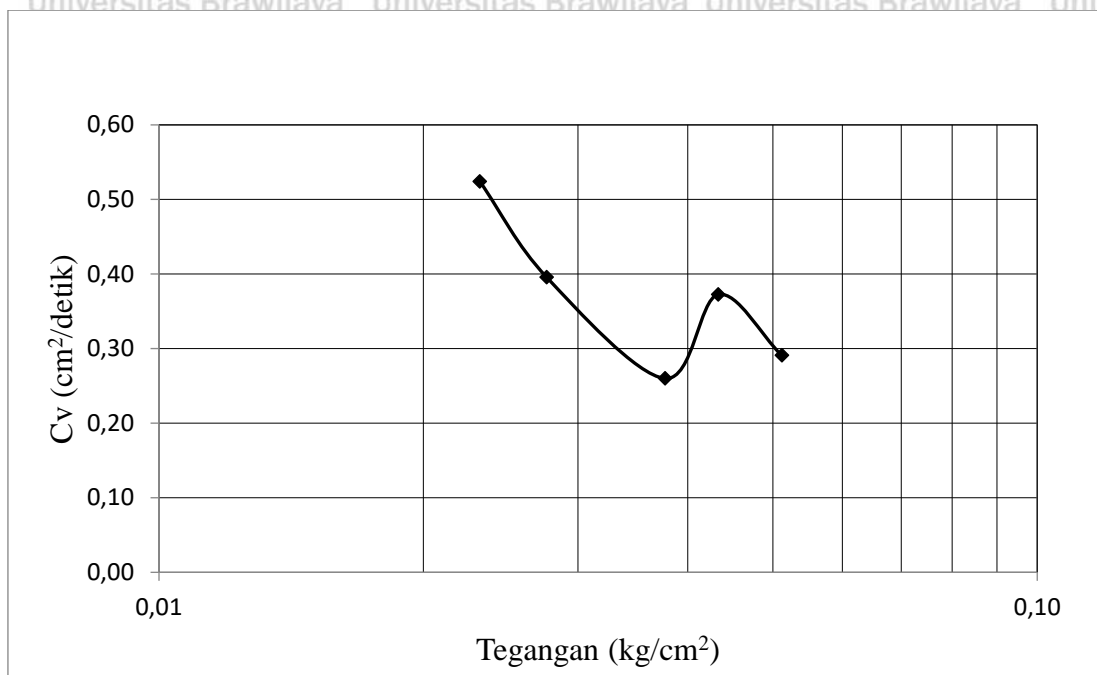
Tabel 4.13. Kadar Air

Pengujian kadar air	Kadar air (%)
Sebelum pembebanna	82
Setelah pembebanan	67,78

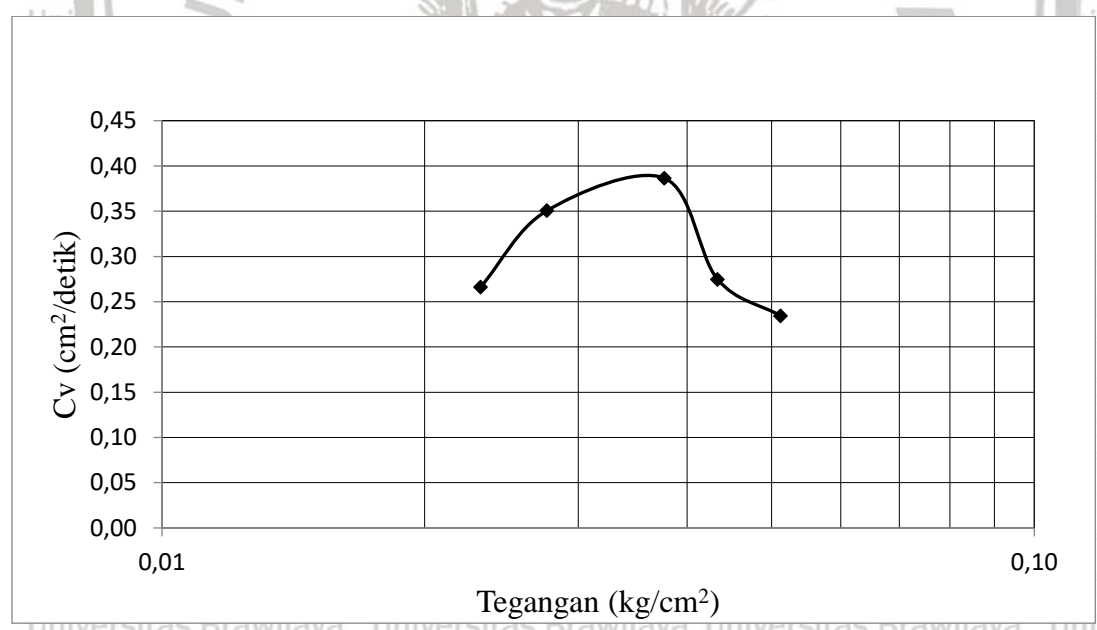
Tabel 4.14. Nilai koefisien konsolidasi Cv PVD dengan kedalaman 25 cm

Tegangan (kg/cm ²)	Cv (t ₅₀) (cm ² /det)	Cv (t ₉₀) (cm ² /det)
0,0232	0,5244	0,2662
0,0276	0,3957	0,3506
0,0377	0,2600	0,3864
0,0433	0,3726	0,2748
0,0512	0,2909	0,2345





Gambar 4.9. Hubungan tegangan dan C_v (t_{50})



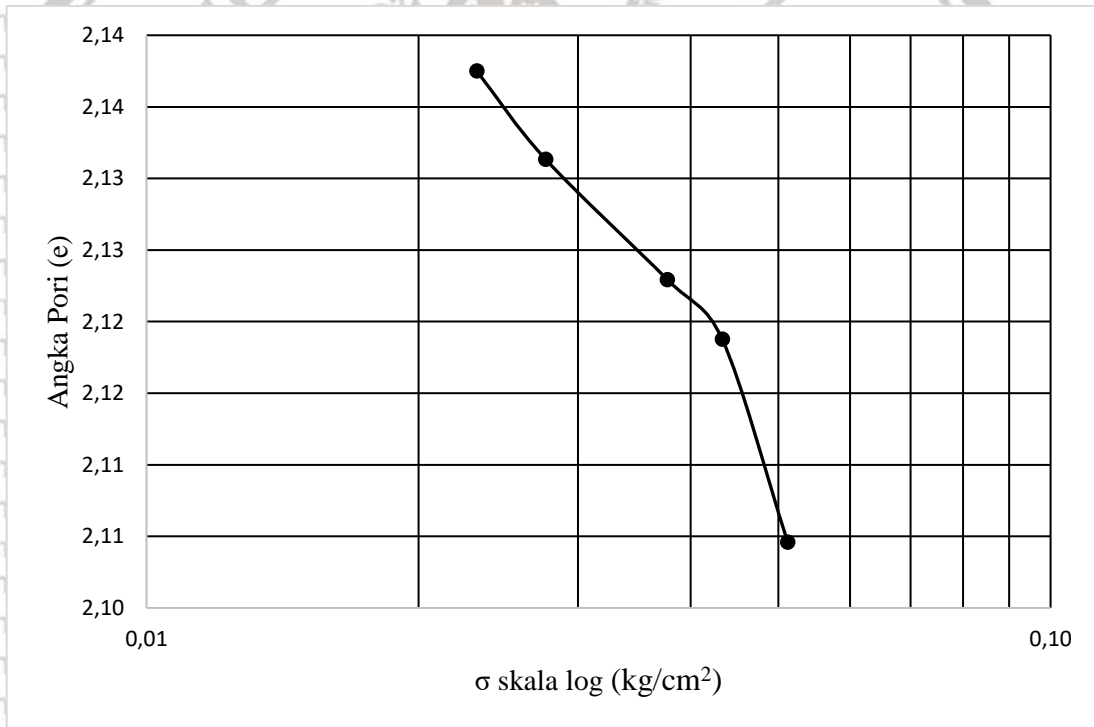
Gambar 4.10. Hubungan tegangan dan C_v (t_{90})

Kecepatan penurunan konsolidasi dapat dihitung dengan menggunakan koefisien C_v . Koefisien konsolidasi berhubungan dengan berapa lama suatu perubahan tanah tertentu akan terjadi dan juga tingkat penurunan konsolidasi yang akan terjadi kedepannya.

Tabel 4.15. Nilai penurunan dan angka pori

$$\Delta e = \frac{\Delta H}{H_t (12,725)}$$

Tegangan (kg/cm^2)	Penurunan, ΔH (cm)	Ht (12,725 cm)	Angka Pori (e)
0	0	0	2,143
0,0232	0,074	0,006	2,138
0,0276	0,153	0,012	2,131
0,0377	0,260	0,020	2,123
0,0433	0,313	0,025	2,119
0,0512	0,493	0,039	2,105



Gambar 4.11. Hubungan antara angka pori dan tegangan skala log

Untuk menghitung besarnya nilai Cc dengan menggunakan tabel 4.15. :

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

$$C_c = \frac{2,138 - 2,131}{\log \frac{0,0276}{0,0232}}$$

$$C_c = 0,0809$$

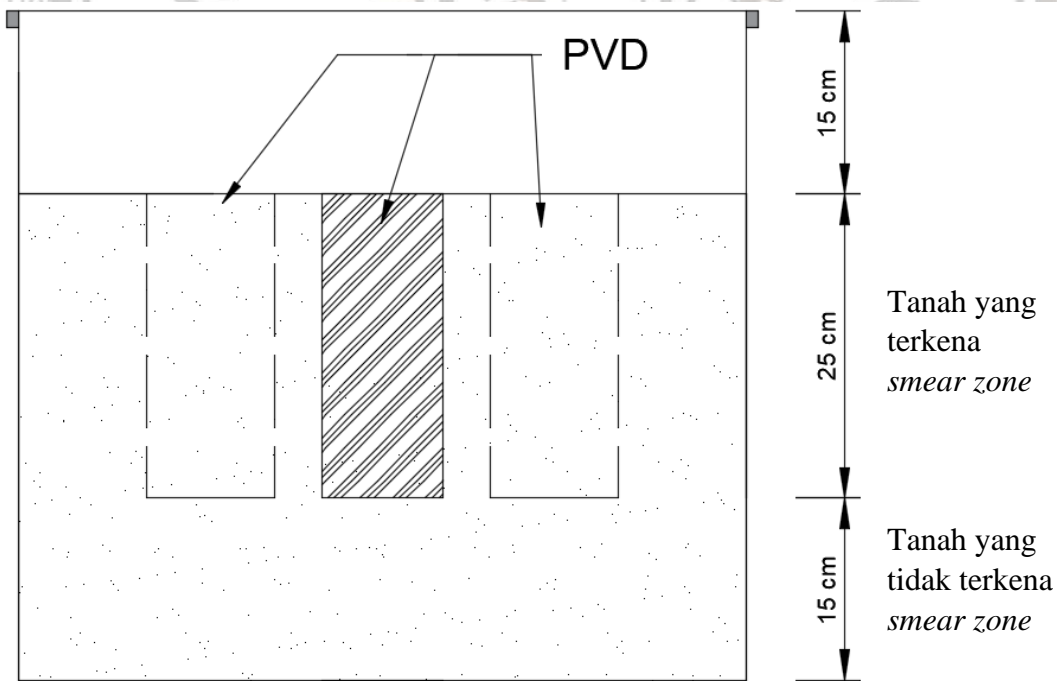
$$C_c = \frac{e_2 - e_3}{\log \frac{\sigma_3}{\sigma_2}}$$

$$C_c = \frac{2,131 - 2,123}{\log \frac{0,0377}{0,0276}}$$

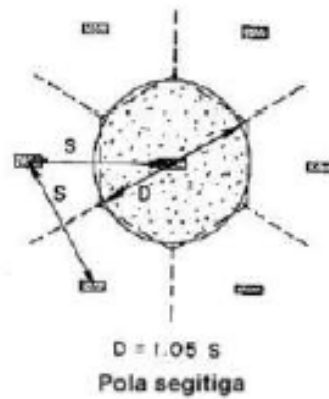
$$C_c = 0,0624$$

Dari perhitungan rata-rata Indeks kompresi (C_c) di dapatkan 0,072

Gangguan tanah akibat pemasangan PVD disebut sebagai gangguan efek dari pengotoran (*smear*), gangguan pada tanah lunak akan mengakibatkan berkurangnya koefisien permeabilitas dalam arah horizontal. Berikut merupakan perhitungan penurunan tanah akibat *smear zone*.



Gambar 4.12. Potongan melintang PVD pola segitiga kedalaman 25 cm



Gambar 4.13. Pola pemasangan segitiga sama sisi pada PVD

Desain PVD pola pemasangan segitiga:

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

$$D = 1,05 (s) = 1,05 \times 0,2 = 0,21 \text{ m}$$

$$a = 0,1 \text{ m}$$

$$b = 0,05 \text{ m}$$

$$\bullet \quad dw = \frac{a+b}{\pi} = \frac{0,1+0,05}{\pi} = 0,095 \text{ m}$$

$$\bullet \quad F(n) = \ln \frac{D}{dw} - 0,75 = \ln \frac{0,21}{0,095} - 0,75 = 0,0384$$

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

$$kh = 0,04261 \frac{\text{cm}}{\text{hari}}$$

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

$$Fs = 0,1153$$

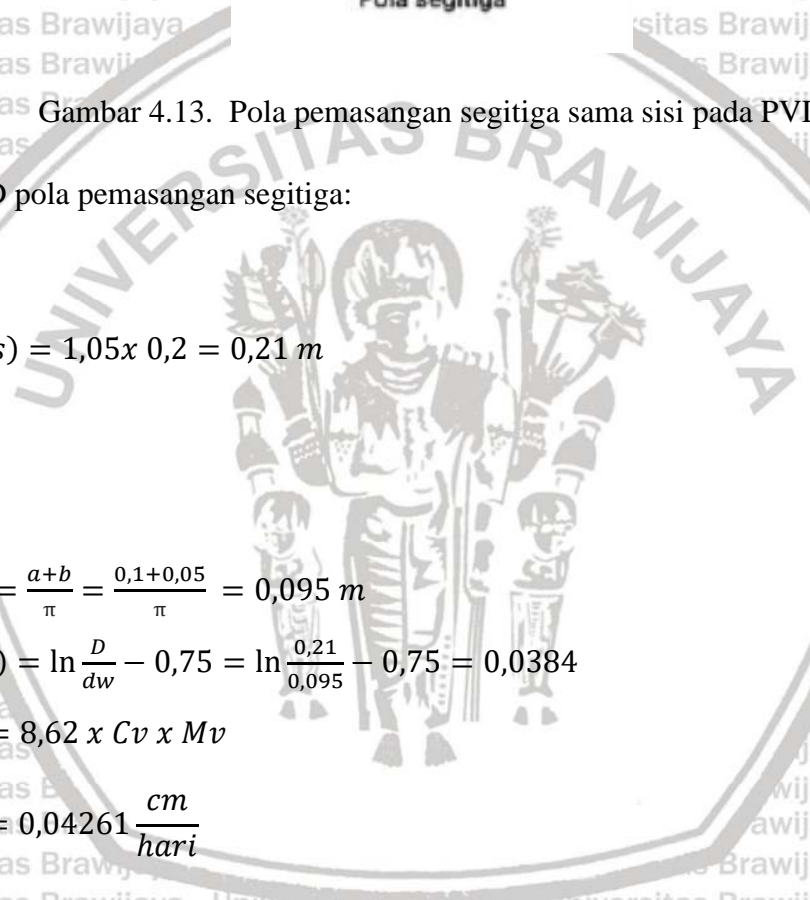
$$ks = 0,038 \text{ cm/hari}$$

$$\bullet \quad ds = 3 \times dw$$

$$ds = 0,286$$

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

$$rw = 0,047$$



- $rs = \frac{ds}{2}$

$rs = 0,1431$

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

$S = 3$

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

$m = 9,5474$

Tabel 4.16. Penurunan tanah untuk sampel PVD kedalaman 25 cm dengan mempertimbangkan *smear zone*

Waktu (hari)	Tinggi tanah laboratorium (mm)	Tv (tahun)	Uv	Th (tahun)	x	Uh	U(%)	St (mm)
1	24,926	0,178	0,476	0,501	0,424	0,345	65,67	3,236
2	24,8475	0,358	0,675	1,002	0,847	0,571	86,06	4,240
3	24,7405	0,541	0,830	1,502	1,271	0,719	95,23	4,692
4	24,6875	0,725	0,961	2,003	1,694	0,816	99,28	4,891
5	24,5073	0,919	1,082	2,504	2,118	0,880	100	4,975

Contoh perhitungan penurunan hari pertama :

Penurunan terakhir : 4,92 mm (data laboratorium)

$Cv_{rata-rata} = 0,3025$

$Tv = \frac{Cv \times t}{Ht^2} = \frac{0,3025 \times 1 \times 365}{24,926^2} = 0,178$

$Uv = \sqrt{\frac{4Tv}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,178}{\pi}} = 0,476$

$Th = \frac{Cvt}{4D^2} = \frac{0,3025 \times 1 \times 2 \times 365}{4 \left(0,21 \times \frac{1000}{2}\right)^2} = 0,501$

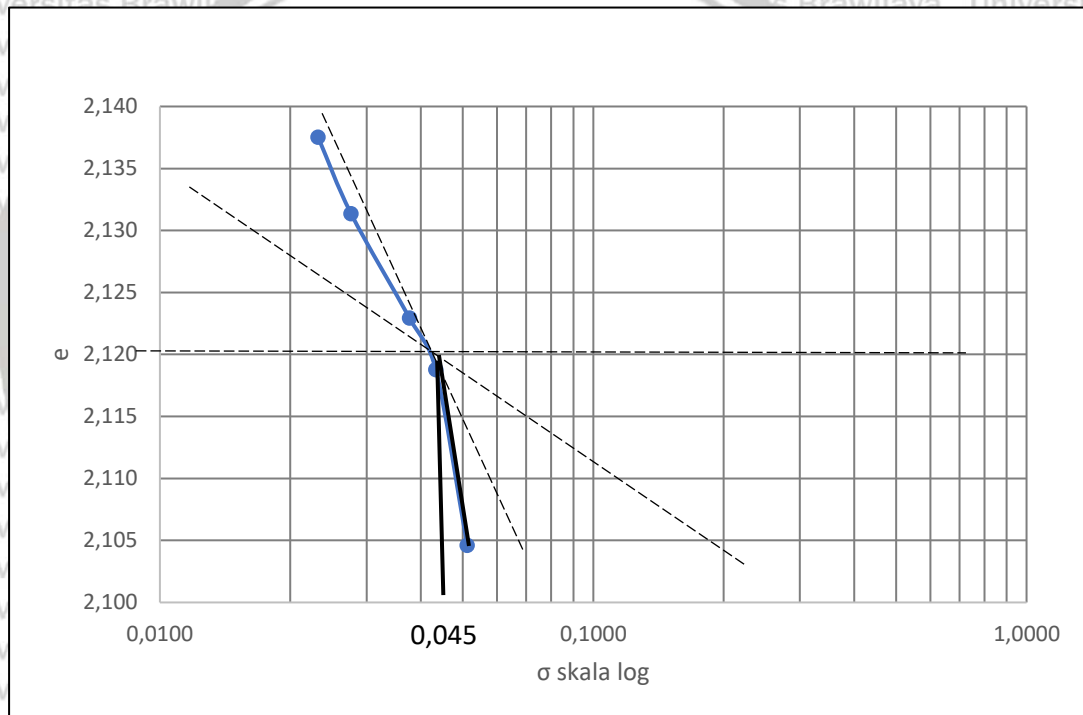
$$x = -\frac{8Th}{m} = -\frac{8 \times 0,501}{9,4574} = -0,424$$

$$U_h = 1 - e^x = 1 - e^{0,424} = 0,354$$

$$U = 1 - (1 - U_v)(1 - U_h) = 1 - (1 - 0,476)(1 - 0,345) = 65,67\%$$

$$St = U \times Sc_{akhir} = 65,67\% \times 4,92 \text{ mm} = 3,236 \text{ mm}$$

Untuk penurunan tanah yang tidak terkena efek *smear zone* dengan tinggi sampel tanah 15 cm, penurunan tanah akhir di hitung dengan cara sebagai berikut:



Gambar 4.14. Menentukan tekanan prakonsolidasi (σ'_{c}) dengan grafik hubungan e-long σ

Didapatkan tekanan prakonsolidasi sebesar $0,045 \text{ kg/cm}^2$

Diketahui :

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

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

$$\gamma_{\text{sat}} = 1485$$

$$\sigma' = 25 \times \gamma_{\text{sat}} + \gamma_{\text{sat}} \times \frac{H}{2}$$



$$= 25 \times 1485 + 1485 \times \frac{15}{2}$$

$$= 0,0482$$

Dikarenakan $\sigma'_{0'} > \sigma'_{c'}$ maka tanah termasuk dalam *normally consolidated*

Diketahui :

$$H = 15 \text{ cm}$$

$$e_0 = 2,143$$

$$Cc = 0,072$$

$$\sigma'_{0'} = 0,0482 \text{ kg/cm}^2$$

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

$$\sigma'_{1'} = \sigma'_{0'} + \Delta\sigma = 0,0482 + 0,0512$$

$$\sigma'_{1'} = 0,0994 \text{ kg/cm}^2$$

Maka :

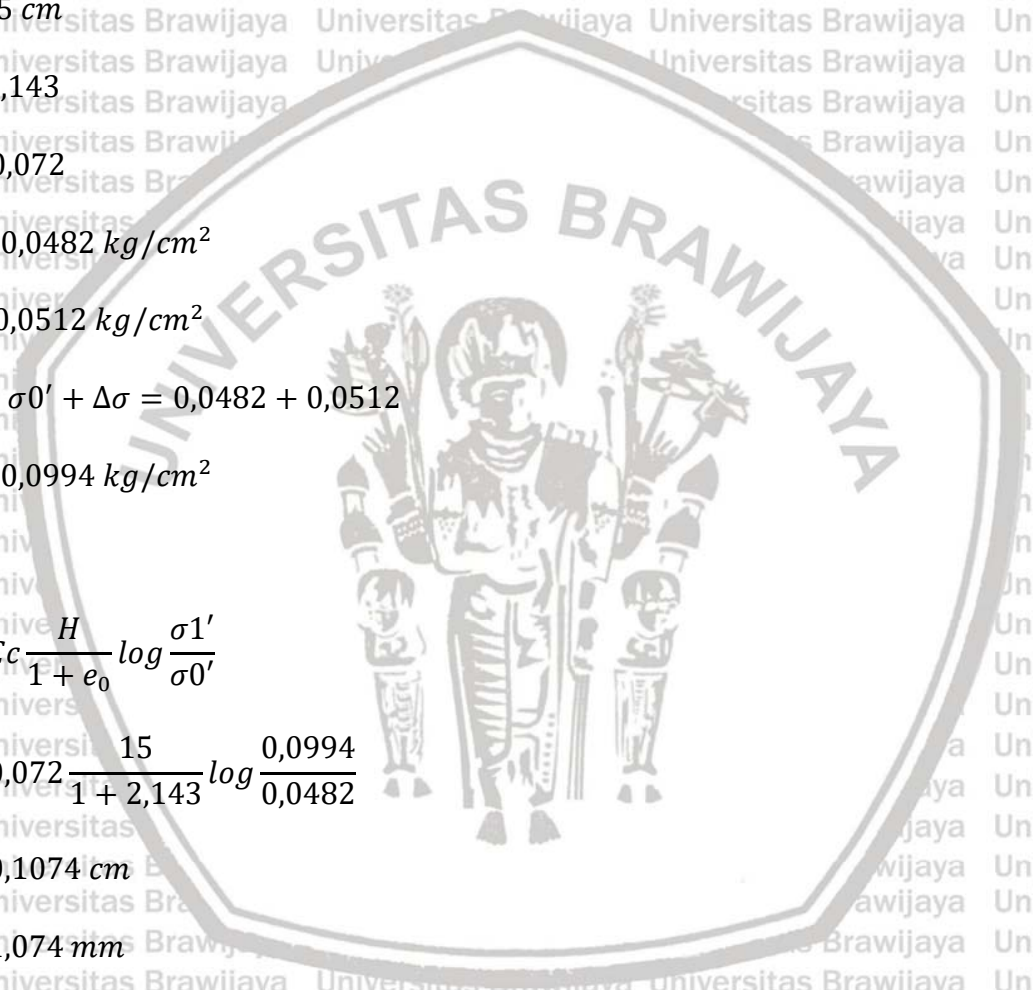
$$S_c = Cc \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_{1'}}{\sigma'_{0'}}$$

$$S_c = 0,072 \frac{15}{1 + 2,143} \log \frac{0,0994}{0,0482}$$

$$S_c = 0,1074 \text{ cm}$$

$$S_c = 1,074 \text{ mm}$$

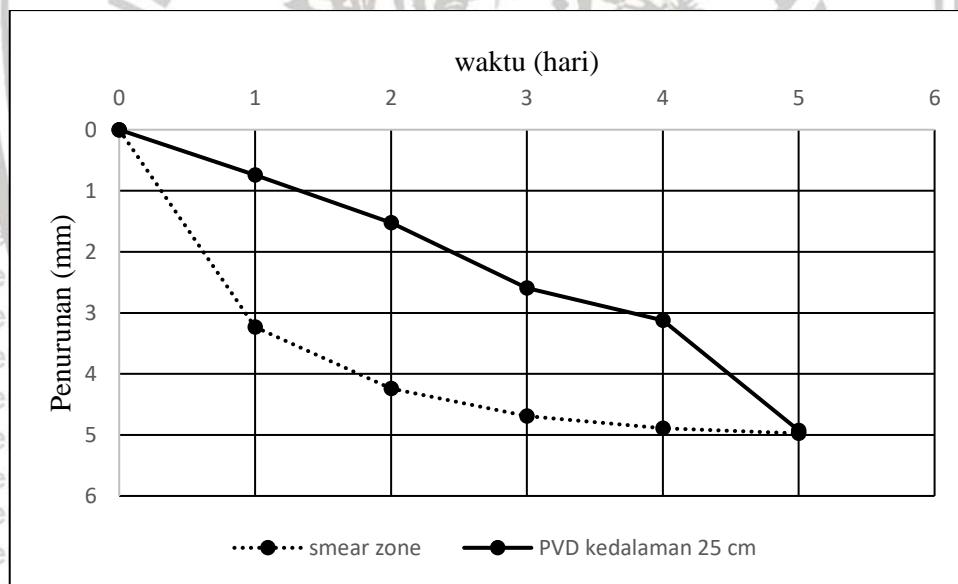
Jadi total penurunan pada tanah adalah penurunan terakhir *smear zone* (4,975 mm) ditambah dengan penurunan terzhagi (1,074 mm) sebesar 6,049 mm



Tabel 4.17. Hasil penurunan sampel tanah menggunakan PVD kedalaman 25 cm untuk

penurunan data laboratorium dan Penurunan dengan pertimbangan *smear zone*

Hari	Penurunan sampel tanah data laboratorium (mm)	Penurunan sampel tanah dengan mempertimbangkan <i>smear zone</i> (mm)
1	0,740	3,236
2	1,525	4,240
3	2,595	4,692
4	3,125	4,891
5	4,927	4,975



Gambar 4.15. Grafik penurunan sampel tanah menggunakan PVD kedalaman 25 cm untuk penurunan data laboratorium dan Penurunan dengan pertimbangan *smear zone*

Tabel 4.18. Tegangan air pori

Hari	Tegangan air pori (kg/cm^2)
1	0,01064
2	0,00546
3	0,00198
4	0,00033
5	0

4.3.4. Percobaan Konsolidasi, Kadar air Dan Tegangan Air Pori Menggunakan PVD Pola Segitiga Variasi Kedalaman 30 cm

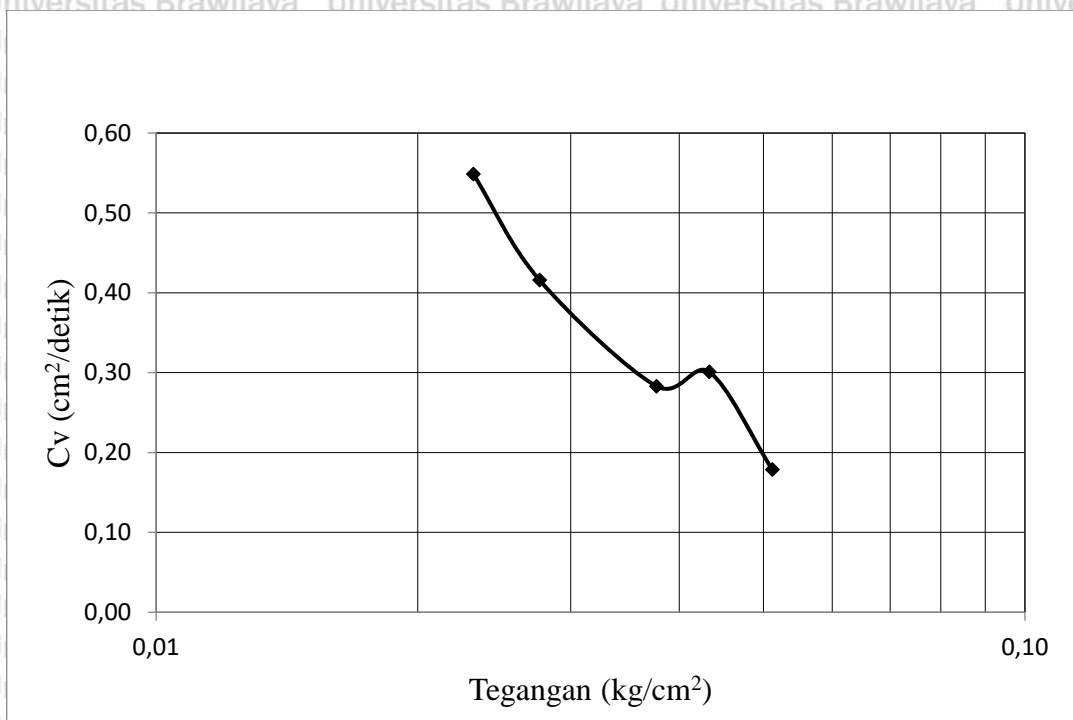
Tabel 4.19. Kadar air

Pengujian kadar air	Kadar air (%)
Sebelum pembebanna	83,09
Setelah pembebanan	65,588

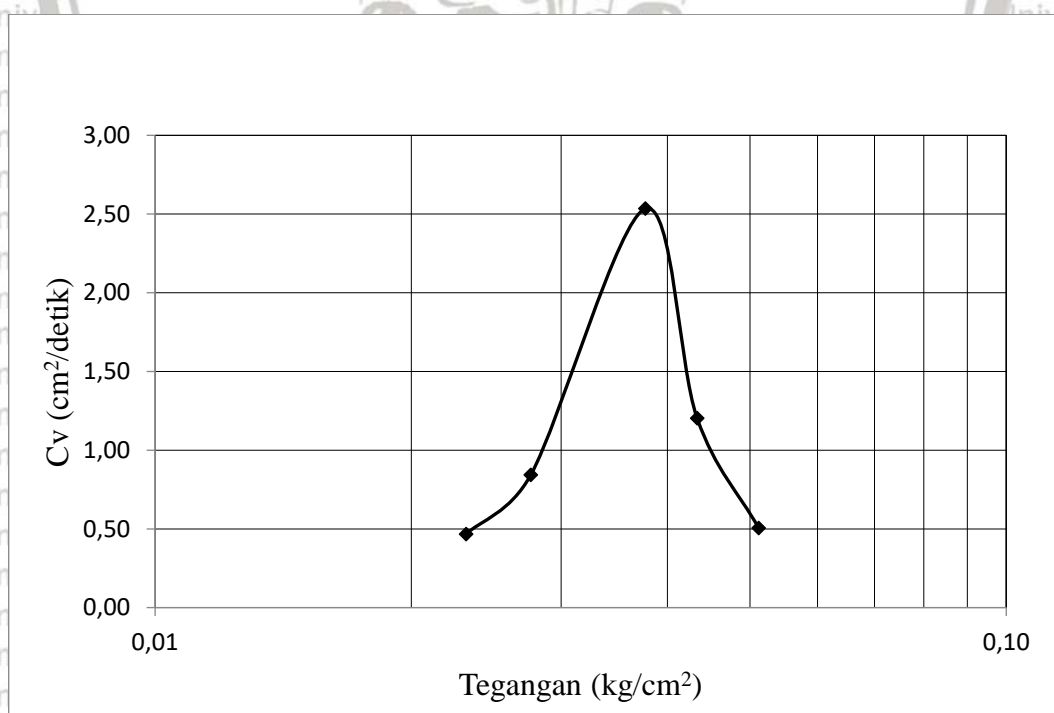
Tabel 4.20. Nilai koefisien konsolidasi Cv PVD dengan kedalaman 30 cm

Tegangan (kg/cm^2)	Cv (t_{50}) (cm^2/det)	Cv (t_{90}) (cm^2/det)
0,0232	0,5486	0,4674
0,0276	0,4158	0,8429
0,0377	0,2830	2,5344
0,0433	0,3009	1,2030
0,0512	0,1788	0,5048





Gambar 4.16. Hubungan tegangan dan Cv (t_{50})



Gambar 4.17. Hubungan tegangan dan Cv (t_{90})

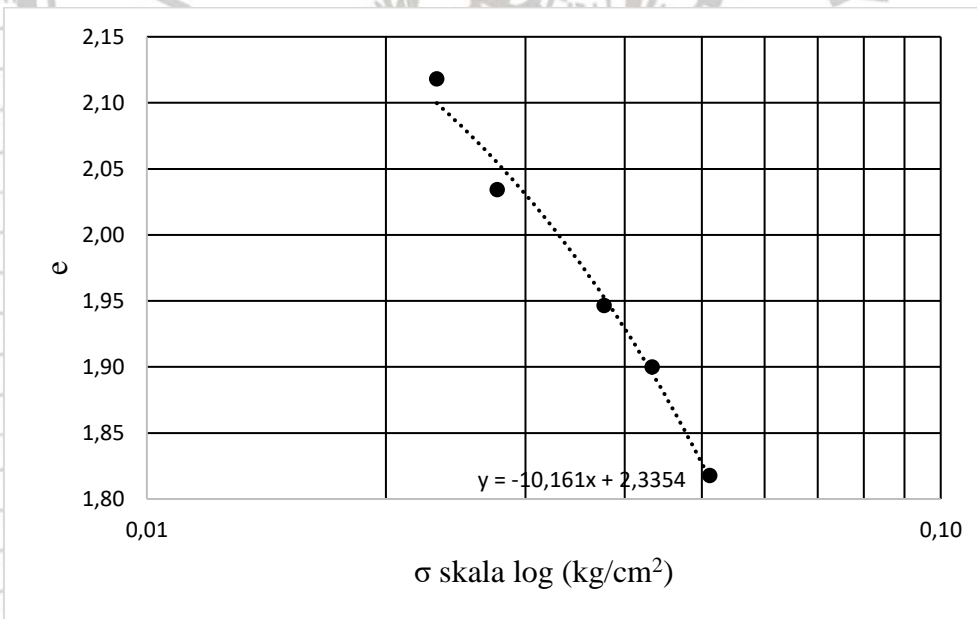


Kecepatan penurunan konsolidasi dapat dihitung dengan menggunakan koefisien C_v .

Koefisien konsolidasi berhubungan dengan berapa lama suatu perubahan tanah tertentu akan terjadi dan juga tingkat penurunan konsolidasi yang akan terjadi kedepannya.

Tabel 4.21. Nilai penurunan dan angka pori

Tegangan (kg/cm^2)	Penurunan, ΔH (cm)	$\Delta e = \Delta H / H_t$ (12,725 cm)	Angka Pori (e)
0,0232	0,321	0	2,118
0,0276	1,387	0,025	2,034
0,0377	2,505	0,109	1,947
0,0433	3,097	0,197	1,900
0,0512	4,142	0,243	1,818



Gambar 4.18. Hubungan antara angka pori dan tegangan skala log

Dari persamaan $y = -9,4199x + 2,2779$ maka didapatkan nilai angka pori sebagai berikut :



Tabel 4.22. Nilai tegangan dan angka pori

Waktu (Hari)	Tegangan (kg/m ²)	Angka pori
1	0,0232	2,099
2	0,0276	2,054
3	0,0377	1,9929

Untuk menghitung besarnya nilai Cc dengan menggunakan tabel 4.22.:

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

$$Cc = \frac{2,099 - 2,054}{\log \frac{0,0276}{0,0232}}$$

$$Cc = 0,59$$

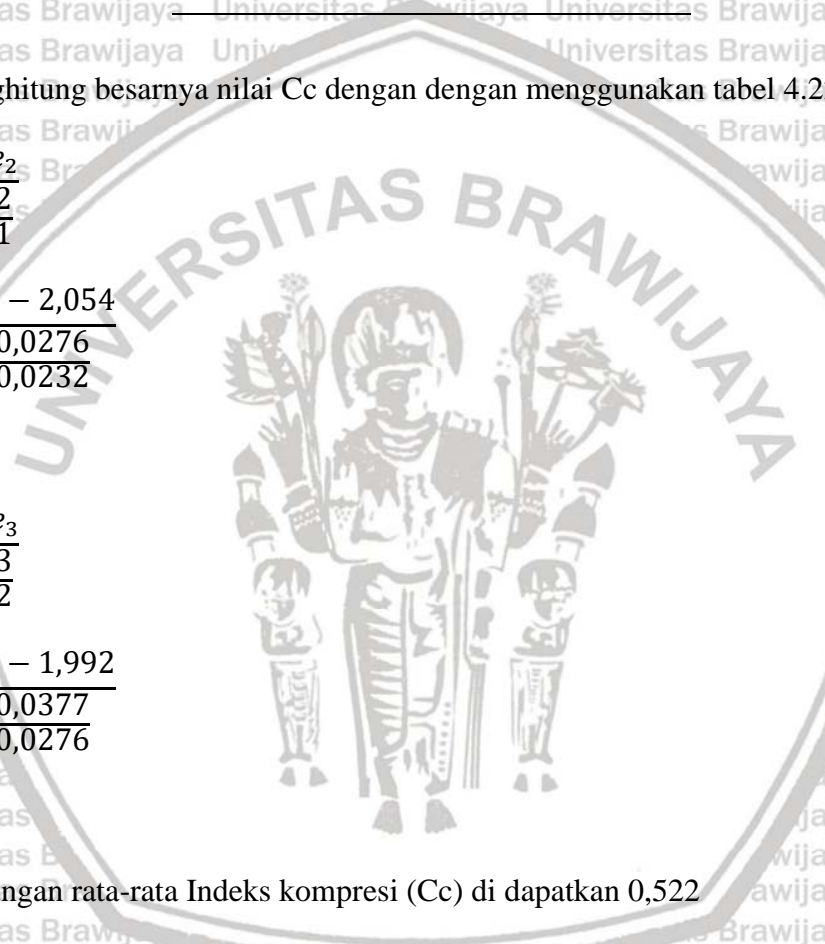
$$Cc = \frac{e_2 - e_3}{\log \frac{\sigma_3}{\sigma_2}}$$

$$Cc = \frac{2,054 - 1,992}{\log \frac{0,0377}{0,0276}}$$

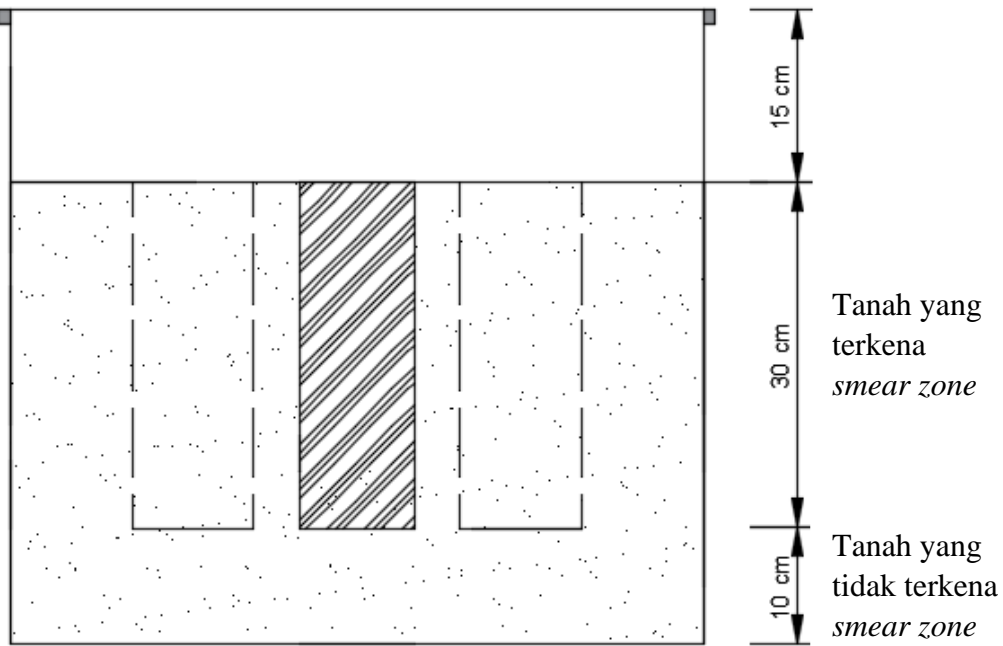
$$Cc = 0,453$$

Dari perhitungan rata-rata Indeks kompresi (Cc) di dapatkan 0,522

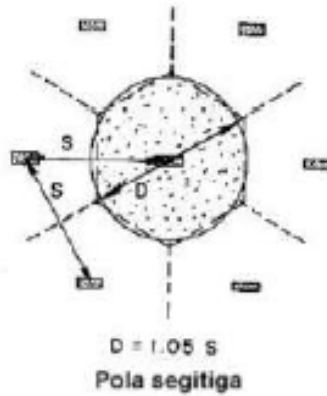
Gangguan tanah akibat pemasangan PVD disebut sebagai gangguan efek dari pengotoran (*smear*), gangguan pada tanah lunak akan mengakibatkan berkurangnya koefisien



permeabilitas dalam arah horizontal. Berikut merupakan perhitungan penurunan.



Gambar 4.19. Potongan melintang PVD pola segitiga kedalaman 30 cm



Gambar 4.20. Pola pemasangan segitiga sama sisi pada PVD

Desain PVD pola pemasangan segitiga:

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

$$D = 1,05 (s) = 1,05 \times 0,2 = 0,21$$

$$a = 0,1 \text{ m}$$

$$b = 0,05 \text{ m}$$

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

- $F(n) = \ln \frac{D}{dw} - 0,75 = \ln \frac{0,21}{0,095} - 0,75 = 0,0384$

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

$$kh = 0,04261 \frac{\text{cm}}{\text{hari}}$$

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

$$Fs = 0,1153$$

$$ks = 0,038 \text{ cm/hari}$$

- $ds = 3 \times dw$

$$ds = 0,286$$

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

$$rw = 0,047$$

- $rs = \frac{ds}{2}$

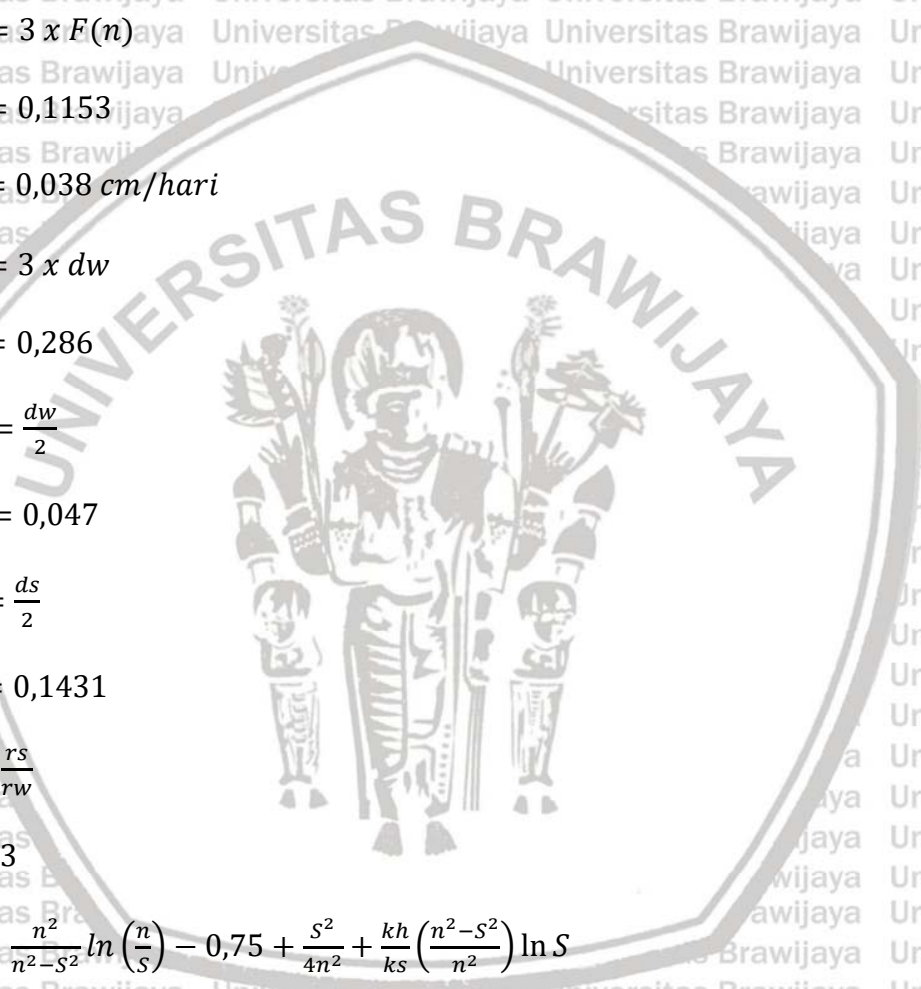
$$rs = 0,1431$$

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

$$S = 3$$

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

$$m = 9,5474$$



Tabel 4.23. Penurunan tanah untuk sampel PVD kedalaman 30 cm dengan mempertimbangkan *smear zone*

Waktu (hari)	Tinggi tanah laboratorium (cm)	Tv (tahun)	Uv	Th (tahun)	x	Uh	U (%)	St (mm)
1	29,679	0,460	0,765	1,838	1,555	0,789	95,0	39,366
2	28,614	0,990	1,123	3,676	3,110	0,955	100	41,645
3	27,495	1,609	1,431	5,515	4,665	0,991	100	41,586
4	26,903	2,240	1,689	7,353	6,220	0,998	100	41,475
5	25,858	3,031	1,964	9,191	7,775	1,000	100	41,435

Contoh perhitungan penurunan hari pertama :

$$\text{Penurunan akhir} = 41,418 \text{ mm (data laboratorium)}$$

$$Cv_{rata-rata} = 1,11$$

$$Tv = \frac{Cv \times t}{Ht^2} = \frac{1,11 \times 1 \times 365}{29,679^2} = 0,460$$

$$Uv = \sqrt{\frac{4Tv}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,460}{\pi}} = 0,765$$

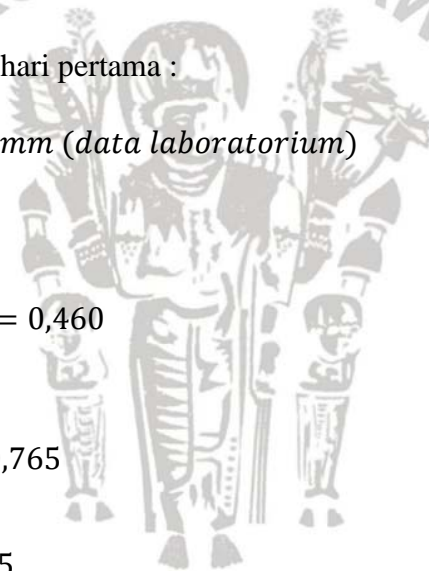
$$Th = \frac{Cvt}{4D^2} = \frac{1,11 \times 1 \times 2 \times 365}{4 \left(0,21 \times \frac{1000}{2}\right)^2} = 1,838$$

$$x = -\frac{8Th}{m} = -\frac{8 \times 1,838}{9,4574} = -1,555$$

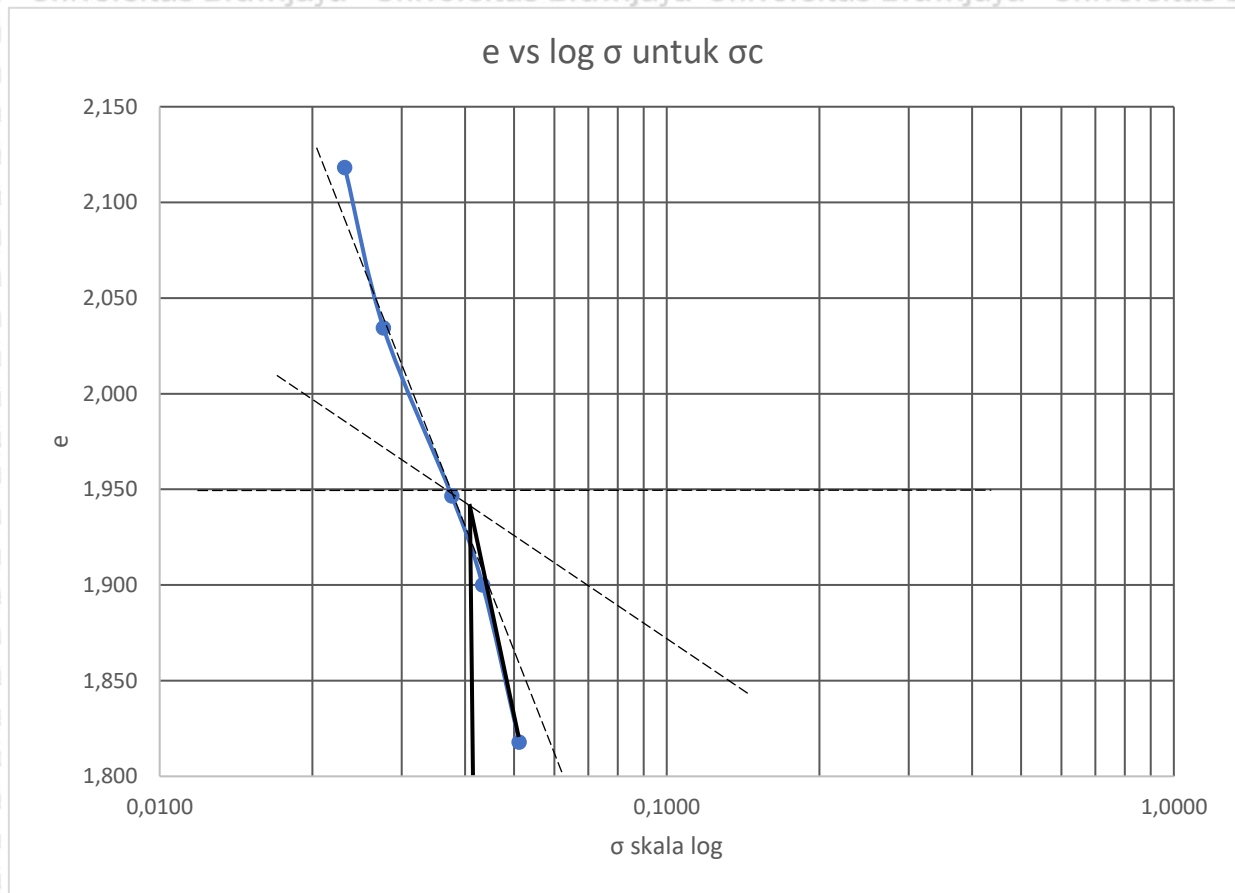
$$Uh = 1 - e^x = 1 - e^{1,555} = 0,789$$

$$U = 1 - (1 - Uv)(1 - Uh) = 1 - (1 - 0,765)(1 - 0,789) = 95\%$$

$$St = U \times Sc_{akhir} = 95\% \times 41,418 = 39,366 \text{ mm}$$



Untuk penurunan tanah yang tidak terkena efek *smear zone* dengan tinggi sampel tanah 10 cm, penurunan tanah akhir di hitung dengan cara sebagai berikut:



Gambar 4.21. Menentukan tekanan prakonsolidasi (σ'_c) dengan grafik hubungan e-long σ

Didapatkan tekanan prakonsolidasi sebesar $0,041 \text{ kg/cm}^2$

Diketahui :

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

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

$$\gamma_{\text{sat}} = 1485$$

$$\sigma'_0 = 30 \times \gamma_{\text{sat}} + \gamma_{\text{sat}} \times \frac{H}{2}$$

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

$$= 0,05197$$

Dikarenakan $\sigma'_0 > \sigma'_c$ maka tanah termasuk dalam *normally consolidated*

Diketahui :

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

$$e_0 = 2,143$$

$$Cc = 0,522$$

$$\sigma_0' = 0,05197 \text{ kg/cm}^2$$

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

$$\sigma_1' = \sigma_0' + \Delta\sigma = 0,05197 + 0,0512$$

$$\sigma_1' = 0,10317 \text{ kg/cm}^2$$

Maka :

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

$$Sc = 0,522 \frac{10}{1 + 2,143} \log \frac{0,10317}{0,05197}$$

$$Sc = 0,4945 \text{ cm}$$

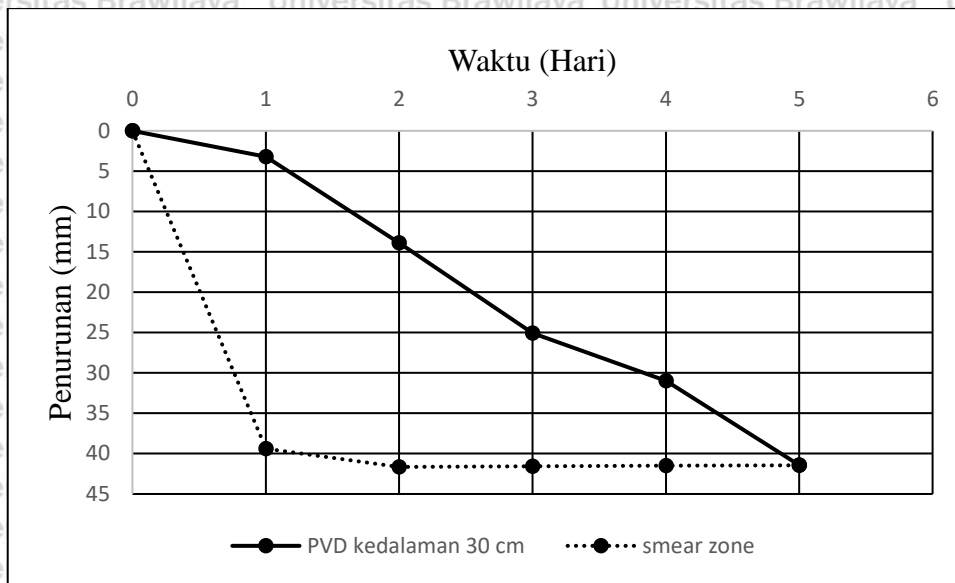
$$Sc = 4,945 \text{ mm}$$

Jadi total penurunan pada tanah adalah penurunan terakhir *smear zone* (41,435 mm) di tambah dengan penurunan Terzaghi (4,945 mm) sebesar 46,38 mm

Tabel 4.24. Hasil penurunan sampel tanah menggunakan PVD kedalaman 30 cm untuk penurunan data laboratorium dan Penurunan dengan pertimbangan *smear zone*

Hari	Penurunan sampel tanah data laboratorium (mm)	Penurunan sampel tanah dengan mempertimbangkan <i>smear zone</i> (mm)
1	3,2100	39,366
2	13,8650	41,645
3	25,0510	41,586
4	30,9680	41,475
5	41,4180	41,435





Gambar 4.22. Grafik penurunan PVD kedalaman 30 cm dan Penurunan dengan pertimbangan smear zone

Tabel 4.25. Besar tekanan air pori

Hari	Tekanan air pori (kg/cm ²)
1	0
2	0,001258
3	0
4	0
5	0

4.3.5. Percobaan Konsolidasi, Kadar Air Dan Tegangan Air Pori Menggunakan PVD pola segitiga Variasi Kedalaman 40 cm

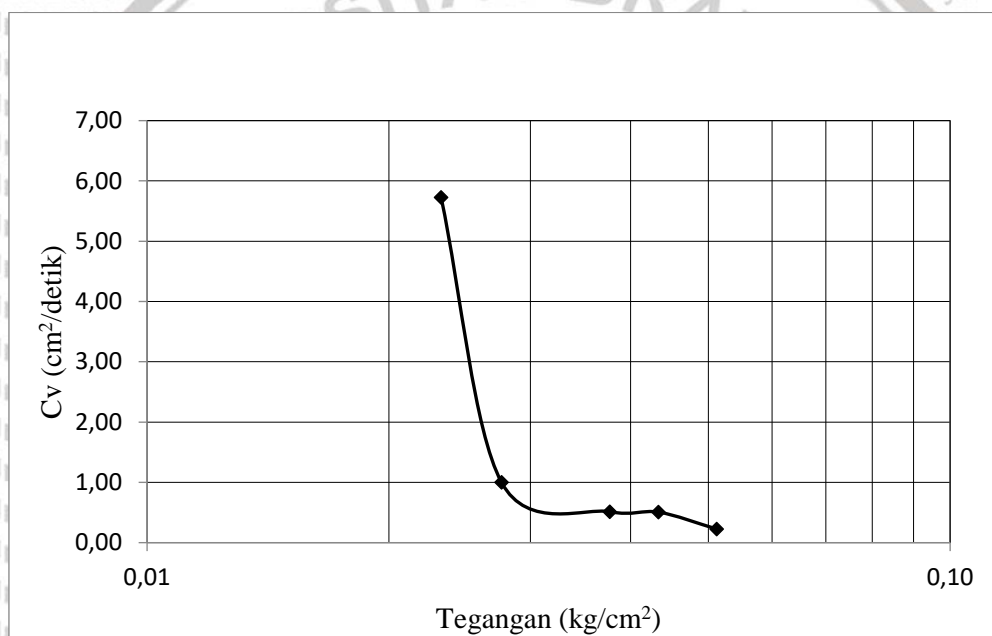
Tabel 4. 26 Kadar air

Pengujian kadar air	Kadar air (%)
Sebelum pembebanan	82,21
Setelah pembebanan	64,305

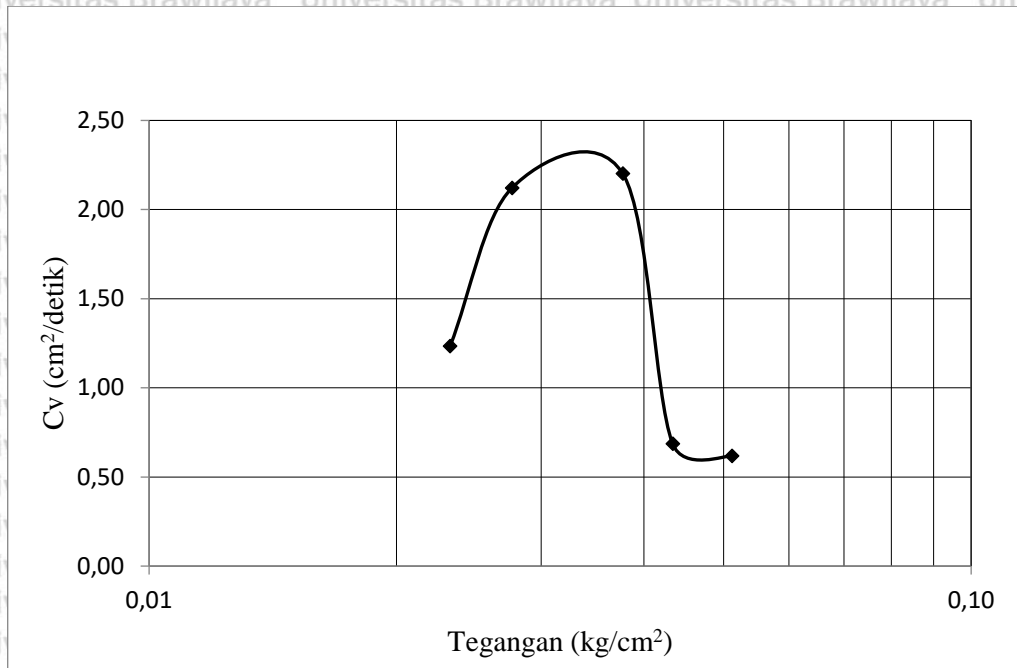


Tabel 4.27. Nilai koefisien konsolidasi Cv PVD dengan kedalaman 40 cm

Tegangan (kg/cm^2)	$C_v(t_{50})$ ($cm^2/detik$)	$C_v(t_{90})$ ($cm^2/detik$)
0,0232	5,7261	1,2334
0,0276	0,9987	2,1213
0,0377	0,5132	2,2021
0,0433	0,5066	0,6867
0,0512	0,2273	0,6180



Gambar 4.23. Hubungan tegangan dan $C_v(t_{50})$

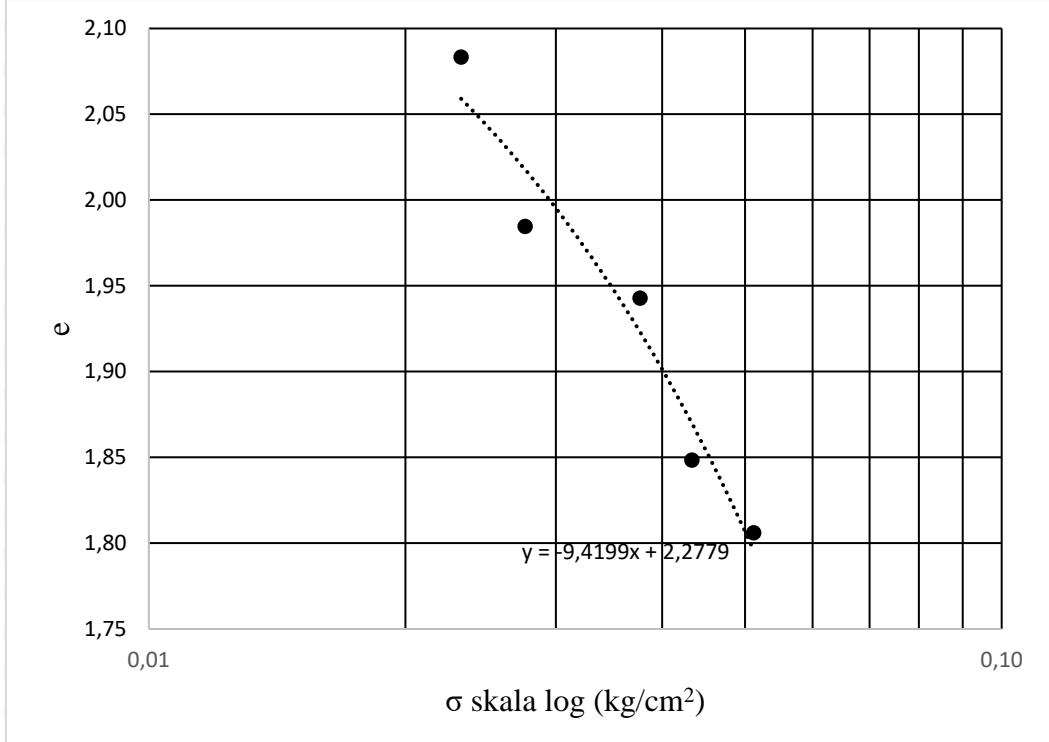


Gambar 4.24. Hubungan tegangan dan Cv (t_{90})

Kecepatan penurunan konsolidasi dapat dihitung dengan menggunakan koefisien Cv. Koefisien konsolidasi berhubungan dengan berapa lama suatu perubahan tanah tertentu akan terjadi dan juga tingkat penurunan konsolidasi yang akan terjadi kedepannya.

Tabel 4.28. Nilai penurunan laboratorium dan angka pori

Tegangan (kg/cm^2)	Penurunan, ΔH (cm)	$\Delta e = \Delta H / H_t$ (12,725 cm)	Angka Pori (e)
0,0232	0,764	0	2,083
0,0276	2,022	0,060	1,985
0,0377	2,553	0,159	1,943
0,0433	3,754	0,201	1,848
0,0512	4,293	0,295	1,806



Gambar 4.25. Hubungan antara angka pori dan tegangan skala log

Dari persamaan $y = -9,4199x + 2,2779$ maka didapatkan nilai angka pori sebagai berikut :

Tabel 4.29. Nilai tegangan dan angka pori

Waktu (Hari)	Tegangan (kg/m²)	Angka pori
1	0,0232	2,059
2	0,0276	2,017
3	0,0377	1,922

Untuk menghitung besarnya nilai C_c dengan menggunakan tabel 4.27 :

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

$$C_c = \frac{2,059 - 2,017}{\log \frac{0,0276}{0,0232}}$$

$$C_c = 0,558$$



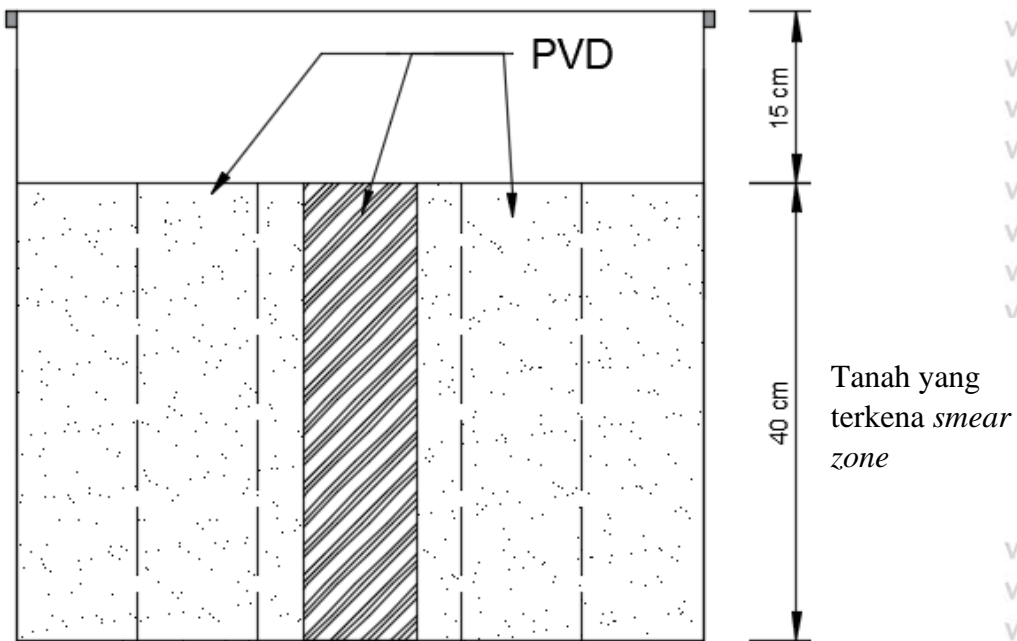
$$Cc = \frac{e_2 - e_3}{\log \frac{\sigma_3}{\sigma_2}}$$

$$Cc = \frac{2.017 - 1.922}{\log \frac{0,0377}{0,0276}}$$

$$Cc = 0,705$$

Dari perhitungan rata-rata Indeks kompresi (Cc) di dapatkan 0,631

Gangguan tanah akibat pemasangan PVD disebut sebagai gangguan efek dari pengotoran (*smear*), gangguan pada tanah lunak akan mengakibatkan berkurangnya koefisien permeabilitas dalam arah horizontal. Berikut merupakan perhitungan penurunan tanah akibat *smear zone*



Gambar 4.26. Potongan melintang PVD pola segitiga kedalaman 40 cm

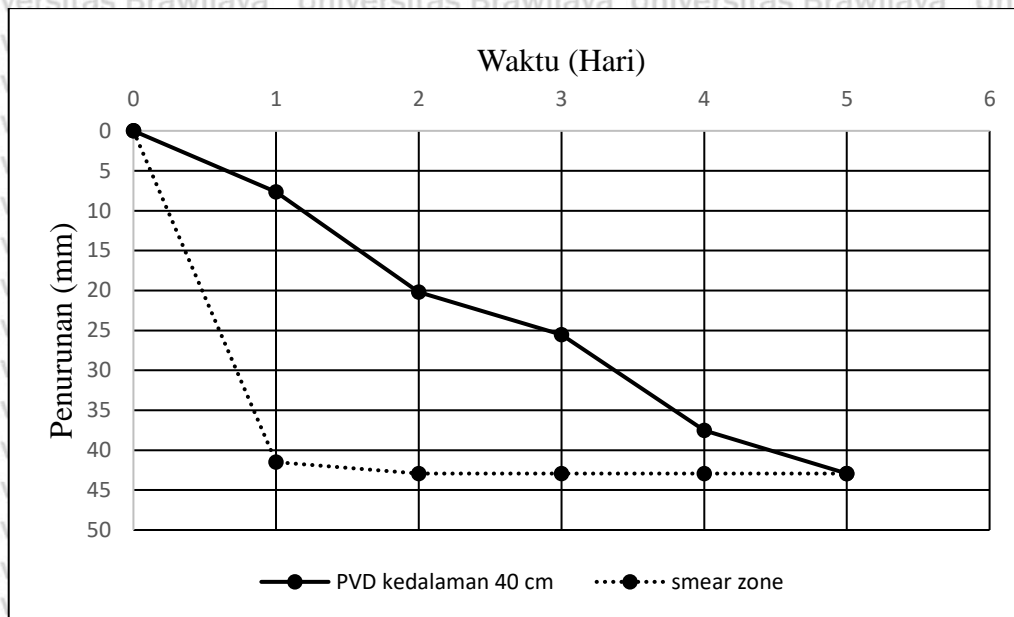
Tabel 4.30. Penurunan tanah untuk sampel PVD kedalaman 40 cm dengan mempertimbangkan *smear zone*

Tinggi sampel tanah (cm)	Tv (tahun)	Uv	Th (tahun)	X	Uh	U(%)	St (mm)
1	39,236	0,378	0,694	2,639	2,232	0,893	96,7
2	37,9785	0,807	1,014	5,278	4,465	0,988	100
3	37,4474	1,245	1,259	7,918	6,697	0,999	100
4	36,2459	1,772	1,502	10,557	8,930	1,000	100
5	35,7074	2,282	1,705	13,196	11,162	1,000	100

Tabel 4.31. Hasil penurunan sampel tanah menggunakan PVD kedalaman 40 cm untuk penurunan data laboratorium dan Penurunan dengan pertimbangan *smear zone*

Hari	Penurunan sampel tanah data laboratorium (mm)	Penurunan sampel tanah dengan mempertimbangkan <i>smear zone</i> (mm)
1	3,210	41,516
2	13,865	42,926
3	25,051	42,926
4	30,968	42,926
5	41,418	42,926





Gambar 4.27. Grafik penurunan PVD kedalaman 30 cm dan Penurunan dengan pertimbangan *smear zone*

Tabel 4.32. Tegangan air pori

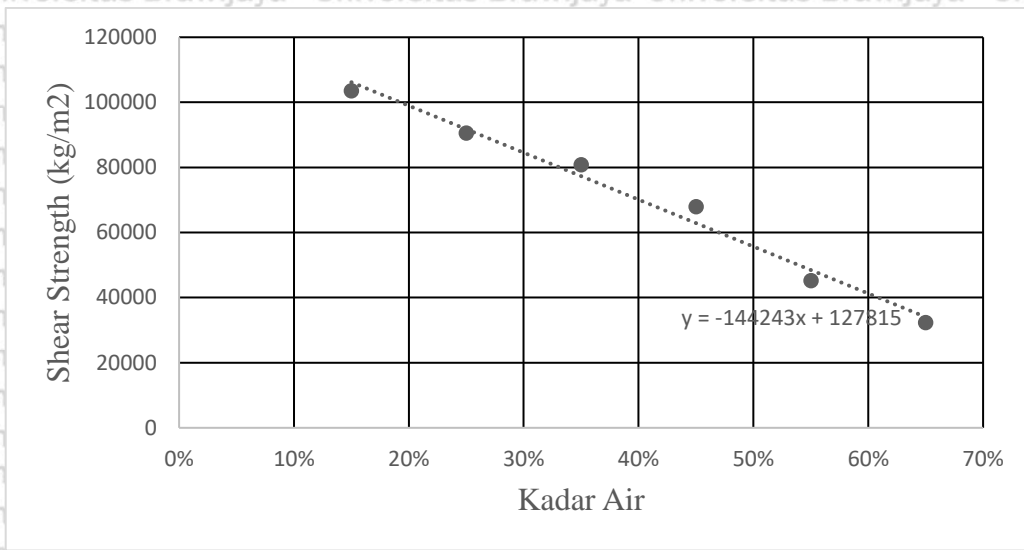
Hari	Tegangan air pori (kg/cm^2)
1	0,000624107
2	0
3	0
4	0
5	0

4.4. Percobaan Vane Shear

4.4.1. Percobaan Vane Shear sampel tanpa PVD

Percobaan *vane shear* sebelum pembebanan dilakukan terhadap tanah lunak dengan variasi kadar air awal adalah 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, dan 65%. Lalu, dari variasi kadar air didapatkan derajat pembacaan alat vane shear yang nantinya akan dikalibrasi untuk memperoleh harga torsi. Selanjutnya, dengan rumus vane shear didapatkan harga kuat geser

tanah untuk masing-masing variasi kadar air dan diplot dalam grafik hubungan antara kadar air dan kuat geser tanah.



Gambar 4.28. Hubungan Kadar Air Terhadap Kuat Geser Tanah dengan Variasi Kadar Air

Dari gambar 4.28. didapatkan rumus dari grafik $y = -144243(x) + 127815$.

Dengan menggunakan rumus ini, maka akan mendapatkan nilai kuat geser tanah sebelum pembebanan dengan kadar air 82%.

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

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

$$y = 9543,2$$

Maka didapatkan nilai kuat geser tanah sebelum pembebanan dengan kadar air 82% sebesar 9543,2 kg/m².

Pengujian vane shear setelah pembebanan dilakukan untuk mengetahui besar kuat geser dari sampel tanah setelah pembebanan. Pengujian ini dilakukan pada sampel tanah setelah selesai dilakukan pembebanan selama 5 hari. Pengujian ini dilakukan dengan memasukkan kipas dan batang alat ke dalam sampel tanah dengan kedalaman paling sedikit tiga kali diameter lubang bor, kemudian kecepatan rotasi harus dalam interval 6° sampai dengan 12° per menit. Berikut tabel besar kuat geser pada tanah tanpa PVD :



Tabel 4.33. Besar Kuat Geser (Su) pada Tanah tanpa PVD

Titik	Derajat	Torsi	Shear Strenght (kg/m2)
1	1	0,00009	3236,215
2	2	0,00018	6472,430
3	1	0,00009	3236,215
Rata-rata			4314,953

Berikut contoh perhitungan uji vane shear pada tanah tanpa PVD:

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

D=13,1mm = 0,0131m

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

$$Su = \left(\frac{0,000018}{3,14 \left(\frac{0,0131^2 \times 0,1}{2} + \frac{0,0131^3}{6} \right)} \right) \times 1000$$

$$Su = 3236.215 \text{ kg/m}^2$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan nilai kuat geser tanah tanpa PVD pada titik percobaan 2 sebesar 6472,430 kg/m².

4.4.2. Percobaan Vane Shear pada PVD Pola Segitiga Dengan Variasi Kedalaman 25 cm

Tabel 4.34. Besar Kuat Geser (Su) pada PVD kedalaman 25 cm

Titik	Derajat	Torsi	Shear Strenght (kg/m2)
1	5	0,00046	16181,07
2	4,5	0,00041	14562,97
3	4	0,00036	12944,86
Rata-rata			14562,97



Berikut contoh perhitungan uji vane shear pada tanah tanpa PVD:

$$\begin{aligned} \text{Spesifikasi Vane} &: H=10\text{cm} = 0,1\text{m} \\ &D=13,1\text{mm} = 0,0131\text{m} \end{aligned}$$

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

$$Su = \left(\frac{0,00046}{3,14 \left(\frac{0,0131^2 \times 0,1}{2} + \frac{0,0131^3}{6} \right)} \right) \times 1000$$

$$Su = 16181,07 \text{ kg/m}^2$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan nilai kuat geser tanah tanpa PVD pada titik percobaan 1 sebesar 16181,07kg/m².

4.4.3. Percobaan Vane Shear pada PVD Pola Segitiga Dengan Variasi Kedalaman 30 cm

Tabel 4.35. Besar Kuat Geser (Su) pada PVD kedalaman 30

Titik	Derajat	Torsi	Shear Strengh (kg/m2)
1	10	0,00091	32362,15
2	11	0,00100	35598,36
3	9	0,00082	29125,93
Rata-rata			32362,1477

Berikut contoh perhitungan uji vane shear pada tanah tanpa PVD:

$$\begin{aligned} \text{Spesifikasi Vane} &: H=10\text{cm} = 0,1\text{m} \\ &D=13,1\text{mm} = 0,0131\text{m} \end{aligned}$$

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

$$Su = \left(\frac{0,00091}{3,14 \left(\frac{0,0131^2 \times 0,1}{2} + \frac{0,0131^3}{6} \right)} \right) \times 1000$$

$$Su = 32362,15 \text{ kg/m}^2$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan nilai kuat geser tanah tanpa PVD pada titik percobaan 1 sebesar 32362,15kg/m².

4.4.4. Percobaan Vane Shear pada PVD Pola Segitiga Dengan Variasi Kedalaman 40

cm

Tabel 4. 36 Besar Kuat Geser (Su) pada PVD kedalaman 40 cm

Titik	Derajat	Torsi	Shear Strenght (kg/m ²)
1	14	0,00127	45307,01
2	19	0,00173	61488,08
3	16	0,00146	51779,44
Rata-rata			52858,17

Berikut contoh perhitungan uji vane shear pada tanah tanpa PVD:

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

D=13,1mm = 0,0131m

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

$$Su = \left(\frac{0,00127}{3,14 \left(\frac{0,0131^2 \times 0,1}{2} + \frac{0,0131^3}{6} \right)} \right) \times 1000$$

$$Su = 45307,01 \text{ kg/m}^2$$

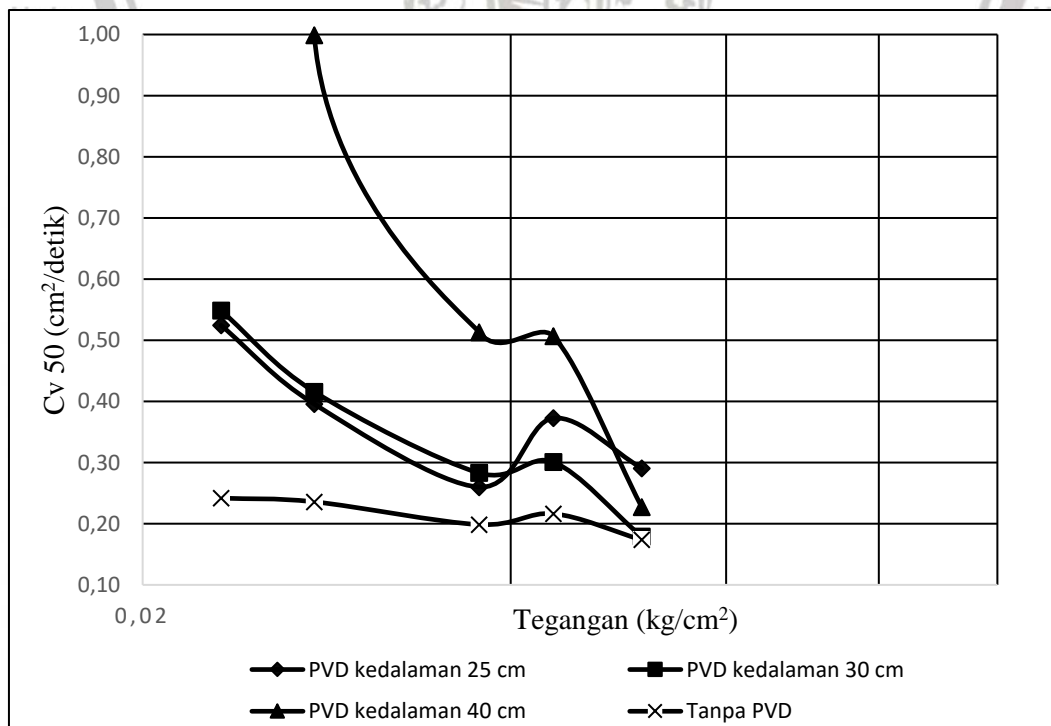
Dari perhitungan diatas, didapatkan nilai kuat geser tanah tanpa PVD pada titik percobaan 1 sebesar 45307,01 kg/m².



4.5. Perbandingan Variasi Kedalaman Pola Segitiga Terhadap $C_v(t_{50})$, $C_v(t_{90})$, C_c , Penurunan, Tegangan Air pori, Kuat Geser

Tabel 4.37. Nilai C_v dengan metode akar waktu (t_{50}) menggunakan PVD pola segitiga variasi kedalaman

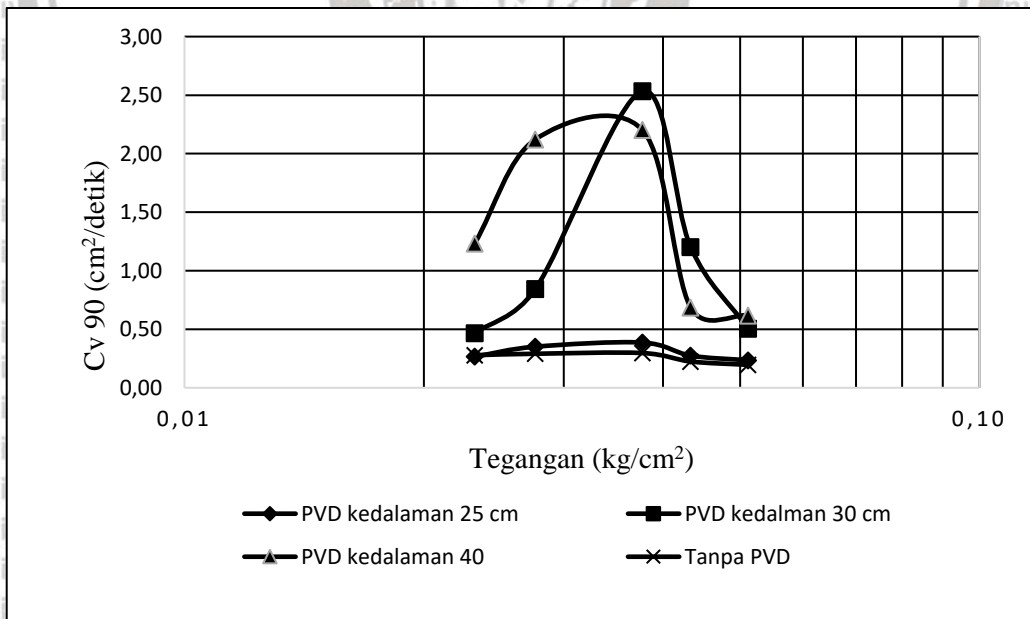
Tegangan (kg/cm^2)	PVD kedalaman 25 cm	PVD kedalaman 30 cm	PVD kedalaman 40 cm	Tanpa PVD (cm^2/det)
	(cm^2/det)	(cm^2/det)	(cm^2/det)	
0,023	0,524	0,549	5,726	0,242
0,028	0,396	0,416	0,999	0,236
0,038	0,260	0,283	0,513	0,199
0,043	0,373	0,301	0,507	0,216
0,051	0,291	0,179	0,227	0,174



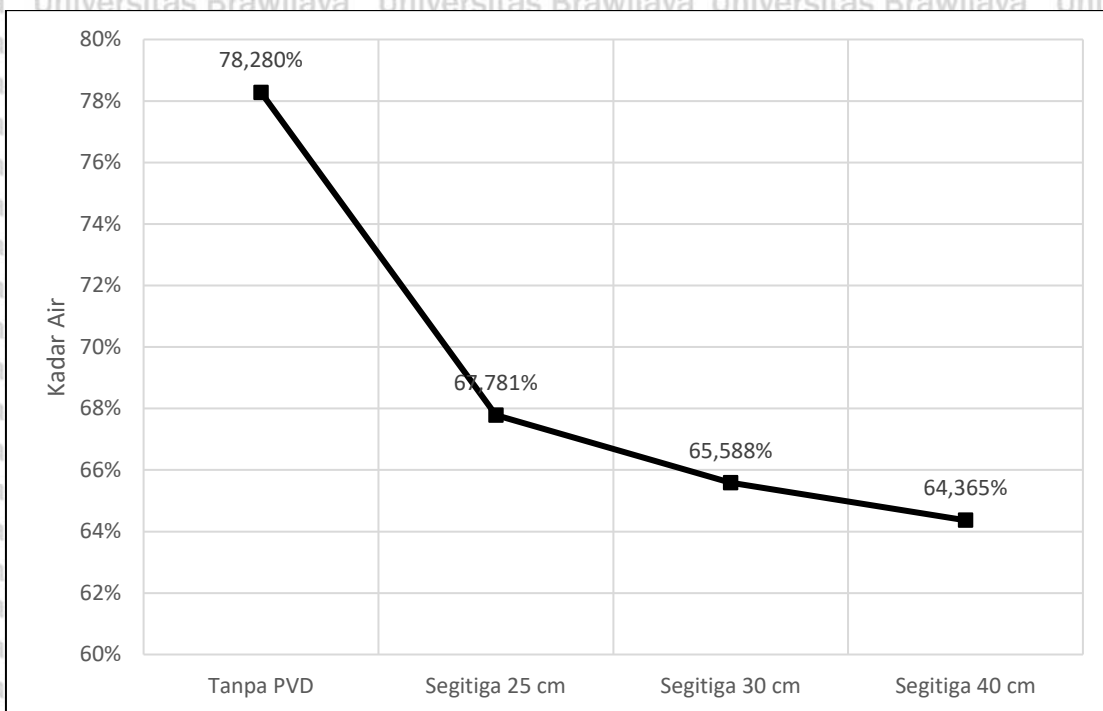
Gambar 4.29. Grafik nilai $C_v(t_{50})$ menggunakan variasi kedalaman PVD dan tanpa PVD

Tabel 4.38. nilai C_v dengan metode akar waktu (t_{90}) menggunakan PVD pola segitiga variasi kedalaman

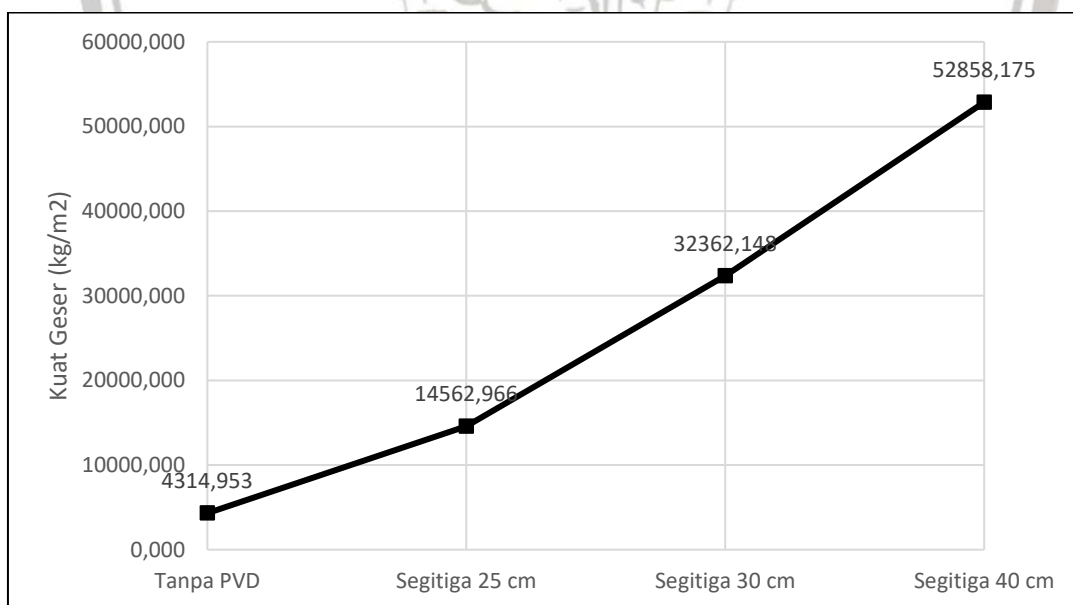
Tegangan (kg/cm^2)	PVD	PVD	PVD	Tanpa PVD
	kedalaman 25 cm kebawah (cm^2/det)	kedalaman 30 cm kebawah (cm^2/det)	kedalaman 40 cm kebawah (cm^2/det)	
0,023	0,266	0,467	1,233	0,279
0,028	0,351	0,843	2,121	0,291
0,038	0,386	2,534	2,202	0,297
0,043	0,275	1,203	0,687	0,224
0,051	0,234	0,505	0,618	0,196



Gambar 4.30. Grafik nilai C_v (t_{90}) menggunakan variasi kedalaman PVD dan tanpa PVD



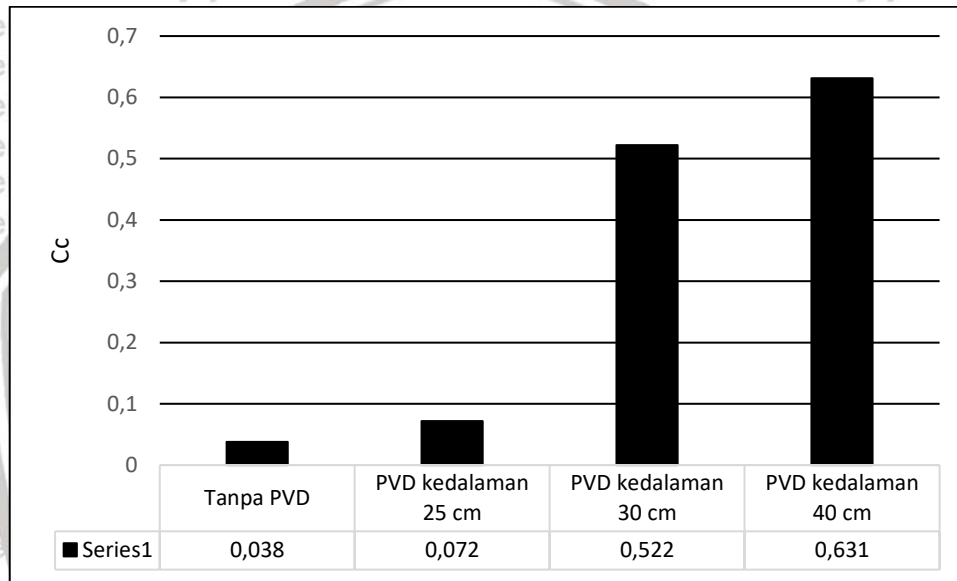
Gambar 4.31. Hubungan antara kedalaman PVD dan kadar air



Gambar 4.32. Hubungan antara kedalaman PVD dengan Kuat geser tanah

Tabel 4.39. Besar Cc Pada Variasi Kedalaman PVD pola segitiga

Jarak Pvd	PVD kedalaman 25 cm kebawah	PVD kedalaman 30 cm kebawah	PVD kedalaman 40 cm kebawah	Tanpa PVD
Cc 1	0,08	0,59	0,558	0,052
Cc 2	0,062	0,453	0,705	0,023
Rata-rata Cc	0,072	0,522	0,613	0,038

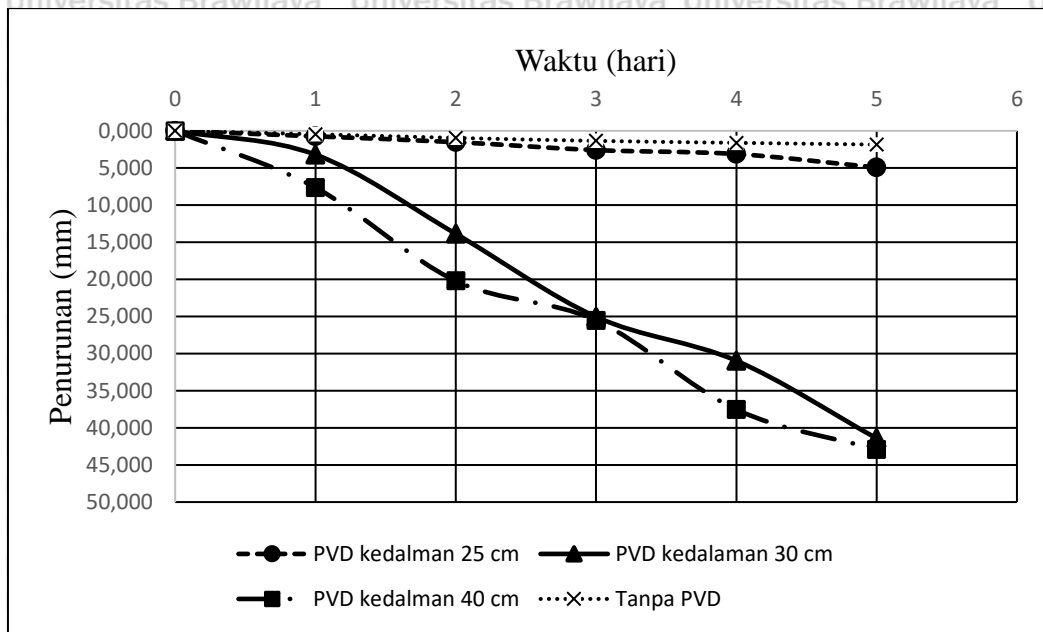


Gambar 4.33. Besar Cc

Tabel 4.40. Besar penurunan terhadap variasi kedalaman PVD pola segitiga data laboratorium

Waktu (hari)	Penurunan tanpa PVD (mm)	Penurunan pada Kedalaman PVD 25 cm kebawah (mm)	Penurunan pada Kedalaman PVD 30 cm kebawah (mm)	Penurunan pada Kedalaman PVD 40 cm kebawah (mm)
1	0,456	0,740	3,210	7,640
2	0,952	1,525	13,865	20,215
3	1,3515	2,595	25,051	25,526
4	1,614	3,125	30,968	37,541
5	1,851	4,927	41,418	42,926

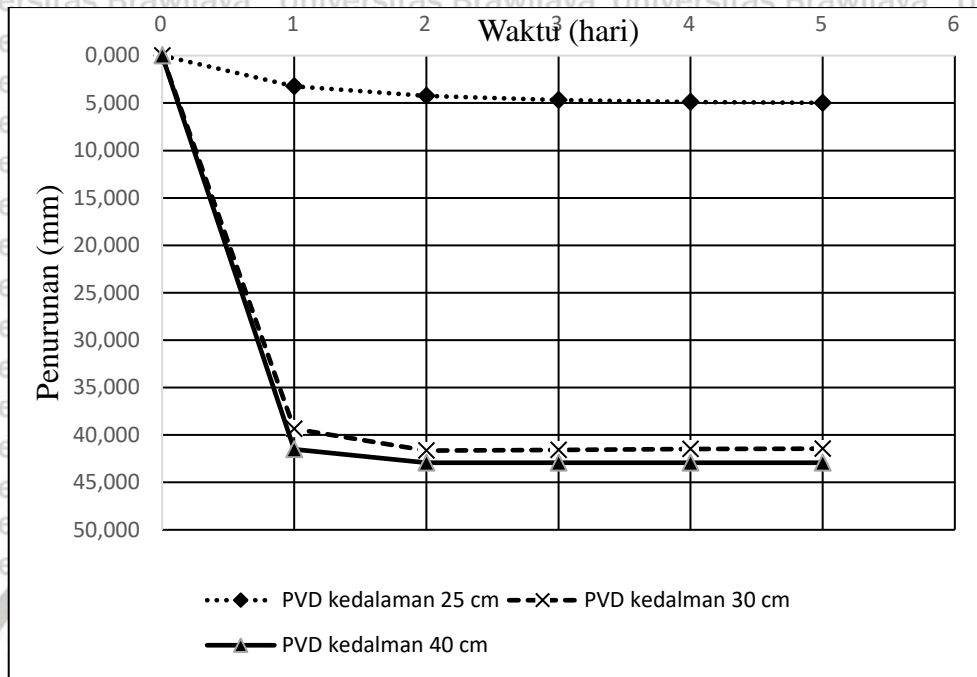




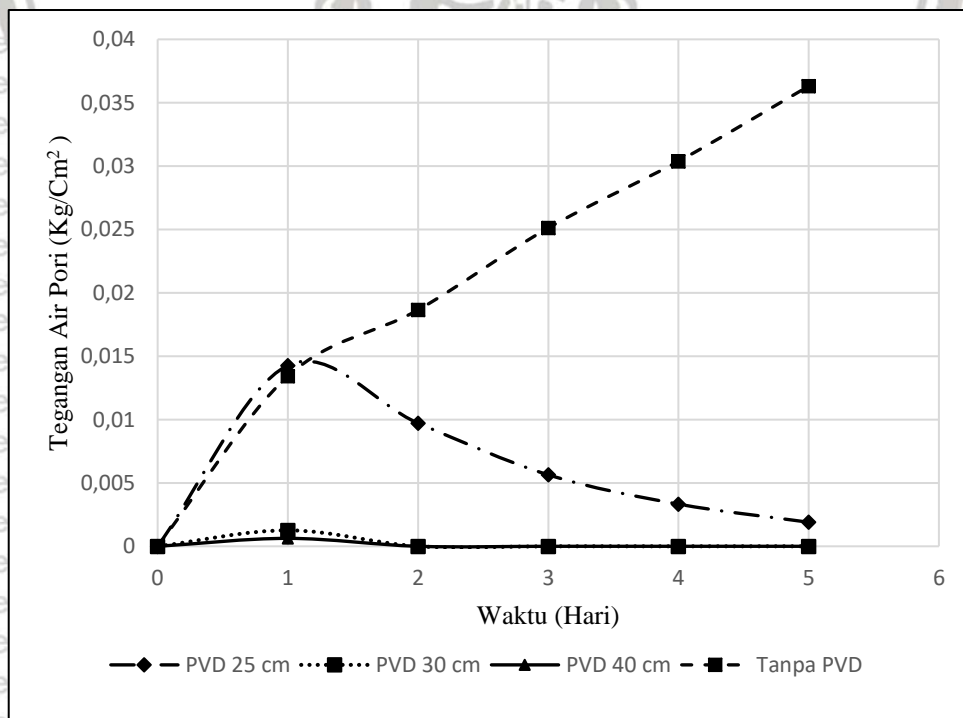
Gambar 4.34. Hubungan variasi kedalaman PVD terhadap penurunan data laboratorium

Tabel 4.41. Besar penurunan dengan pertimbangan *smear zone* terhadap variasi kedalaman

Waktu (hari)	Penurunan pada Kedalaman PVD 25 cm kebawah (mm)	Penurunan pada Kedalaman PVD 30 cm kebawah (mm)	Penurunan pada Kedalaman PVD 40 cm kebawah (mm)
1	3,236	39,366	41,516
2	4,240	41,645	42,926
3	4,692	41,586	42,926
4	4,891	41,475	42,926
5	4,975	41,435	42,926



Gambar 4.35. Hubungan penurunan variasi kedalaman PVD dengan pertimbangan *smear zone*



Gambar 4.36. Hubungan tegangan air pori dengan variasi kedalaman PVD



- HALAMAN INI SENGAJA DI KOSONGKAN -



BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

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

1. Karakteristik tanah yang berada di jalan tol Pasuruan-Probolinggo sebagai berikut:
 - Hasil uji SPT di dapatkan nilai N sebesar 2 (*blows/30 cm*) kedalaman tanah 8 m hingga 10 m sehingga untuk nilai N (2 – 4) merupakan jenis Tanah lunak.
 - berdasarkan sistem klasifikasi tanah *unified* butiran lolos saringan 200 lebih dari 50% termasuk jenis tanah berbutir halus
 - indeks plastisitas (PI) sebesar 28,938% klasifikasi tanah *unified* tanah termasuk dalam kelompok tanah lanau dengan plastisitas tinggi (MH)
 - Uji Berat jenis sebesar 2,565 tanah mengandung jenis mineral *Montmorillonite*
2. Penurunan pada tanah tanpa PVD dengan tanah memakai PVD kedalaman 25 cm mengalami kenaikan sebesar 166%, kedalaman 30 cm mengalami kenaikan sebesar 2.375%, kedalaman 40 cm mengalami kenaikan sebesar 2.219% Peningkatan ini disebabkan PVD memberikan jalur drainase yang memungkinkan lintasan air pori lebih pendek pada saat terjadi konsolidasi
3. Semakin besar kedalaman PVD maka kuat geser akan semakin besar peningkatan kuat geser tanah disebabkan oleh kedalaman PVD yang semakin besar mempengaruhi kecepatan konsolidasi yang akan semakin besar, sehingga kohesi atau lekatan antara butiran tanah akan semakin besar
4. Semakin besar kedalaman PVD maka tegangan air pori turun hingga mencapai nilai nol akan semakin cepat, sehingga kecepatan konsolidasi akan meningkat.

5.2. Saran

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

1. Perlu dilakukan pengujian untuk tanah *undisturbed* di lapangan 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% atau sama dengan kadar air sampel di lapangan agar sampel yang di hasilkan setelah pembebanan tidak terlalu lunak agar pengujian *triaxial* dan *unconfined* dapat dilakukan.
3. Perlu dilakukan uji kuat geser tanah pada setiap lapisan tanah sampel agar dapat diketahui pengaruh PVD pada setiap lapisan.



DAFTAR PUSTAKA

- Aspar, W., & Fitriani, E. (2016). Pengaruh Jarak dan Pola Prefabricated Vertical Drain (PVD) Pada Perbaikan Tanah Lempung Lunak
- Das, B. M. (2011). Principles of Foundation Engineering Edisi Ke Tujuh. USA: Cengage Learning
- Fauziyyah, U. (2016). Uji Triaksial. Diakses pada 8 Januari 2020, dari <https://www.scribd.com/document/320278849/Uji-Triaxial>
- 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
- Sivaram, B., dan Swamee, P. (1977). A Computational Method for Consolidation Coefficient. Tokyo: Soils and Foundations
- Jamiolkowski, M., Lancellotta, R., dan Wolski, W., "Precompression and Speeding Up Consolidation," Proceedings of the 8th. European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 3., hal. 1201-1226, Helsinki, 1983.
- M. Das, Braja. 2011. *Mekanika Tanah Jilid I (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. PT. Gloria Aksara Pratama. Jakarta.
- Magnan, J.P. dan Deroy, J.M. 1980. *Analyse Graphique Des Tassements Observes Sous Les Ouvrages*, Bull. Liaison Labo. P.&Ch., 109.
- Nawir, H., dan Apoji, D. 2012. *Prediksi Penurunan Tanah Menggunakan Prosedur Observasi Asaoka Studi Kasus: Timbunan di Bontang, Kalimantan Timur*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Schaefer, V.R. 1997. *Full Scale Field Test Of Prefabricated Vertical Drain (PVD) On Soft Bangkok Clay and Subsiding Environmental*. ASCE: Geotechnical Special Publication 69: 372-393
- Sivaram, B., dan Swamee, P. 1977. *A Computational Method for Consolidation Coefficient*. Tokyo: Soils and Foundations
- Verhoef, P.N.W. 1994. *Geologi Untuk Teknik Sipil*. Erlangga. Jakarta.
- Zaika, Y., dan Suroso, H. *Mekanika Tanah II*. Malang: Bargie Media
- Zaika, Y., Rachmansyah, A., dan Harimurti. 2019. *Geotechnical Behaviour of Soft Soil In*



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
(HALAMAN INI SENGAJA DI KOSONGKAN)



LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

Kadar air (water conten)

Kadar air tanah asli

No. Cawan	Satuan	Sampel tanah		
		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 sampel tanah tanpa PVD sebelum pembebanan

No. Cawan	Satuan	sampel tanah		
		1	2	3
1 Berat Cawan (W_1)	gram	5,63	3,08	3,13
2 Berat Cawan + Tanah Basah (W_2)	gram	14,36	13,13	13,5
3 Berat Cawan + Tanah Kering (W_3)	gram	10,36	8,45	8,73
4 Berat Air (W_a)	gram	4	4,68	4,77
5 Berat Tanah Kering (W_t)	gram	4,73	5,37	5,6
6 Kadar Air (W)	%	84,57%	87,15%	85,18%
7 Rata-rata Kadar Air	%	85,632%		



Kadar air 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 sampel tanah PVD kedalaman 25 cm sebelum pembebanan

	No. Cawan	Sampel tanah			
		Satuan	1	2	3
1	Berat Cawan (W ₁)	gram	6,11	6,01	4,25
2	Berat Cawan + Tanah Basah (W ₂)	gram	22,83	24,3	34,14
3	Berat Cawan + Tanah Kering (W ₃)	gram	15,41	16,32	20,08
4	Berat Air (W _a)	gram	7,42	7,98	14,06
5	Berat Tanah Kering (W _t)	gram	9,3	10,31	15,83
6	Kadar Air (W)	%	79,78%	77,40%	88,82%
7	Rata-rata Kadar Air	%	82,001%		



Kadar air sampel tanah PVD kedalaman 25 cm setelah pembebanan

No. Cawan	Sampel tanah				
	Satuan	1	2	3	
1	Berat Cawan (W ₁)	gram	2,71	5,56	4,27
2	Berat Cawan + Tanah Basah (W ₂)	gram	19,95	25,85	24,91
3	Berat Cawan + Tanah Kering (W ₃)	gram	12,45	18,06	16,72
4	Berat Air (W _a)	gram	7,5	7,79	8,19
5	Berat Tanah Kering (W _t)	gram	9,74	12,5	12,45
6	Kadar Air (W)	%	77,00%	62,32%	65,78%
7	Rata-rata Kadar Air	%	68,368%		

Kadar air sampel tanah PVD kedalaman 30 cm sebelum pembebanan

No. Cawan	Sampel tanah				
	Satuan	1	2	3	
1	Berat Cawan (W ₁)	gram	4,22	5,72	6,1
2	Berat Cawan + Tanah Basah (W ₂)	gram	29,81	16,14	18,57
3	Berat Cawan + Tanah Kering (W ₃)	gram	18,12	11,46	12,89
4	Berat Air (W _a)	gram	11,69	4,68	5,68
5	Berat Tanah Kering (W _t)	gram	13,9	5,74	6,79
6	Kadar Air (W)	%	84,10%	81,53%	83,65%
7	Rata-rata Kadar Air	%	83,095%		



Kadar air sampel tanah PVD kedalaman 30 cm setelah pembebanan

	No. Cawan	Sampel tanah			
		Satuan	1	2	3
1	Berat Cawan (W ₁)	gram	5,72	6,1	5,93
2	Berat Cawan + Tanah Basah (W ₂)	gram	13,39	15,9	12,86
3	Berat Cawan + Tanah Kering (W ₃)	gram	10,42	12,18	9,95
4	Berat Air (W _a)	gram	2,97	3,72	2,91
5	Berat Tanah Kering (W _t)	gram	4,7	6,08	4,02
6	Kadar Air (W)	%	63,19%	61,18%	72,39%
7	Rata-rata Kadar Air	%	65,588%		

Kadar air sampel tanah PVD kedalaman 40 cm sebelum pembebanan

	No. Cawan	Sampel tanah			
		Satuan	1	2	3
1	Berat Cawan (W ₁)	gram	4,54	6,89	4,81
2	Berat Cawan + Tanah Basah (W ₂)	gram	14,21	15,13	17,62
3	Berat Cawan + Tanah Kering (W ₃)	gram	9,86	11,28	12,04
4	Berat Air (W _a)	gram	4,35	3,85	5,58
5	Berat Tanah Kering (W _t)	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 sampel tanah PVD kedalaman 40 cm setelah pembebanan

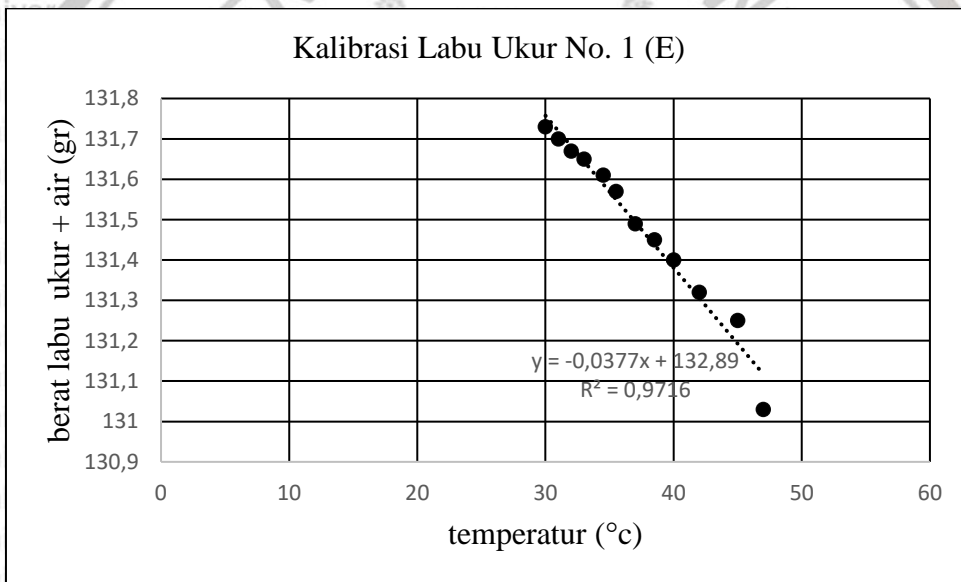
	No. Cawan	Sampel tanah			
		Satuan	1	2	3
1	Berat Cawan (W1)	gram	4,05	5,69	5,49
2	Berat Cawan + Tanah Basah (W2)	gram	15,24	11,98	19,91
3	Berat Cawan + Tanah Kering (W3)	gram	10,91	9,52	14,19
4	Berat Air (Wa)	gram	4,33	2,46	5,72
5	Berat Tanah Kering (Wt)	gram	6,86	3,83	8,7
6	Kadar Air (W)	%	63,120%	64,23%	65,75%
7	Rata-rata Kadar Air	%	64,365%		



Berat Spesifik (*Specific gravity*)

Kalibrasi Labu Ukur 1 (E)

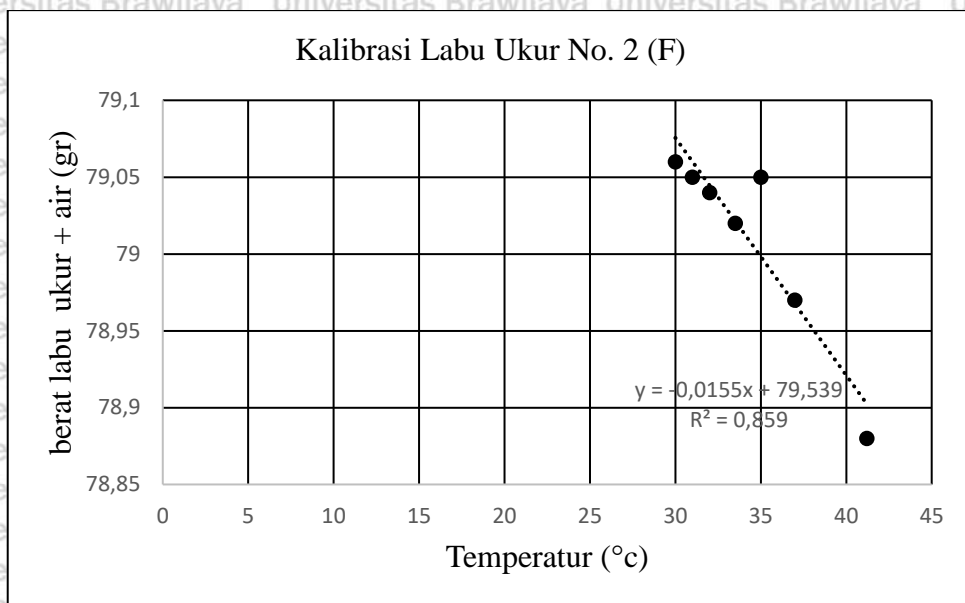
NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Berat Labu	131,03	131,25	131,32	131,4	131,45	131,49	131,57	131,61	131,65	131,67	131,7	131,73
Ukur + Air (gr)												
Temperatur °C	47	45	42	40	38,5	37	35,5	34,5	33	32	31	30



Kalibrasi labu ukur 2 (F)

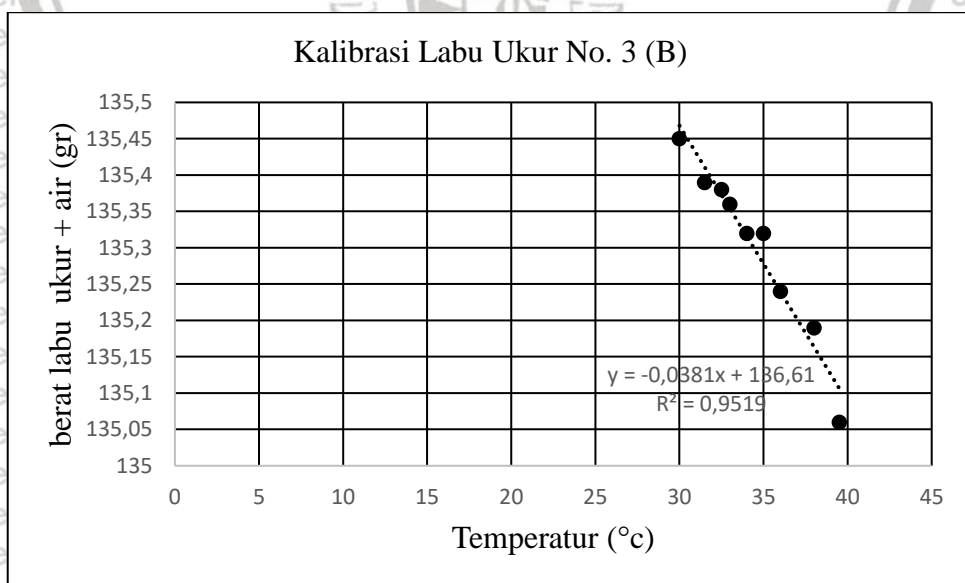
NO	1	2	3	4	5	6	7
Berat Labu Ukur + Air (gr)	78,88	78,97	79,05	79,02	79,04	79,05	79,06
Temperatur °C	41,2	37	35	33,5	32	31	30

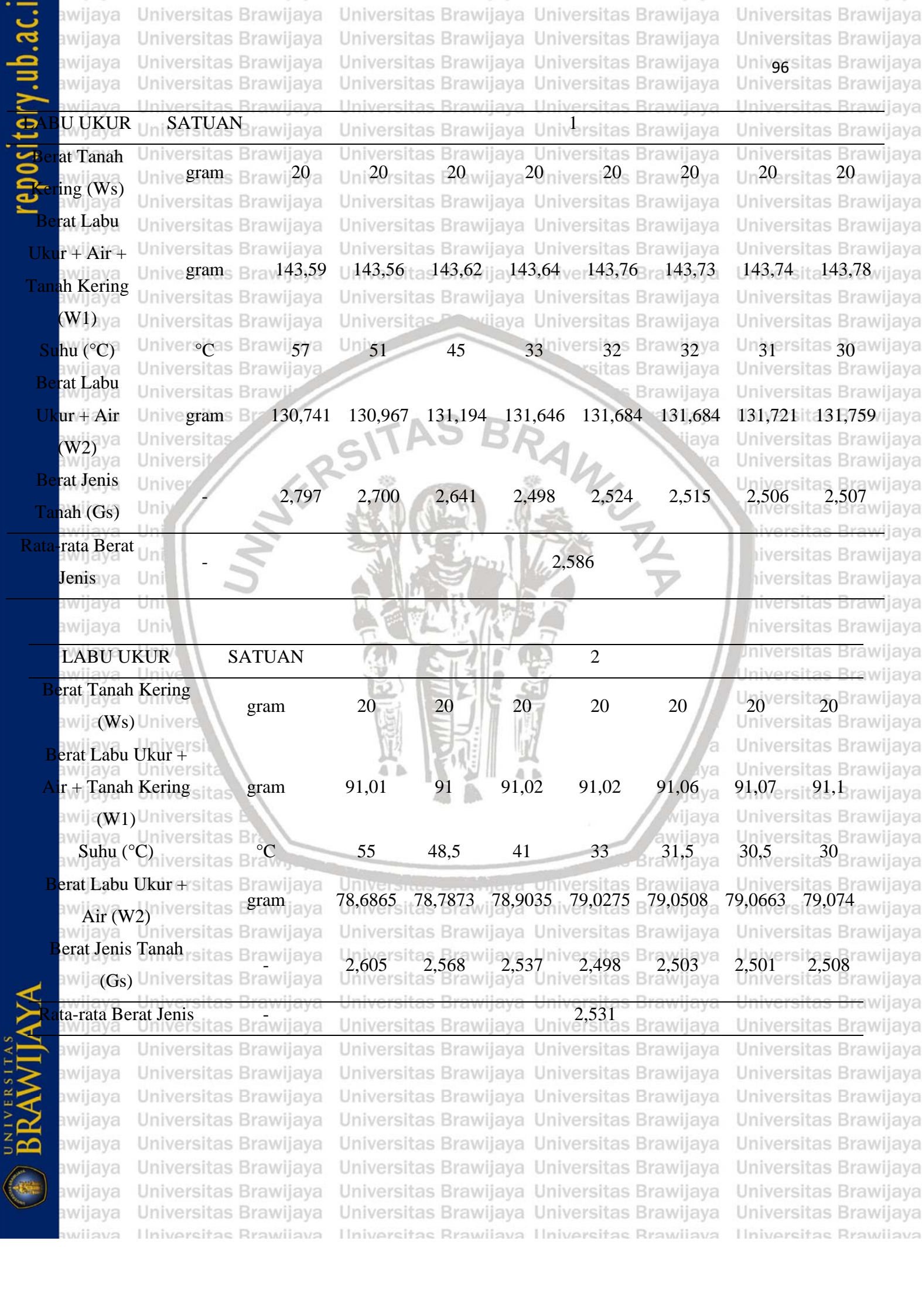




Kalibrasi labu ukur 3 (B)

NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Berat Labu	135,0	135,1	135,2	135,3	135,3	135,3	135,3	135,3	135,4
Ukur + Air (gr)	6	9	4	2	2	6	8	9	5
Temperatur °C	39,5	38	36	35	34	33	32,5	31,5	30





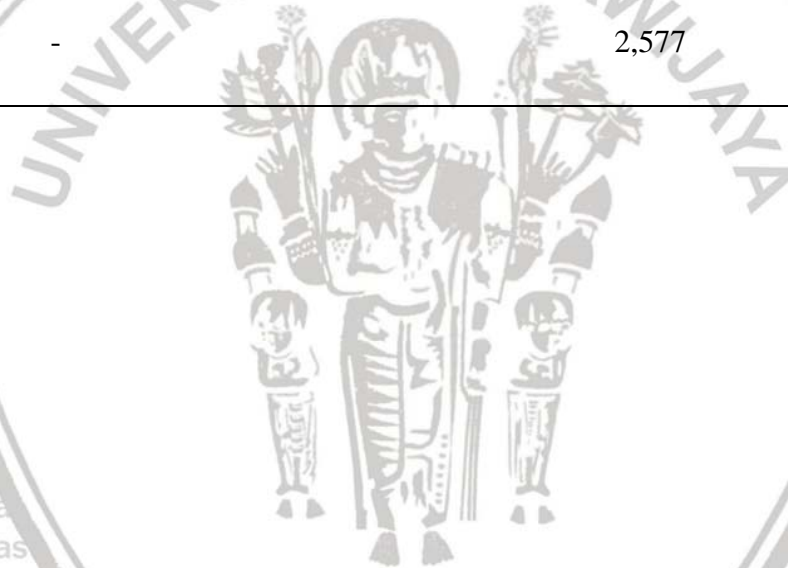
LABU UKUR	SATUAN	1							
Berat Tanah Kering (Ws)	gram	20	20	20	20	20	20	20	20
Berat Labu Ukur + Air + Tanah Kering (W1)	gram	143,59	143,56	143,62	143,64	143,76	143,73	143,74	143,78
Suhu (°C)	°C	57	51	45	33	32	32	31	30
Berat Labu Ukur + Air (W2)	gram	130,741	130,967	131,194	131,646	131,684	131,684	131,721	131,759
Berat Jenis Tanah (Gs)	-	2,797	2,700	2,641	2,498	2,524	2,515	2,506	2,507
Rata-rata Berat Jenis	-	2,586							

LABU UKUR	SATUAN	2							
Berat Tanah Kering (Ws)	gram	20	20	20	20	20	20	20	20
Berat Labu Ukur + Air + Tanah Kering (W1)	gram	91,01	91	91,02	91,02	91,06	91,07	91,1	91,1
Suhu (°C)	°C	55	48,5	41	33	31,5	30,5	30	30
Berat Labu Ukur + Air (W2)	gram	78,6865	78,7873	78,9035	79,0275	79,0508	79,0663	79,074	79,074
Berat Jenis Tanah (Gs)	-	2,605	2,568	2,537	2,498	2,503	2,501	2,508	2,508
Rata-rata Berat Jenis	-	2,531							

LABU UKUR SATUAN

3

Berat Tanah Kering (Ws)	gram	20	20	20	20	20	20	20	20
Berat Labu Ukur + Air + Tanah Kering (W1)	gram	147,2	147,2	147,26	147,31	147,38	147,41	147,41	147,46
Suhu (°C)	°C	58	52	47	34	32,5	32	31	30
Berat Labu Ukur + Air (W2)	gram	134,4	134,629	134,819	135,315	135,372	135,391	135,429	135,467
Berat Jenis Tanah (Gs)	-	2,778	2,692	2,646	2,499	2,503	2,506	2,494	2,498
Rata-rata Berat Jenis	-	2,577							



Koefisien konsolidasi (C_v)

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

C_v (t_{50}) sampel tanah tanpa PVD

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	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

C_v (t_{50}) sampel tanah PVD kedalaman 25 cm

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	0	40	-	-	-
0,0232	0,074	39,926	39,963	600	0,524
0,0276	0,153	39,848	39,887	792	0,396
0,0377	0,260	39,741	39,794	1200	0,260
0,0433	0,313	39,688	39,714	834	0,373
0,0512	0,493	39,507	39,597	1062	0,291



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

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	0	40	-	-	-
0,0232	0,321	39,679	39,840	570	0,549
0,0276	1,387	38,614	39,146	726	0,416
0,0377	2,505	37,495	38,054	1008	0,283
0,0433	3,097	36,903	37,199	906	0,301
0,0512	4,142	35,858	36,381	1458	0,179

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

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	0	40	-	-	-
0,0232	0,764	39,236	39,618	54	5,726
0,0276	2,022	37,979	38,607	294	0,999
0,0377	2,553	37,447	37,713	546	0,513
0,0433	3,754	36,246	36,847	528	0,507
0,0512	4,293	35,707	35,977	1122	0,227

Koefisien konsolidasi (C_v)

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

C_v (t_{90}) sampel tanah PVD kedalaman 40 cm

Tegangan Konsolidasi (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

C_v (t_{90}) sampel tanah PVD kedalaman 25 cm

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	0,074	39,926	39,963	600	0,524
0,0276	0,153	39,848	39,887	792	0,396
0,0377	0,260	39,741	39,794	1200	0,260
0,0433	0,313	39,688	39,714	834	0,373
0,0512	0,493	39,507	39,597	1062	0,291



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

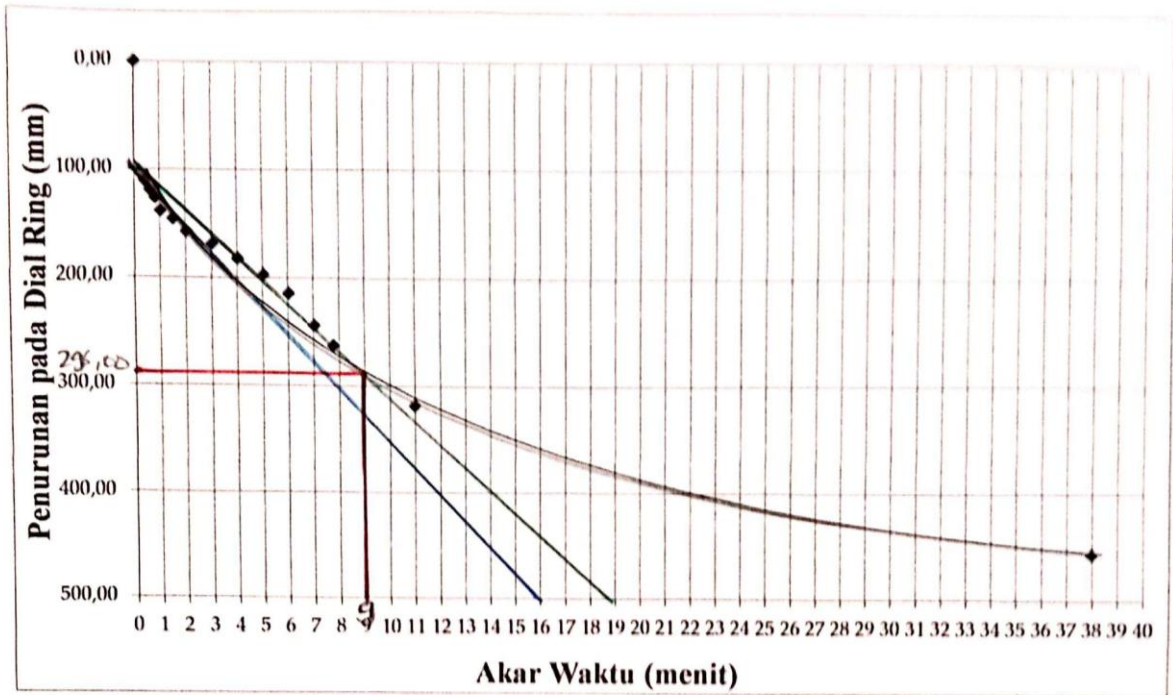
Tegangan Konsolidasi (kg/cm ²)	Konsolidasi (cm)	H (cm)	Tinggi contoh tanah rata-rata (Hdr) (cm)	t_{90} (detik)	Koefisien Konsolidasi $C_v = (0,848 \times H^2) / t_{90}$
0	0,000	40,000	-	-	-
0,0232	0,321	39,679	39,840	2856,6	0,467
0,0276	1,387	38,614	39,146	1500,	0,843
0,0377	2,505	37,495	38,054	470,4	2,534
0,0433	3,097	36,903	37,199	960,	1,203
0,0512	4,142	35,858	36,381	2160,	0,505

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

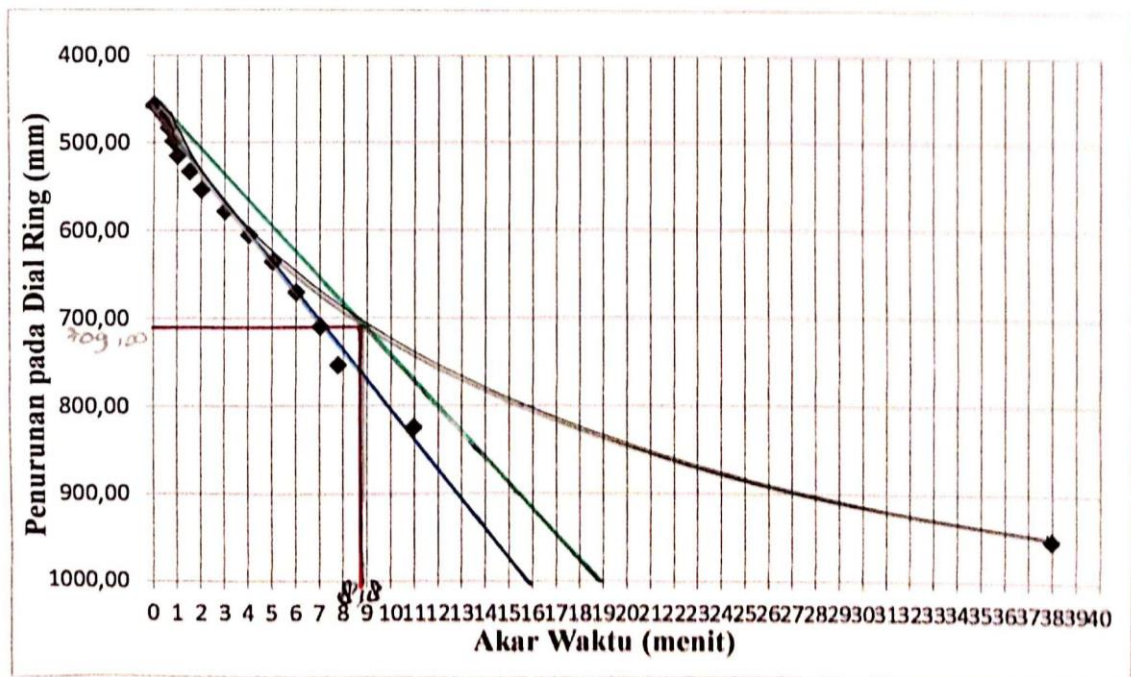
Tegangan Konsolidasi (kg/cm ²)	Konsolidasi (cm)	H (cm)	Tinggi contoh tanah rata-rata (Hdr) (cm)	t_{90} (detik)	Koefisien Konsolidasi $C_v = (0,848 \times H^2) / t_{90}$
0	0,000	40,000	-	-	-
0,0232	0,764	39,236	39,618	1058,4	1,233
0,0276	2,022	37,979	38,607	576,6	2,121
0,0377	2,553	37,447	37,713	540	2,202
0,0433	3,754	36,246	36,847	1622,4	0,687
0,0512	4,293	35,707	35,707	1749,6	0,618



Sampel tanah tanpa PVD Metode Akar Waktu, (t_{90}) dan metode kecocokan log-waktu (t_{50})

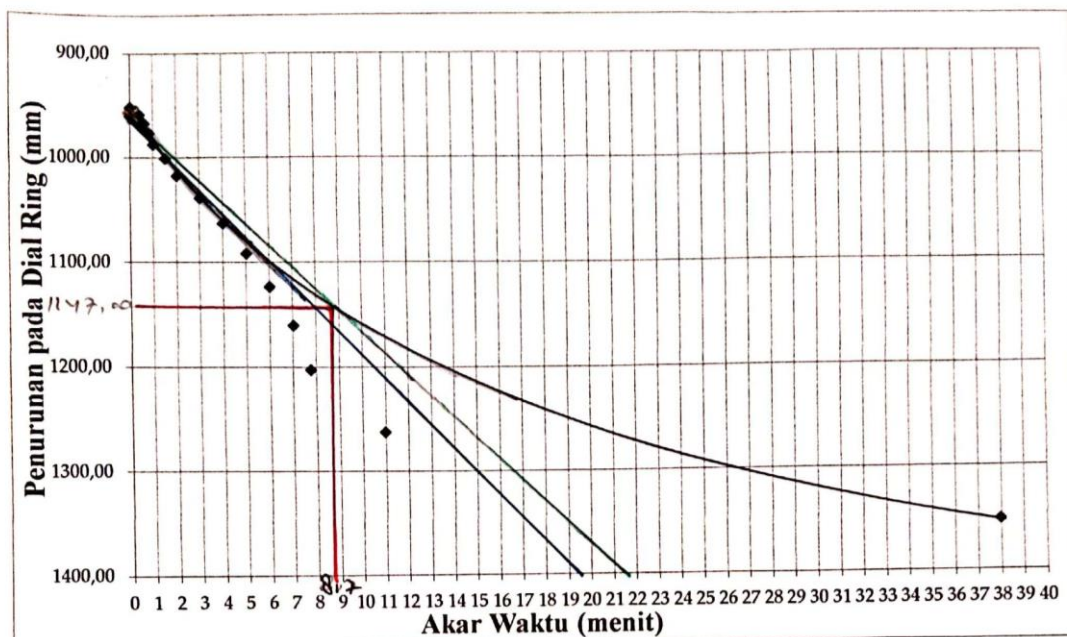


Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 36,67 kg

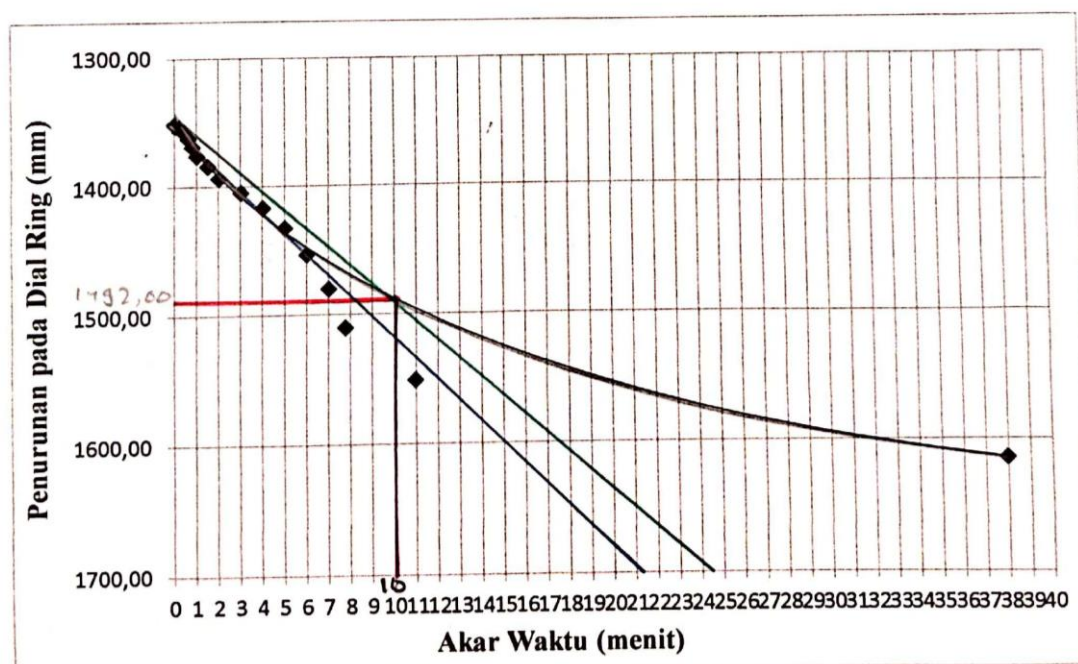


Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 51,43 kg



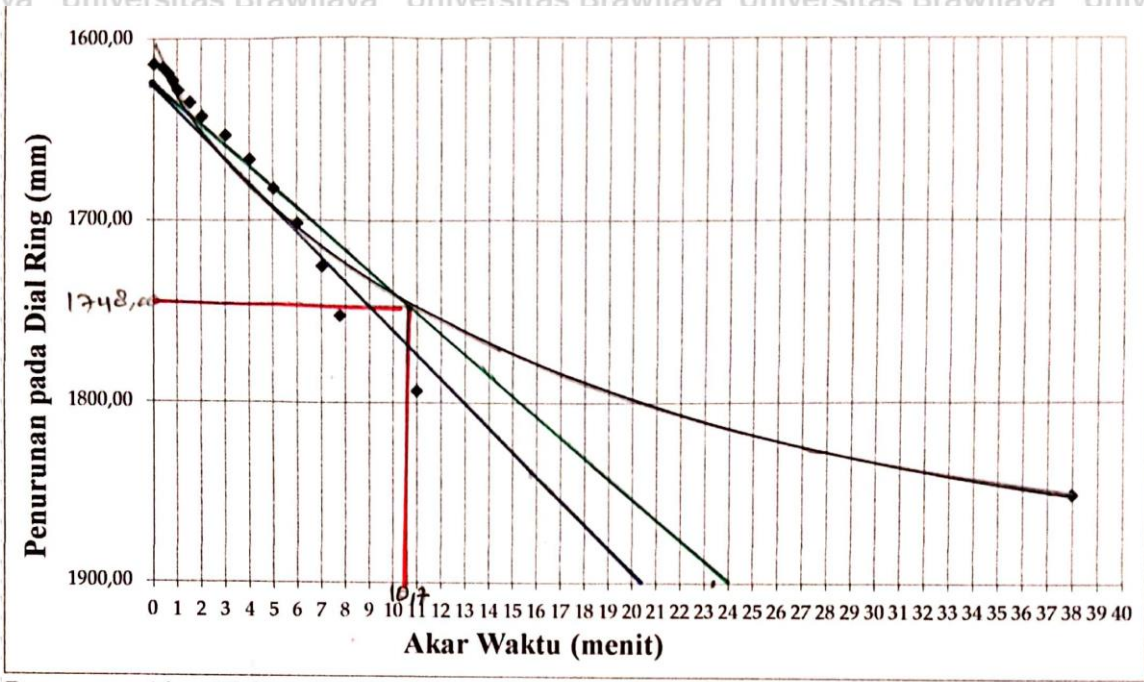


Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 72,5 kg

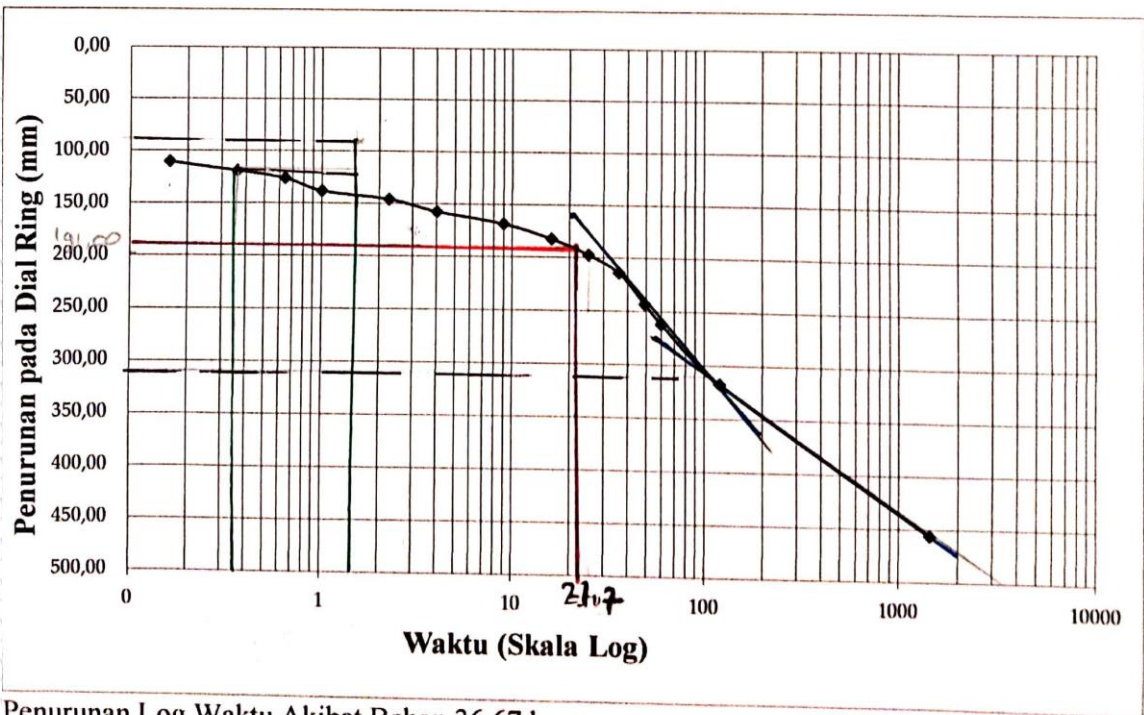


Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 93,33 kg



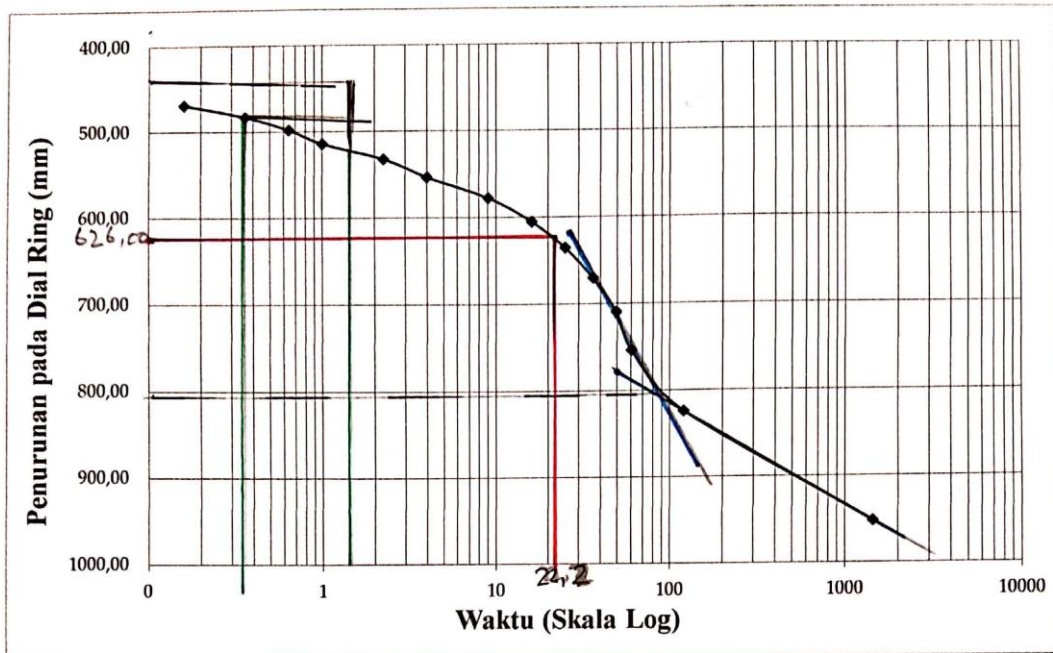


Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 111,8 kg

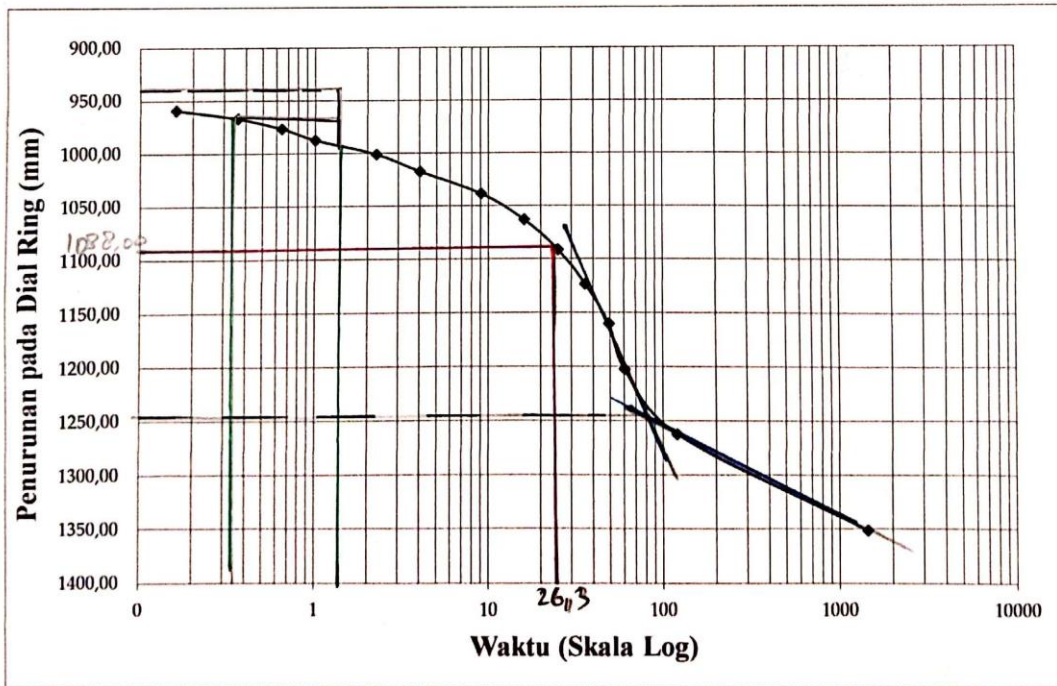


Penurunan Log Waktu Akibat Beban 36,67 kg



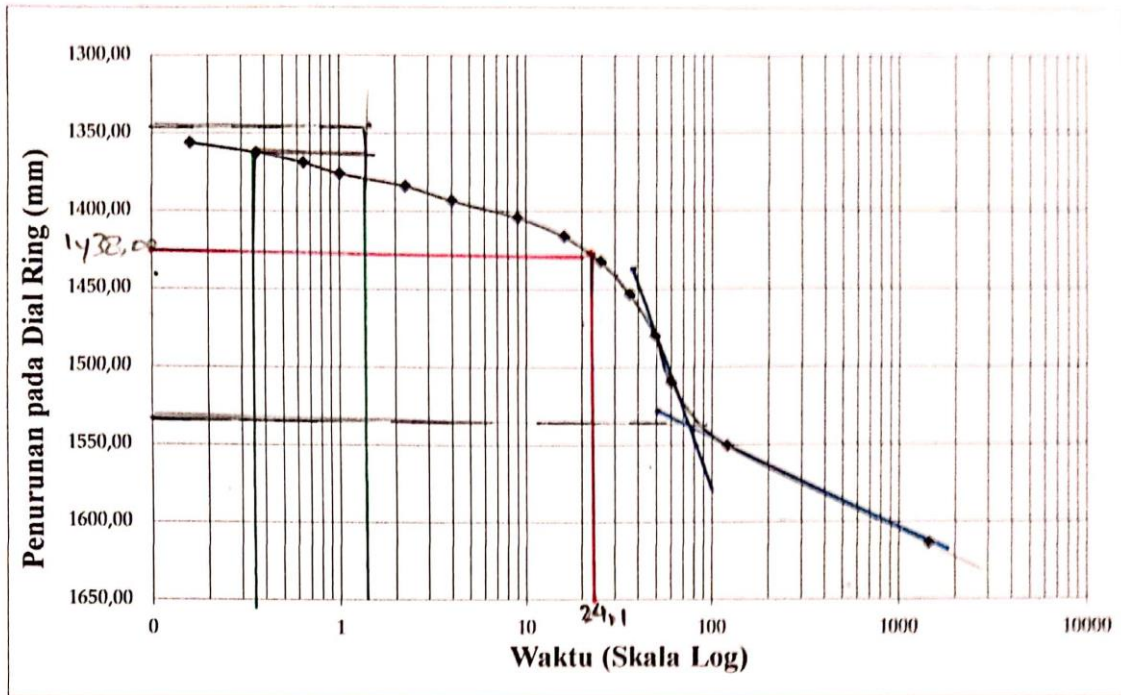


Penurunan Log Waktu Akibat Beban 51,43 kg

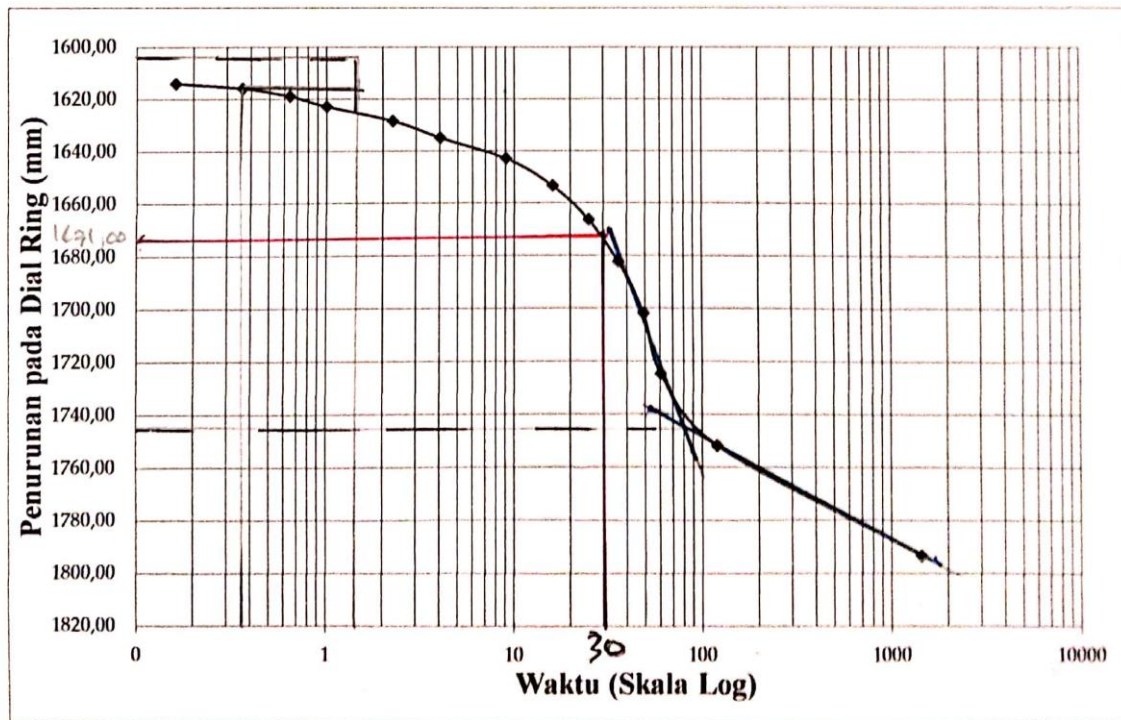


Penurunan Log Waktu Akibat Beban 72,5 kg





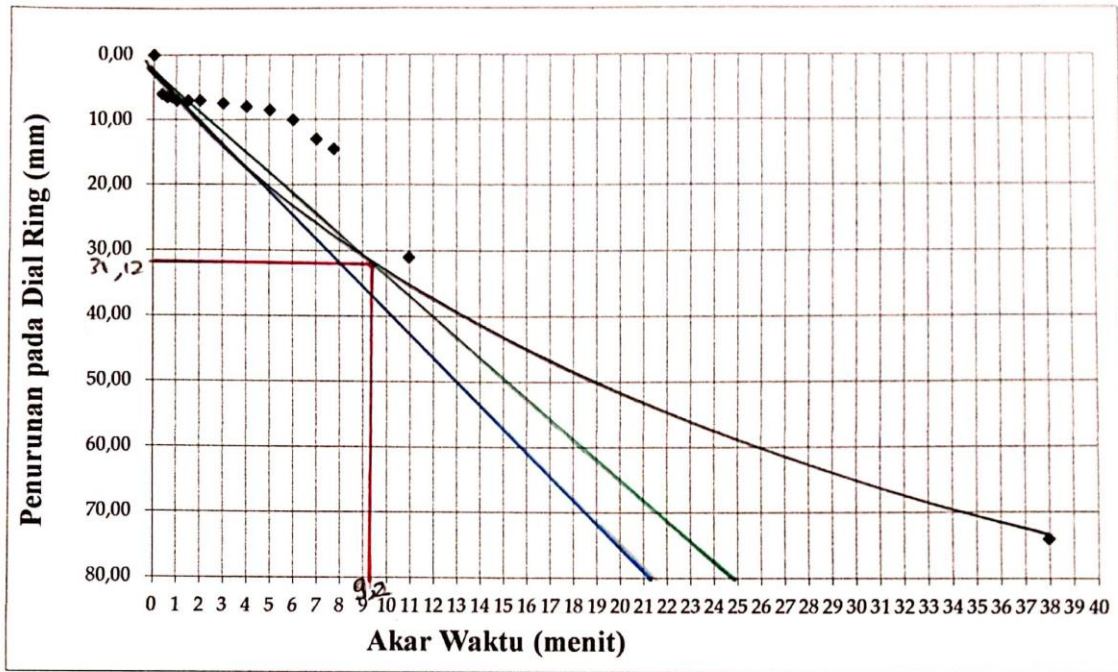
Penurunan Log Waktu Akibat Beban 93,33 kg



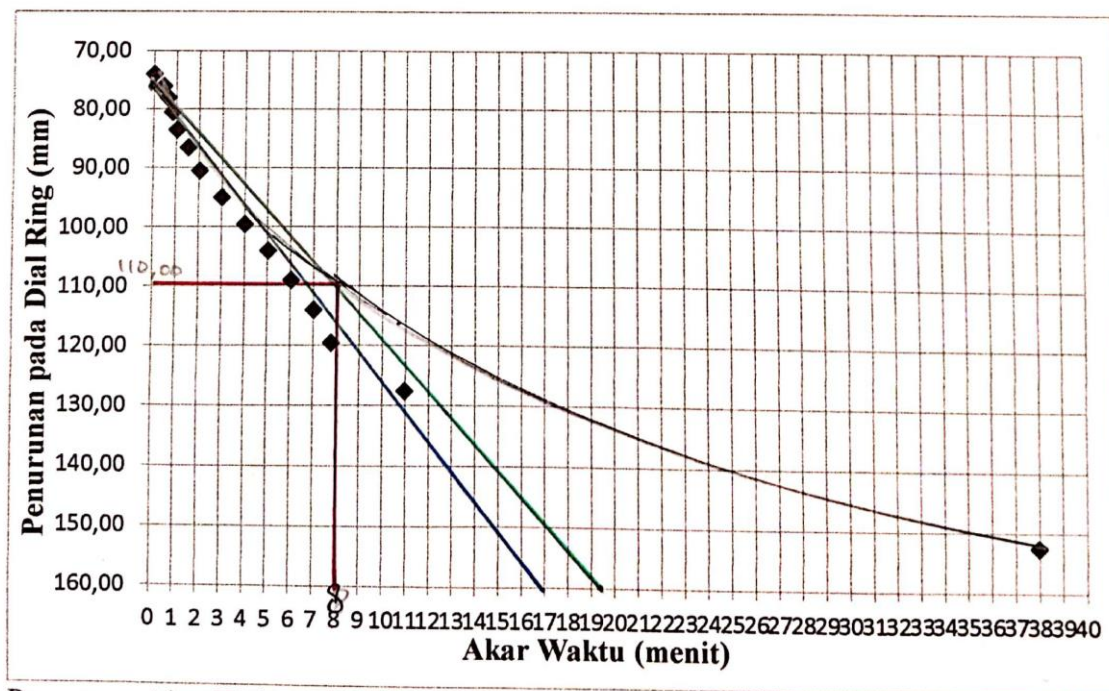
Penurunan Log Waktu Akibat Beban 111,8 kg



PVD kedalaman 25 cm Metode Akar Waktu, (t_{90}) dan metode kecocokan log-waktu (t_{50})

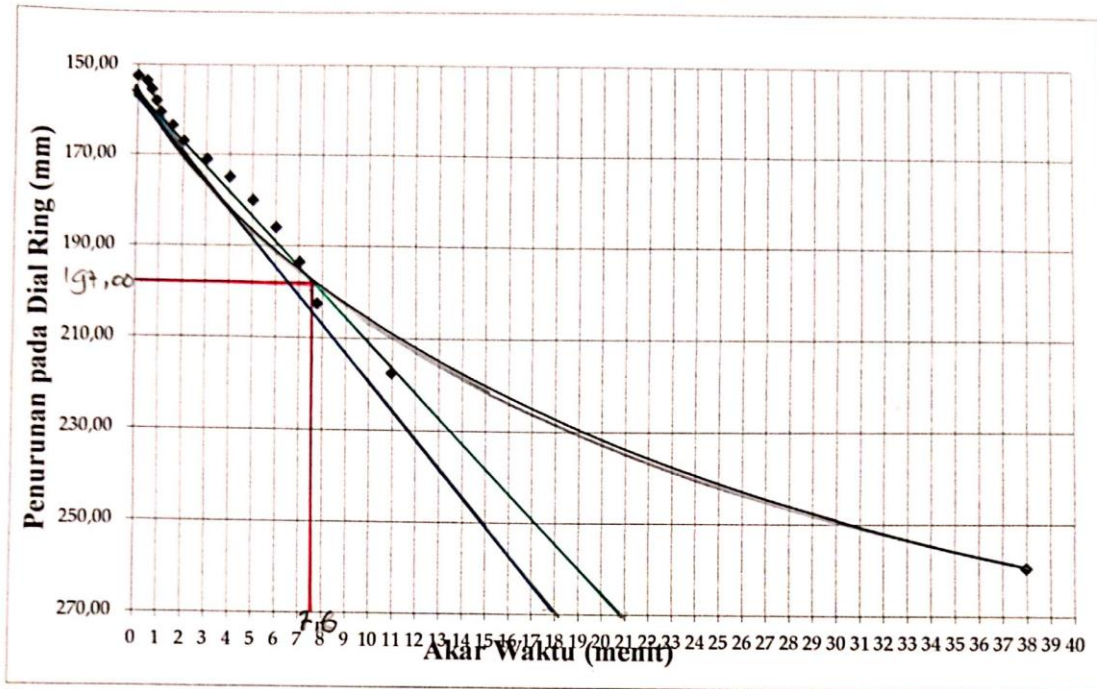


Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 38,13 kg

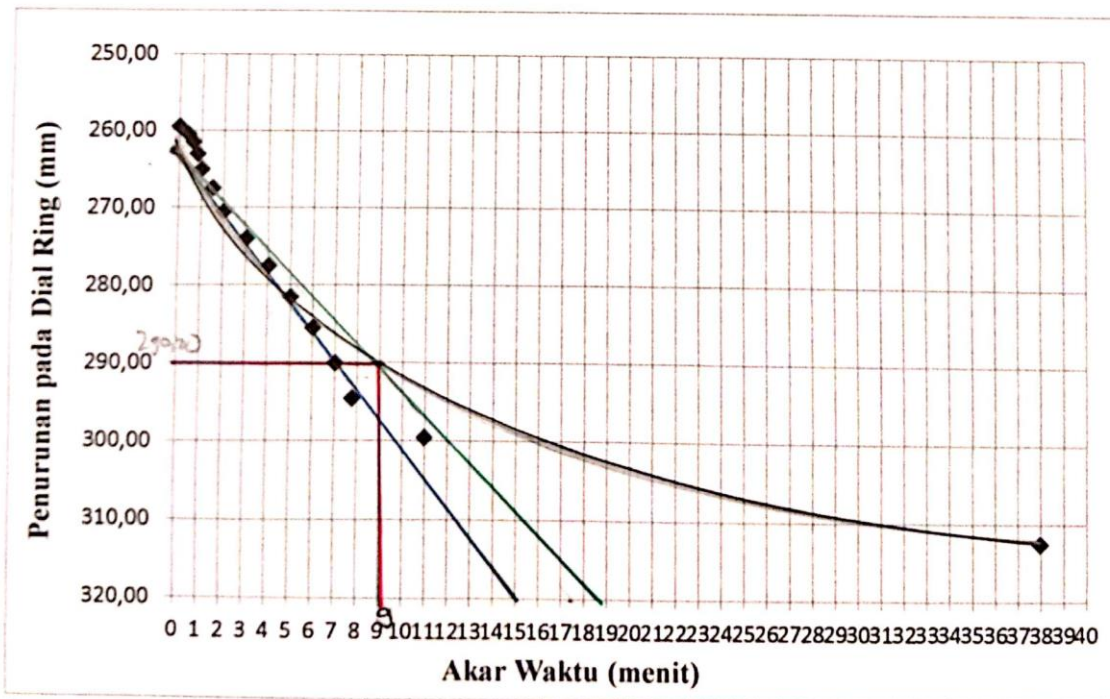


Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 43,56 kg



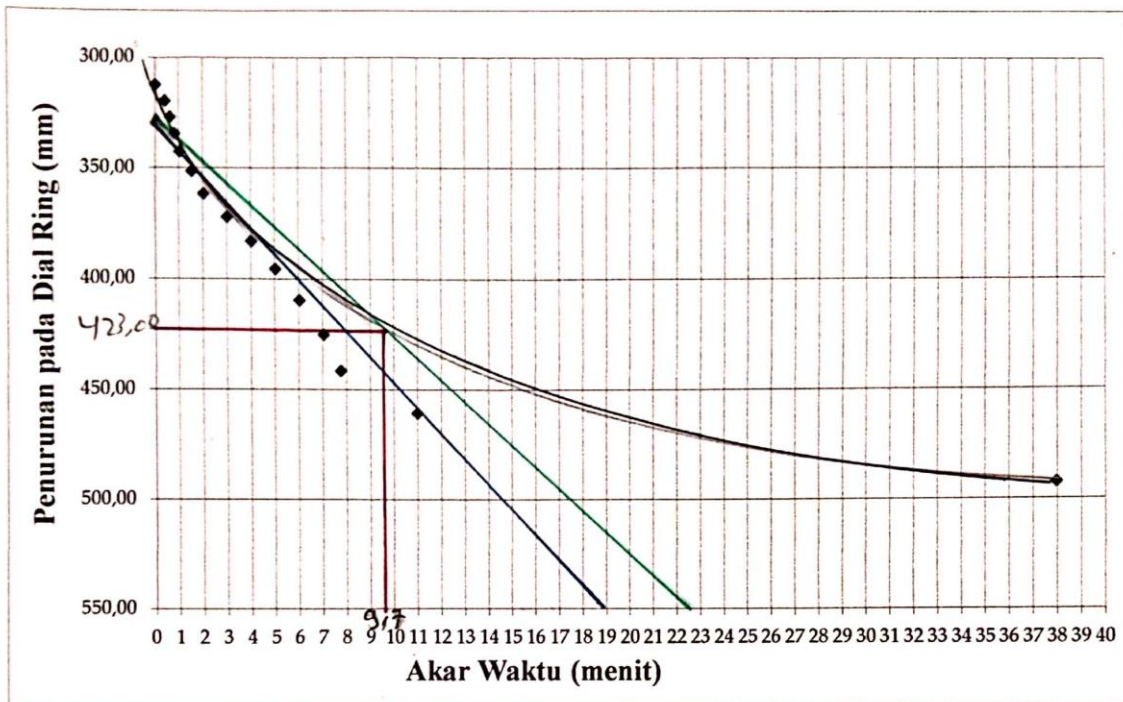


Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 63,33 kg

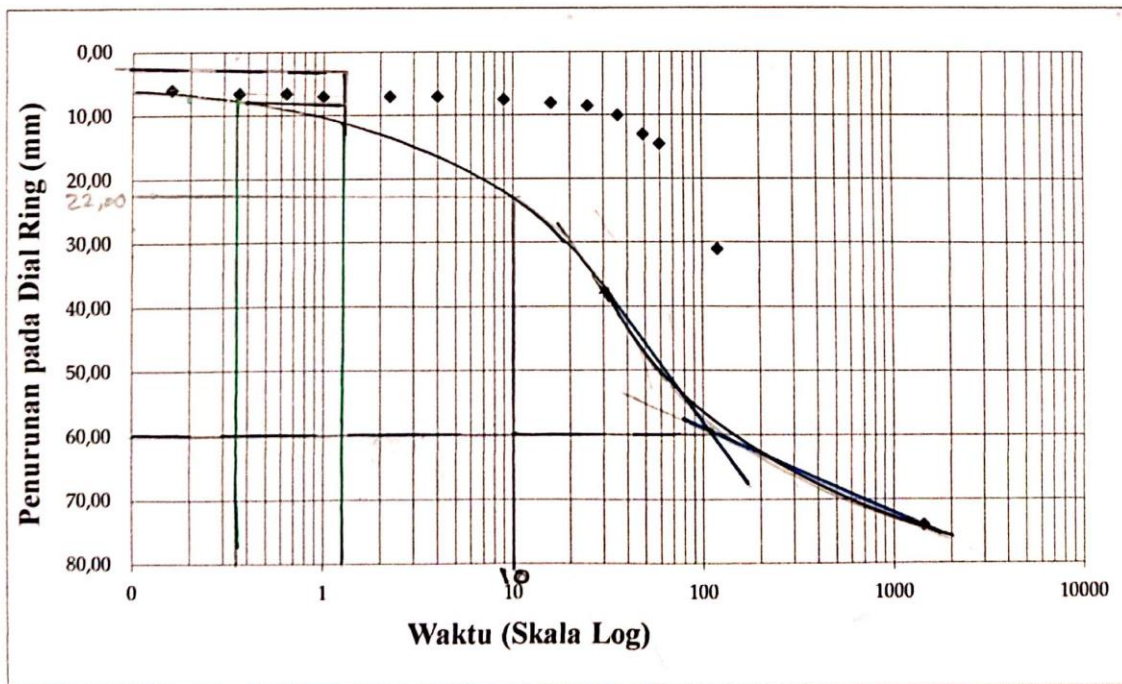


Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 71,15 kg



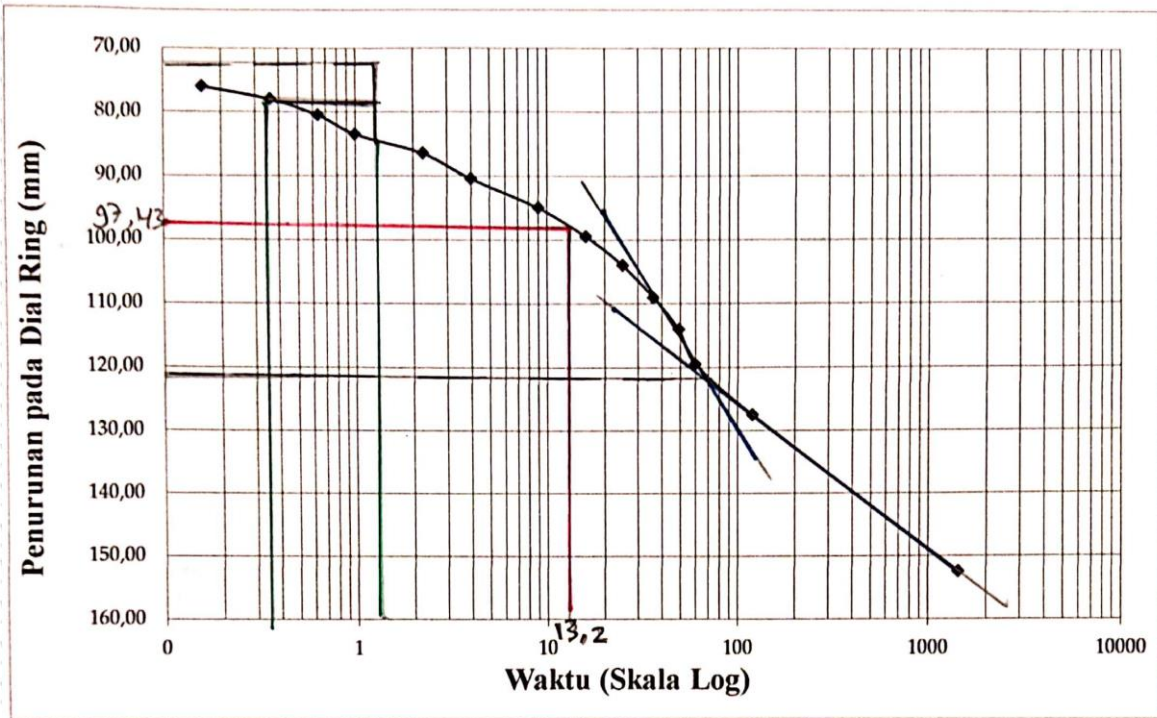


Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 88,02 kg

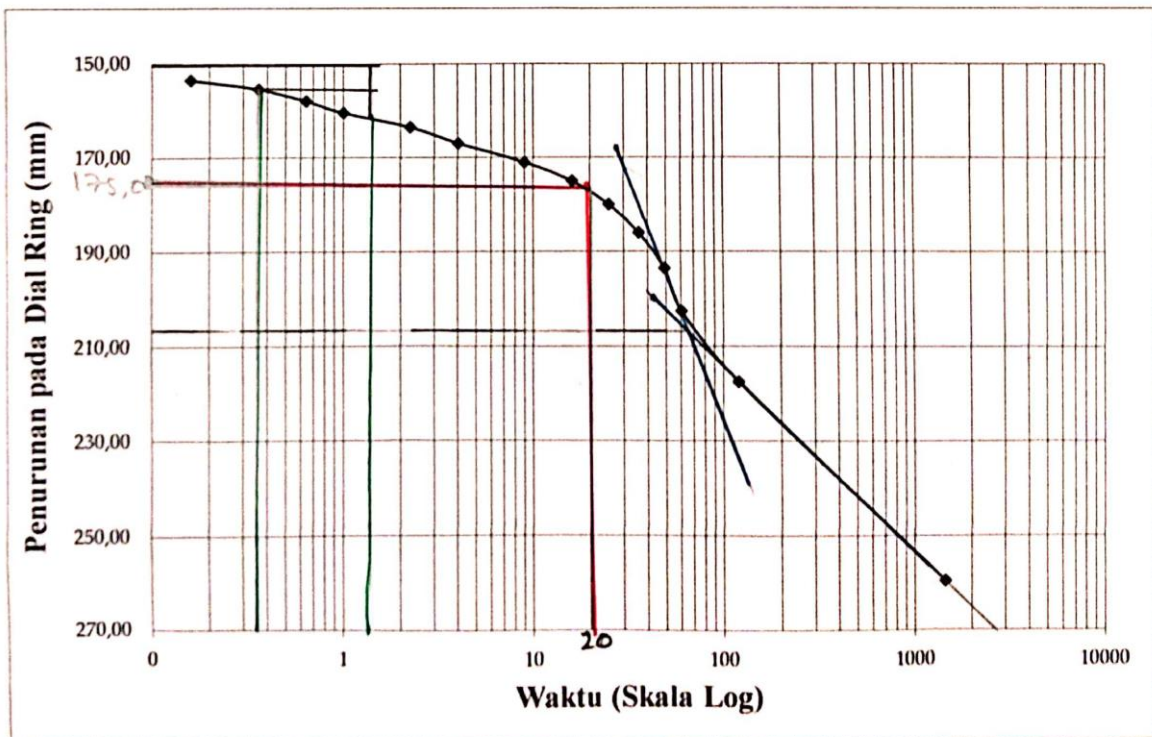


Penurunan Log Waktu Akibat Beban 38,13 kg



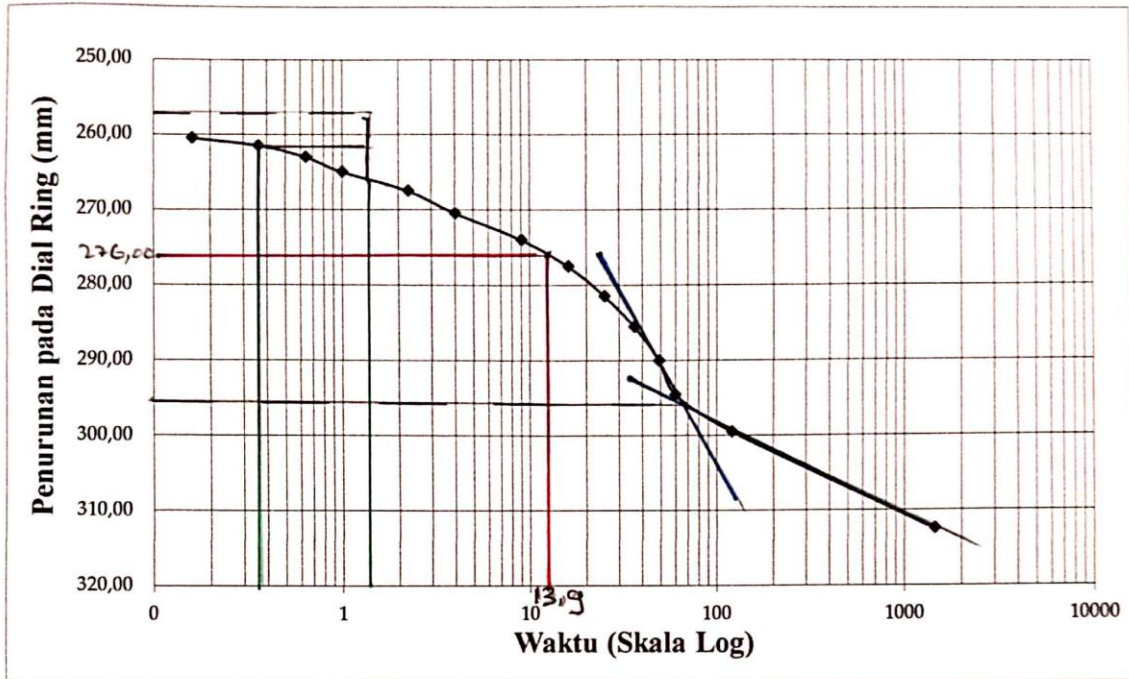


Penurunan Log Waktu Akibat Beban 43,56 kg

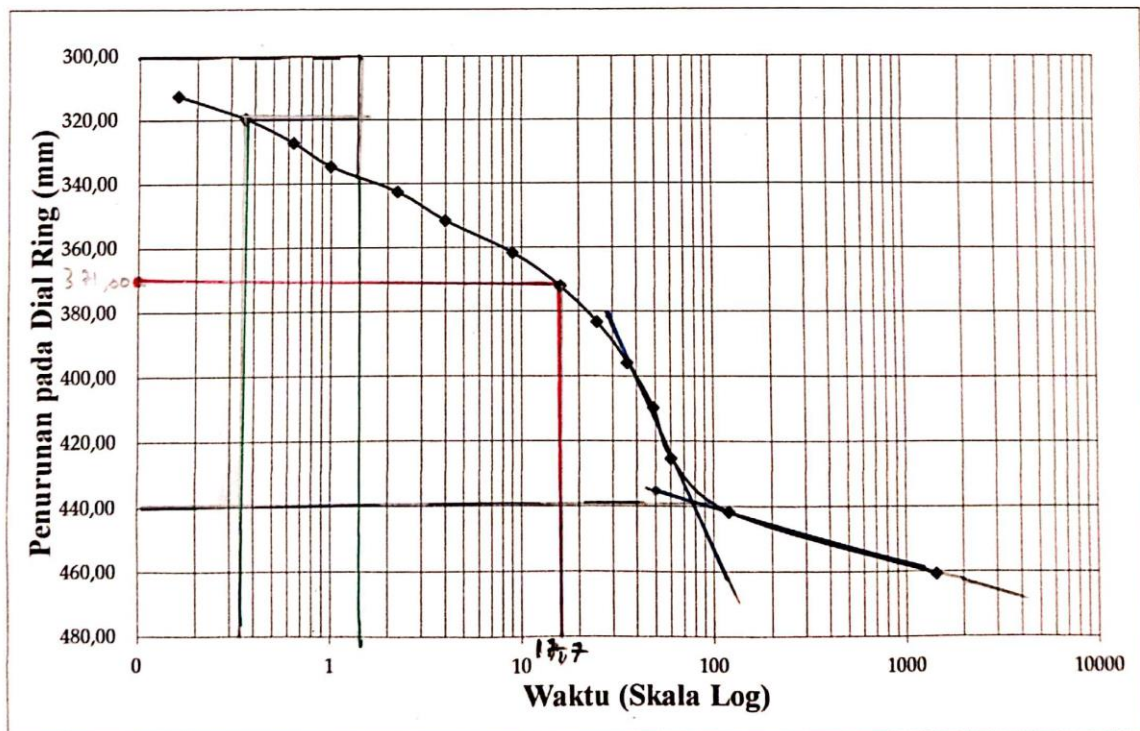


Penurunan Log Waktu Akibat Beban 63,33 kg





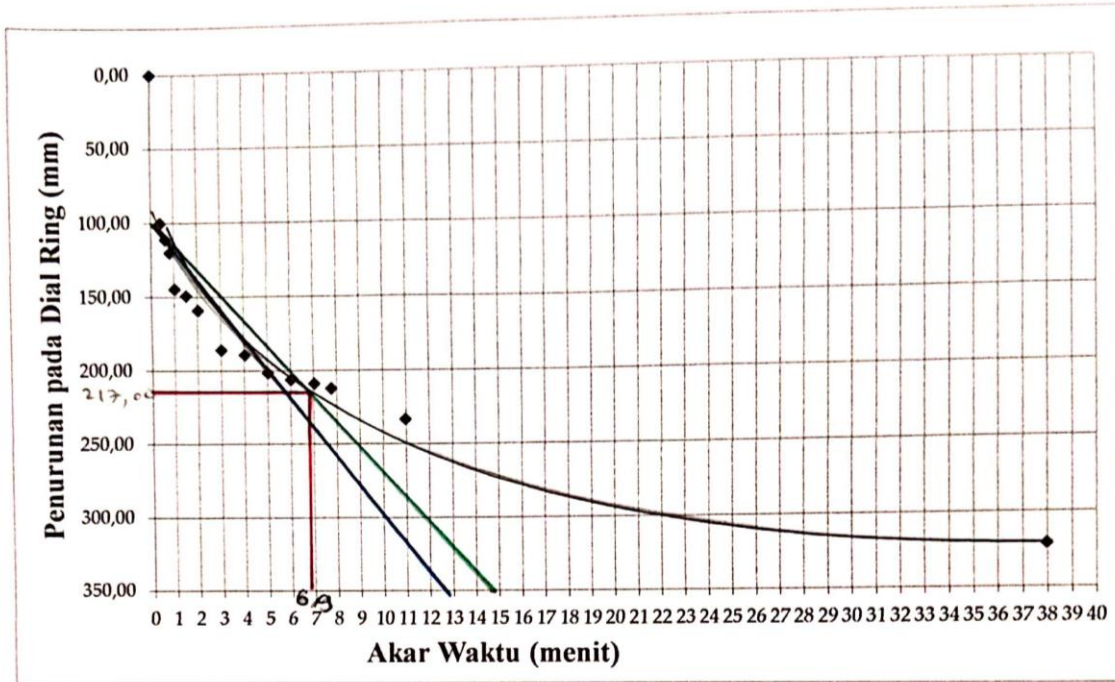
Penurunan Log Waktu Akibat Beban 71,15 kg



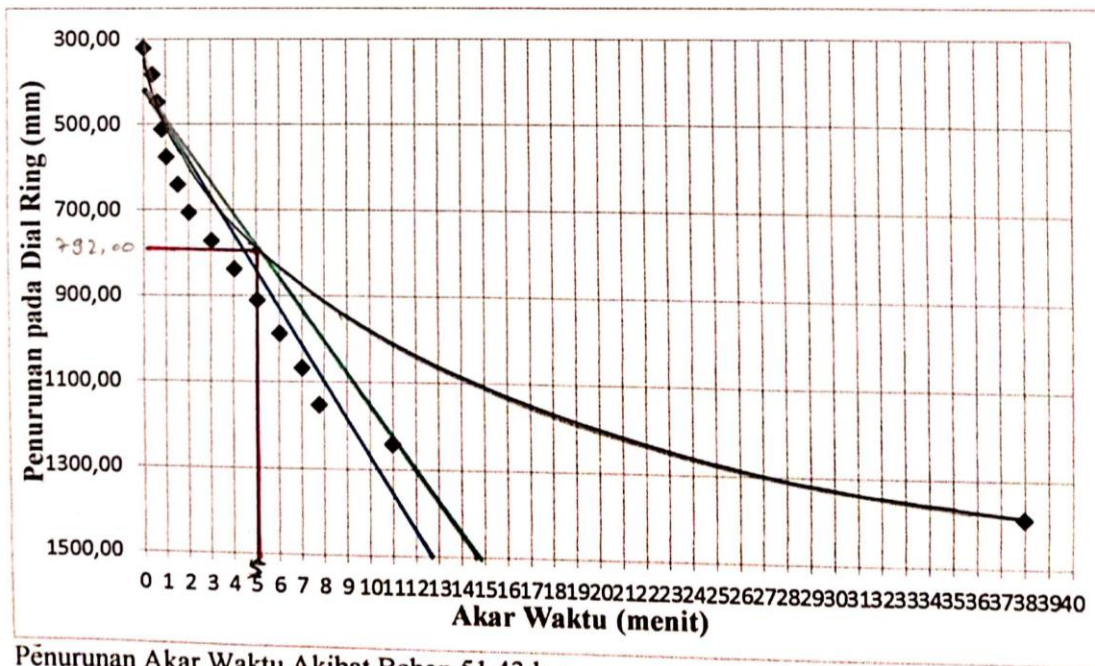
Penurunan Log Waktu Akibat Beban 88,02 kg



PVD kedalaman 30 cm Metode Akar Waktu, (t_{90}) dan metode kecocokan log-waktu (t_{50})

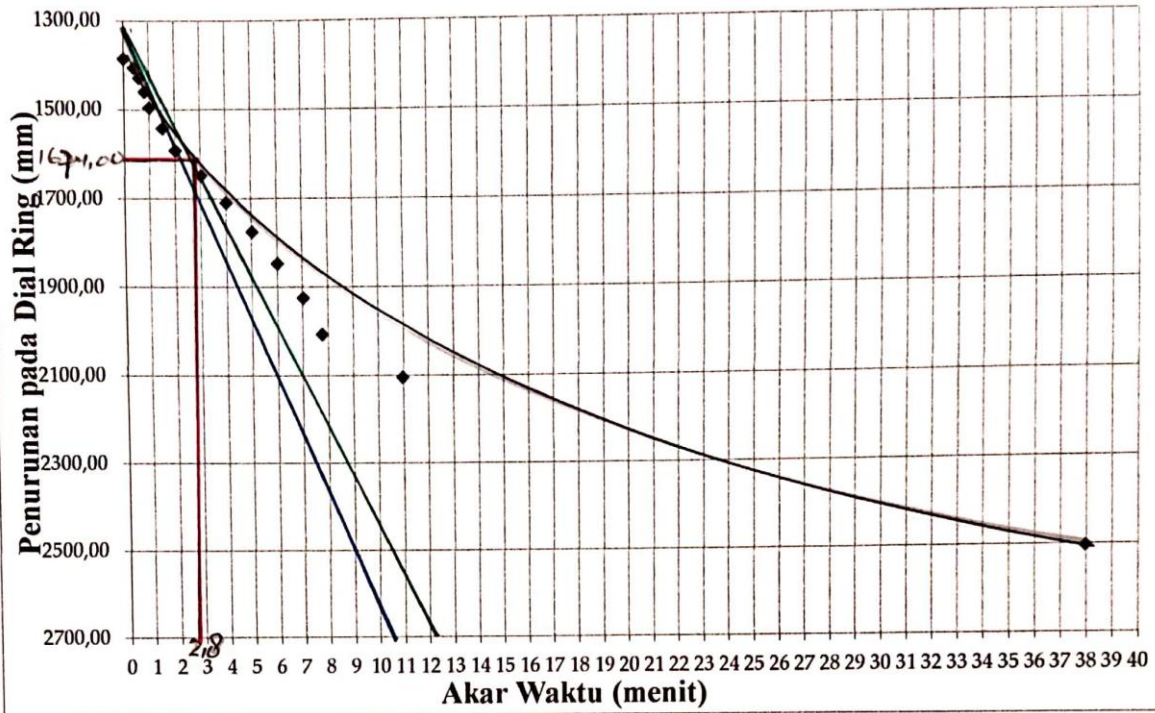


Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 36,67 kg

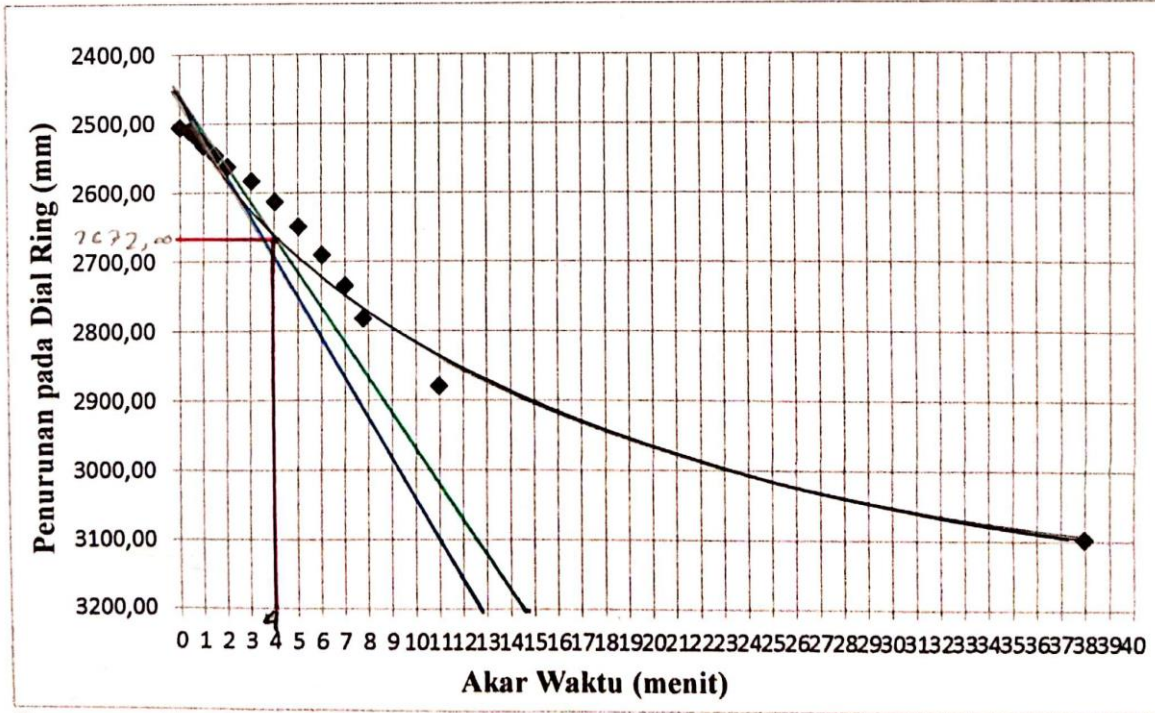


Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 51,43 kg



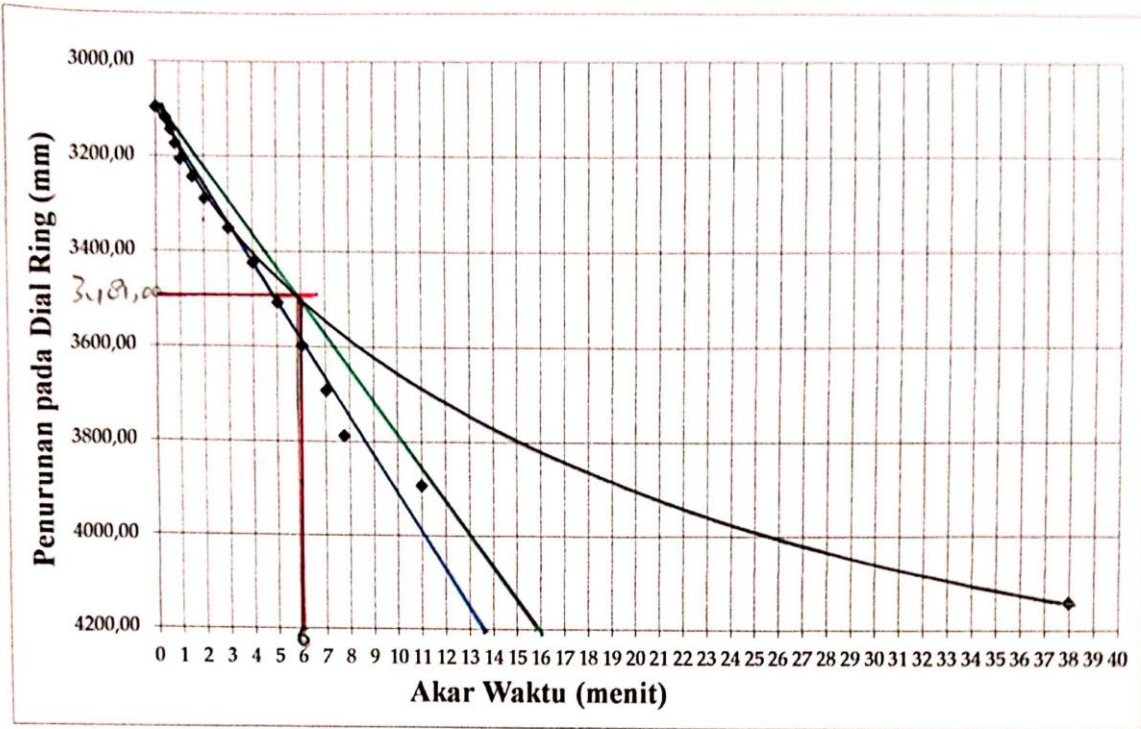


Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 72,5 kg

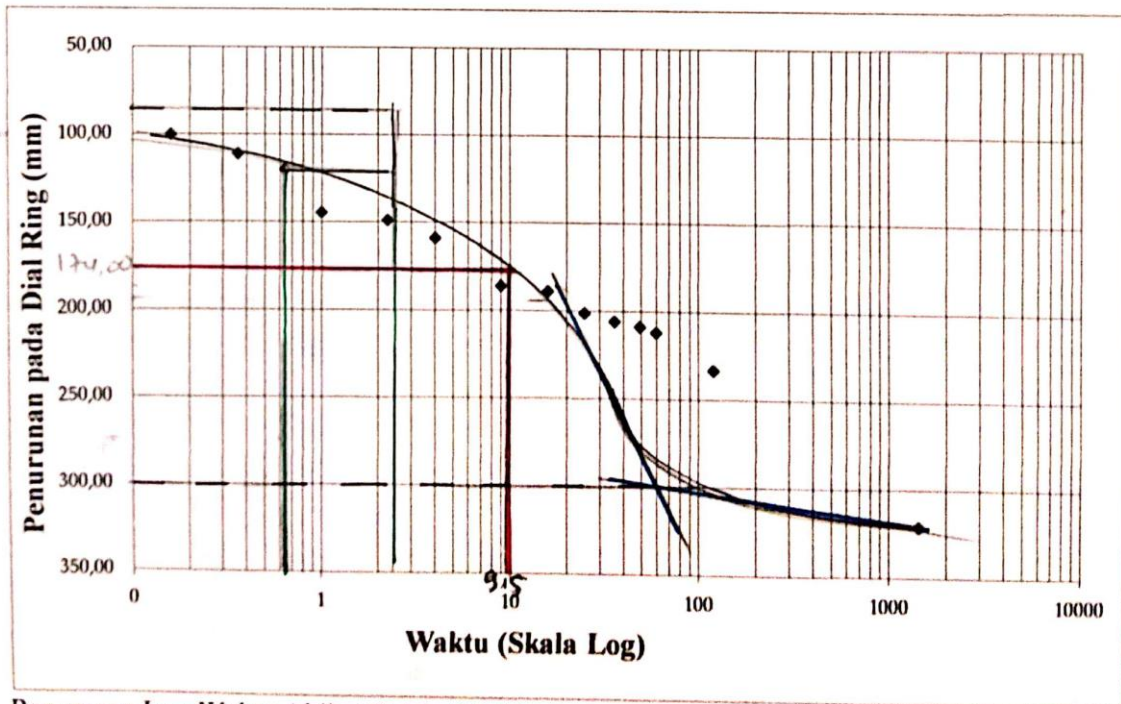


Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 93,33 kg



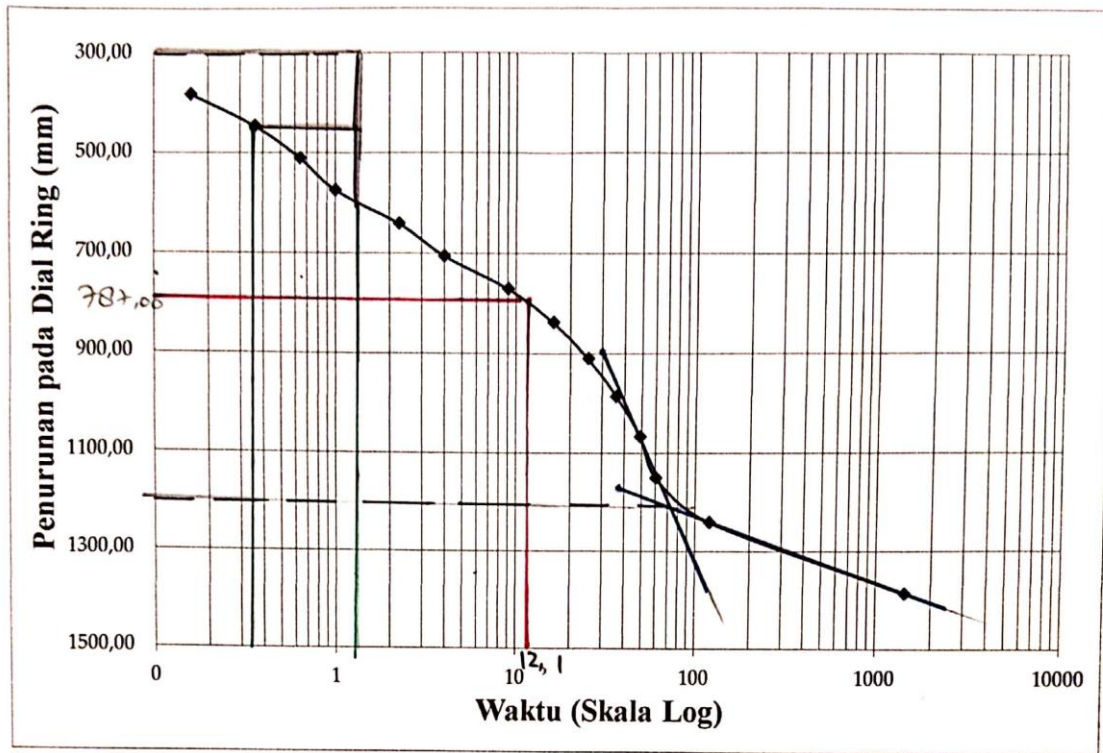


Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 111,8 kg

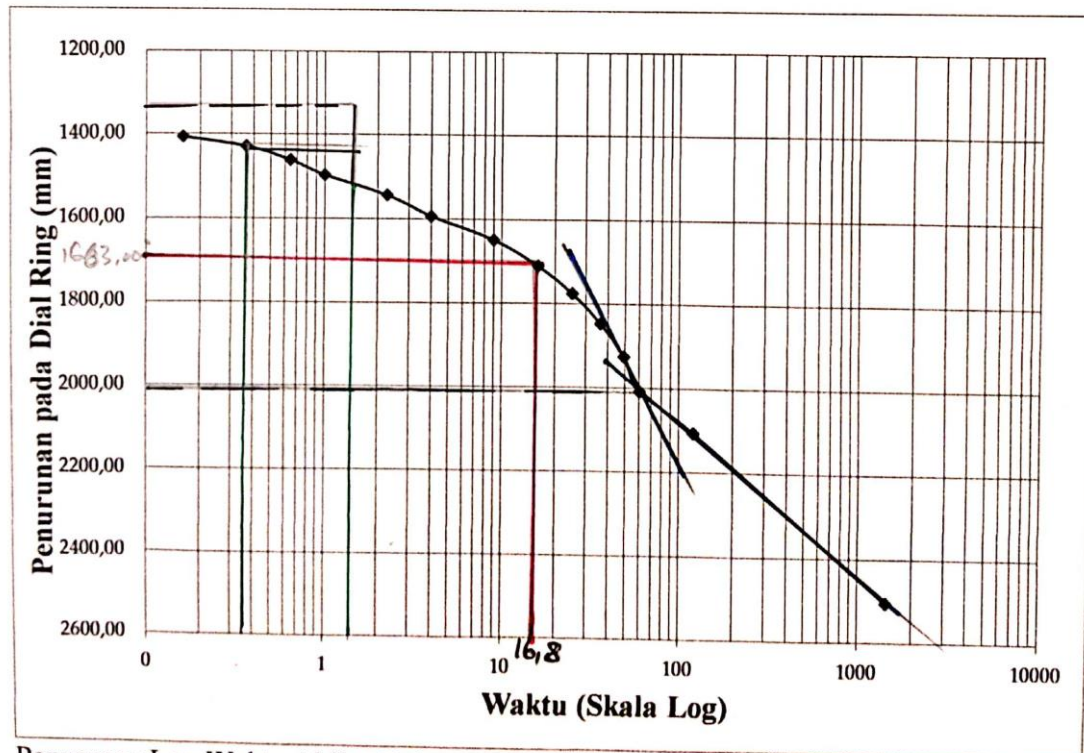


Penurunan Log Waktu Akibat Beban 36,67 kg



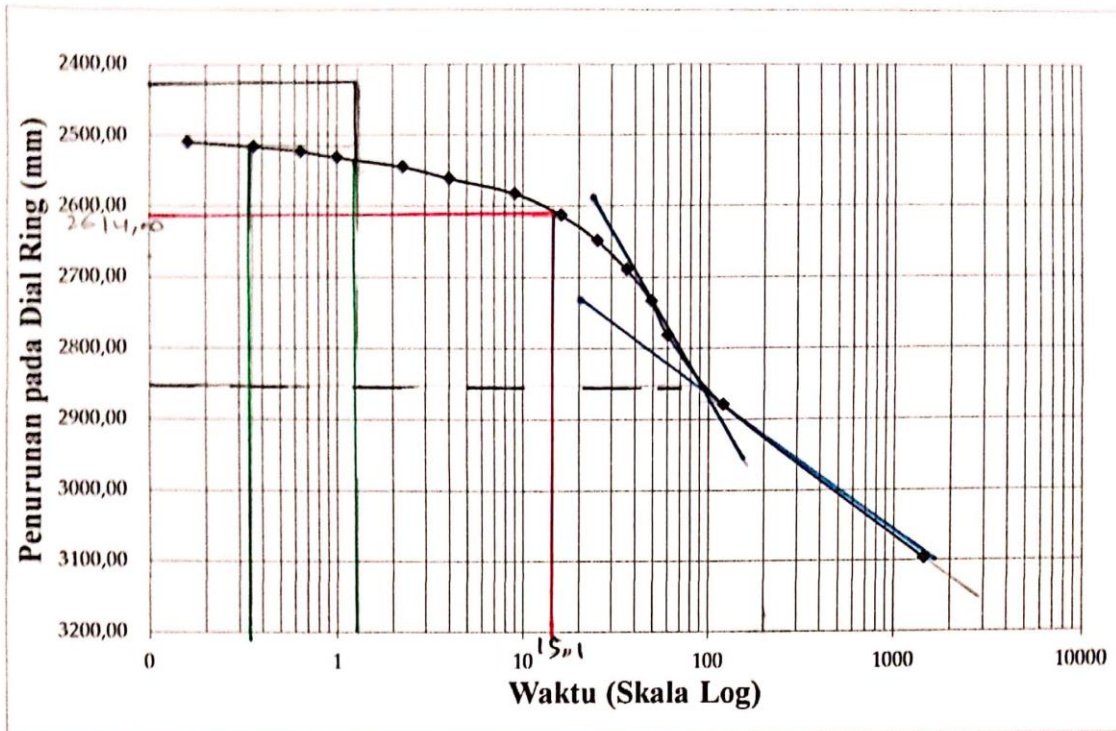


Penurunan Log Waktu Akibat Beban 51,43 kg

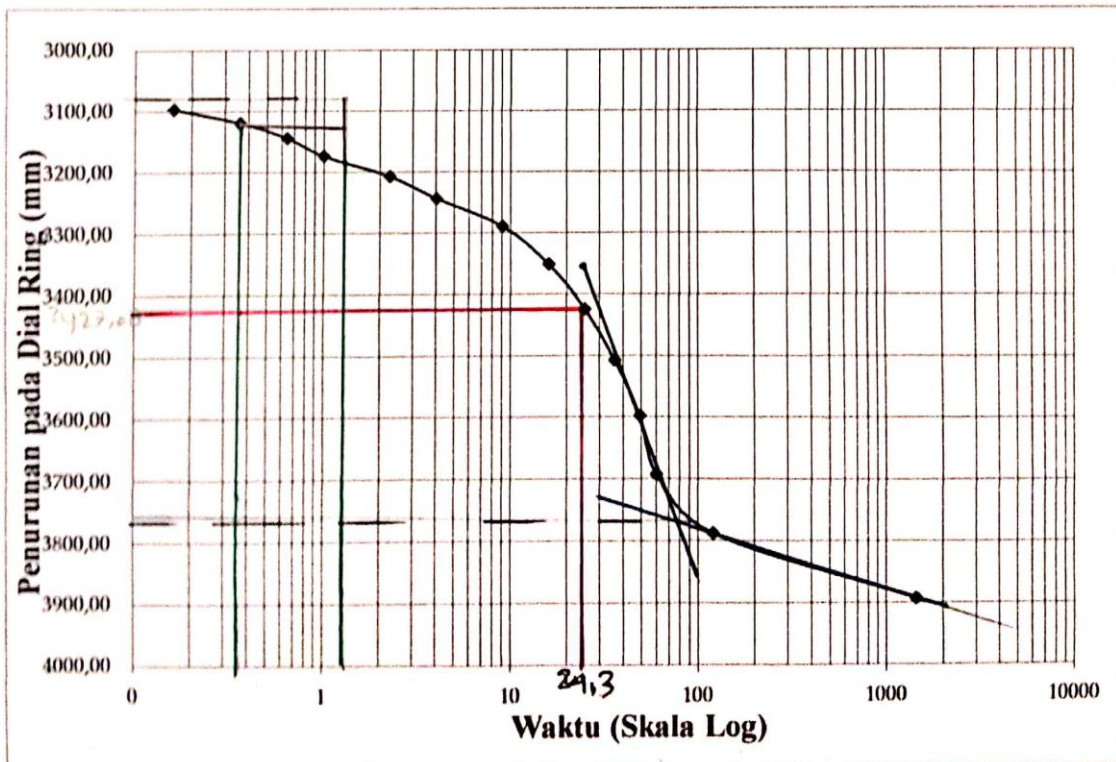


Penurunan Log Waktu Akibat Beban 72,5 kg





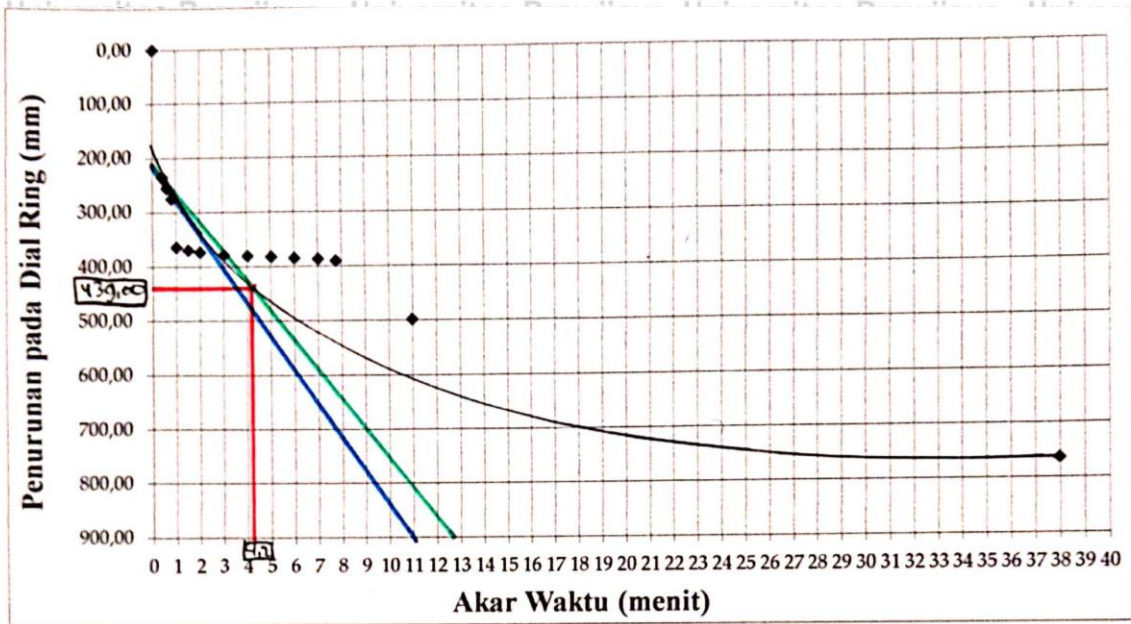
Penurunan Log Waktu Akibat Beban 93,33 kg



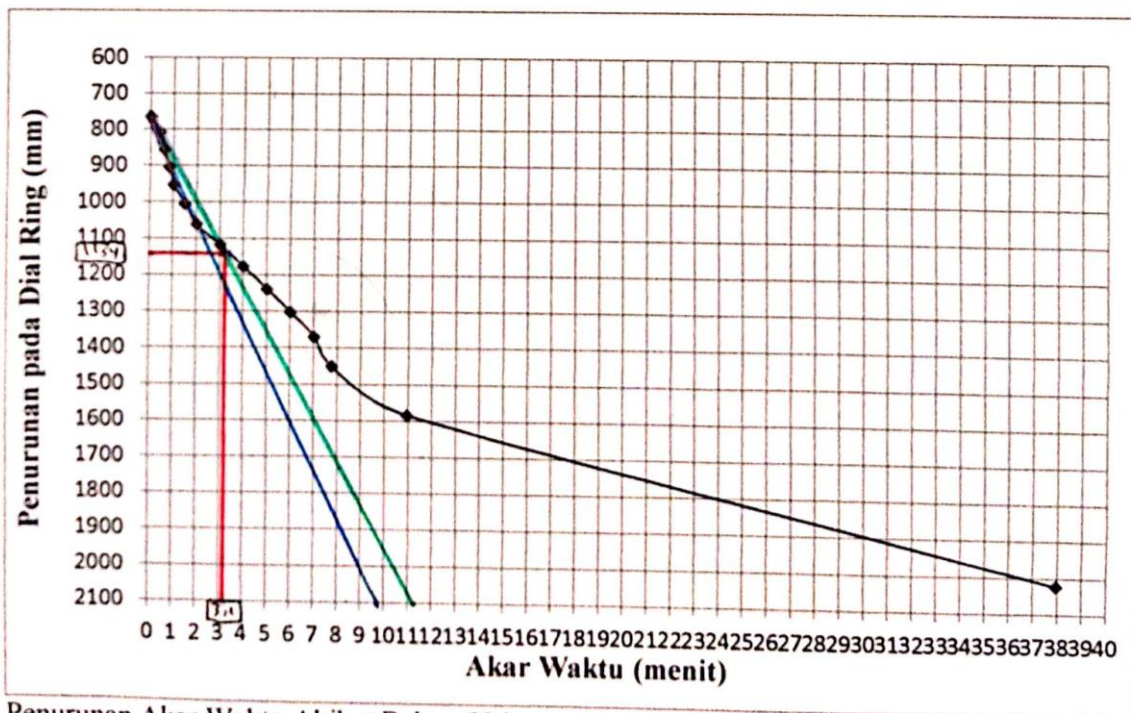
Penurunan Log Waktu Akibat Beban 111,8 kg



PVD kedalaman 40 cm Metode Akar Waktu (t_{90}) dan metode kecocokan log-waktu (t_{50})

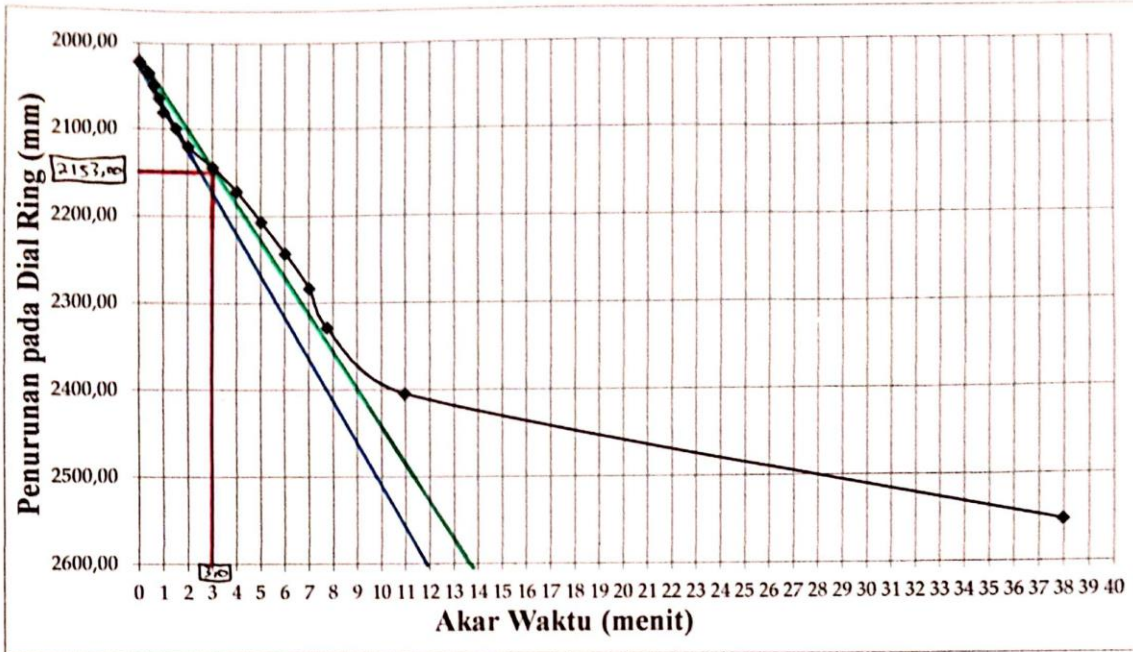


Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 30 kg

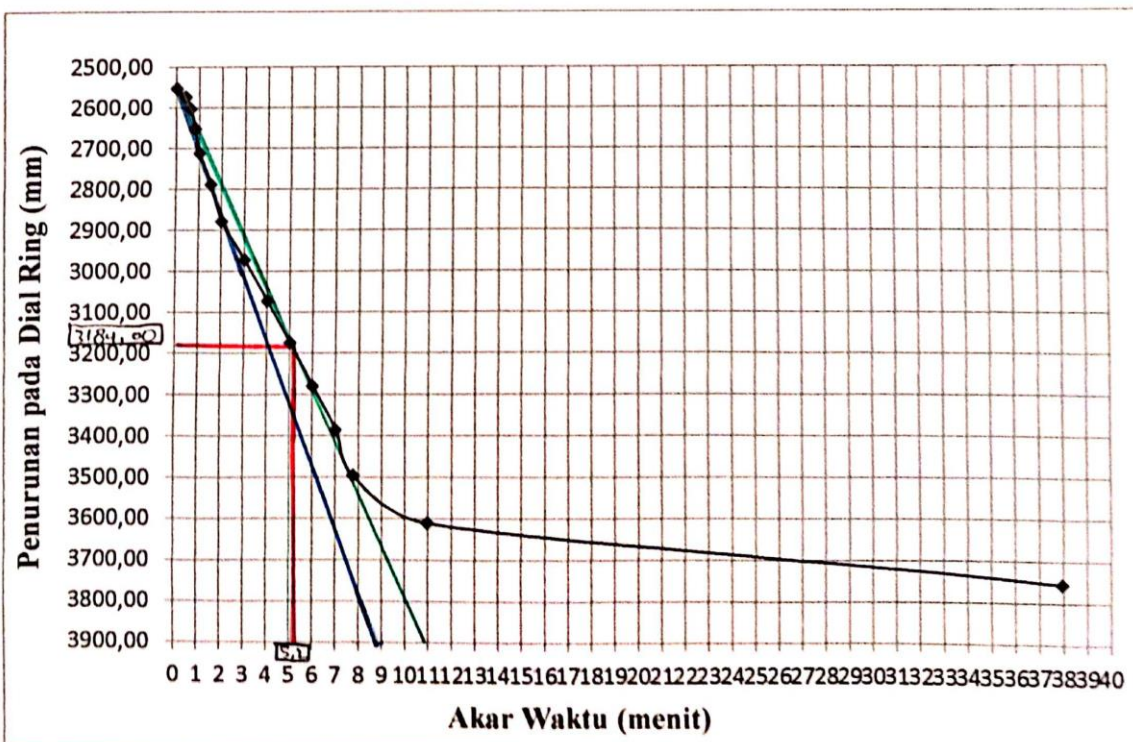


Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 50 kg



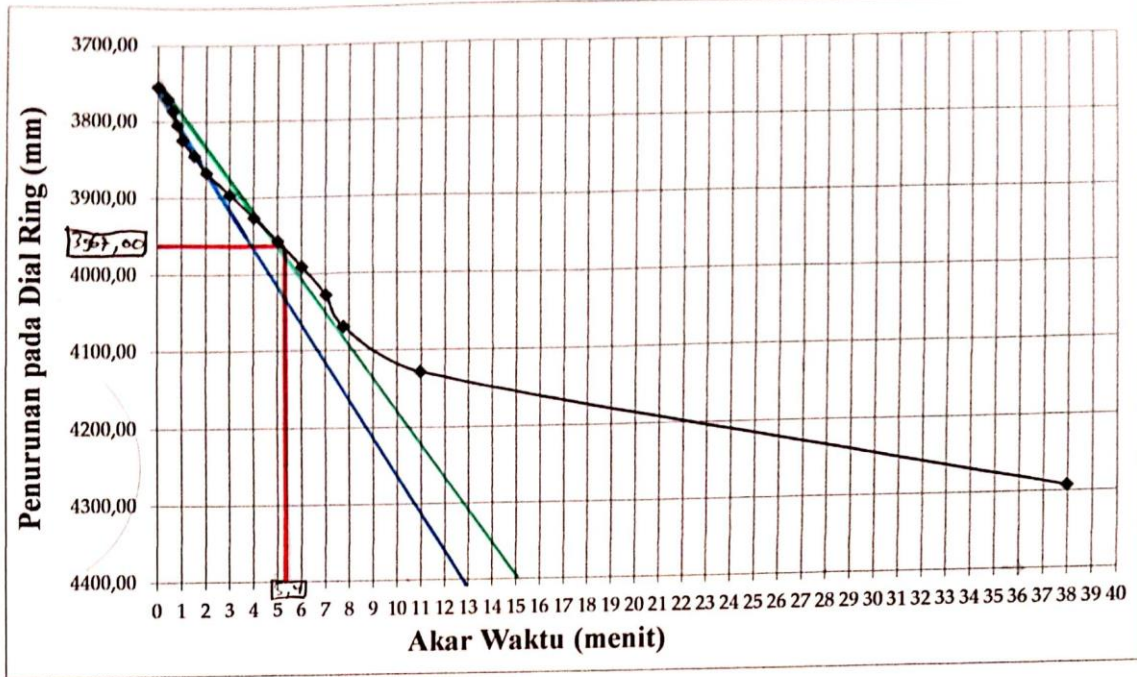


Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 70 kg

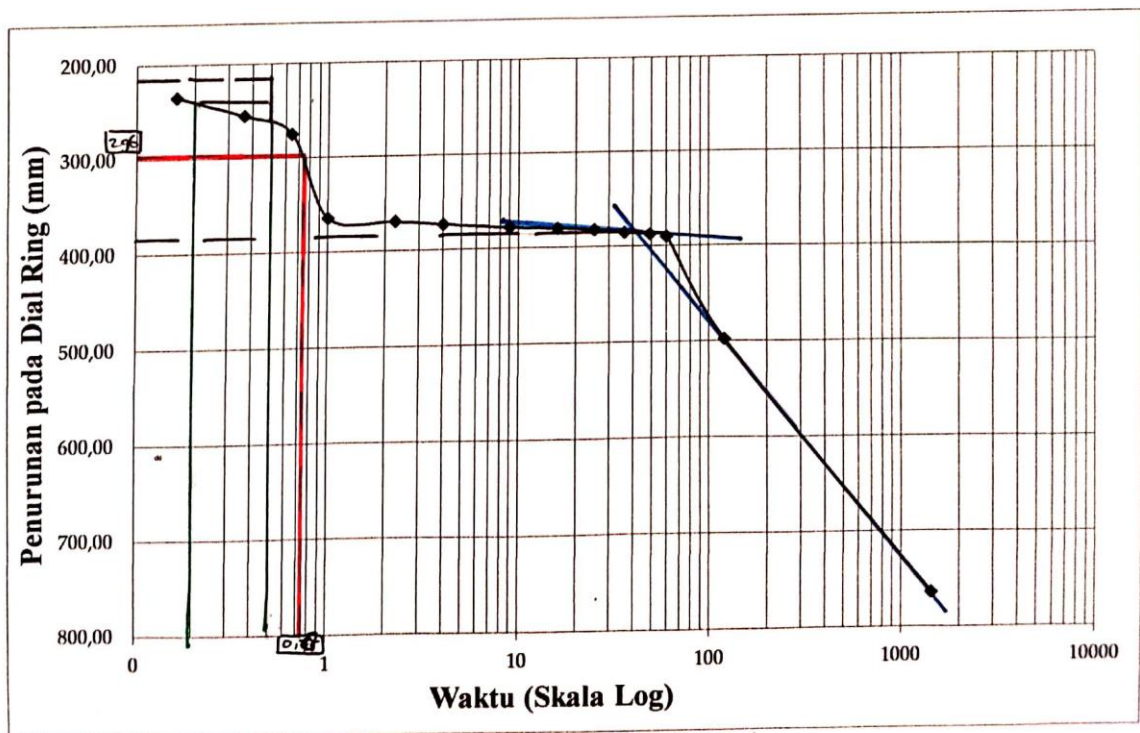


Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 90 kg



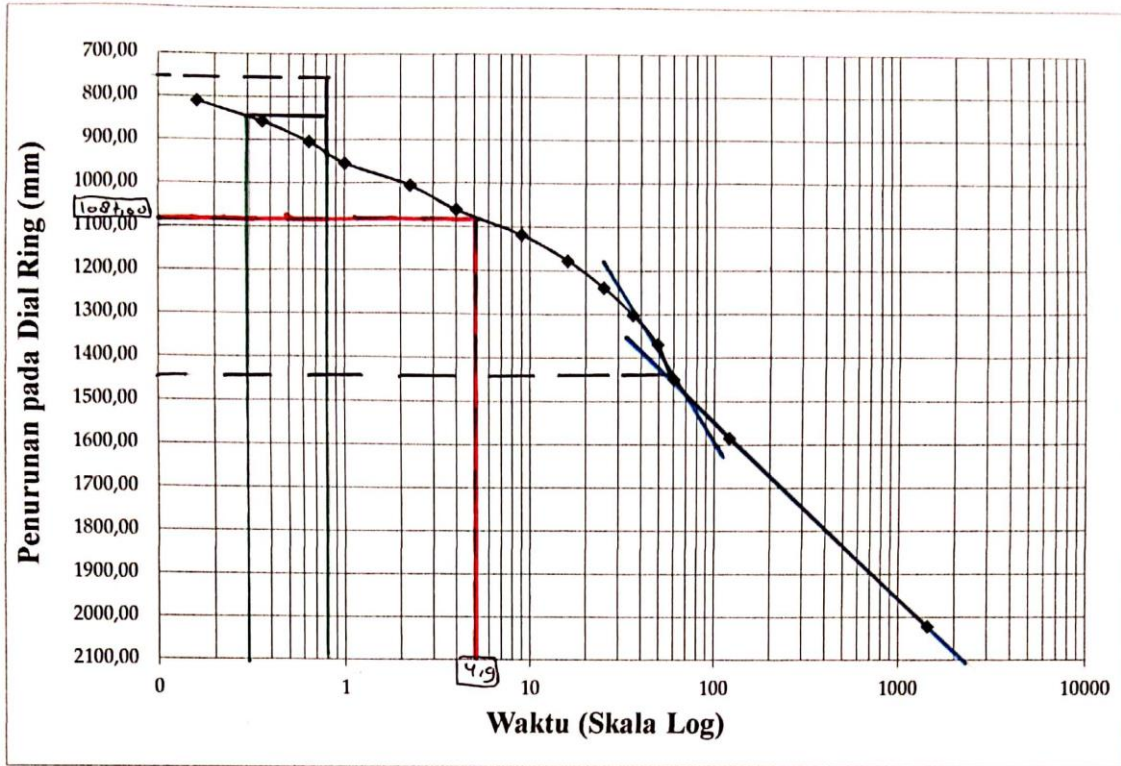


Penurunan Akar Waktu Akibat Beban 110 kg

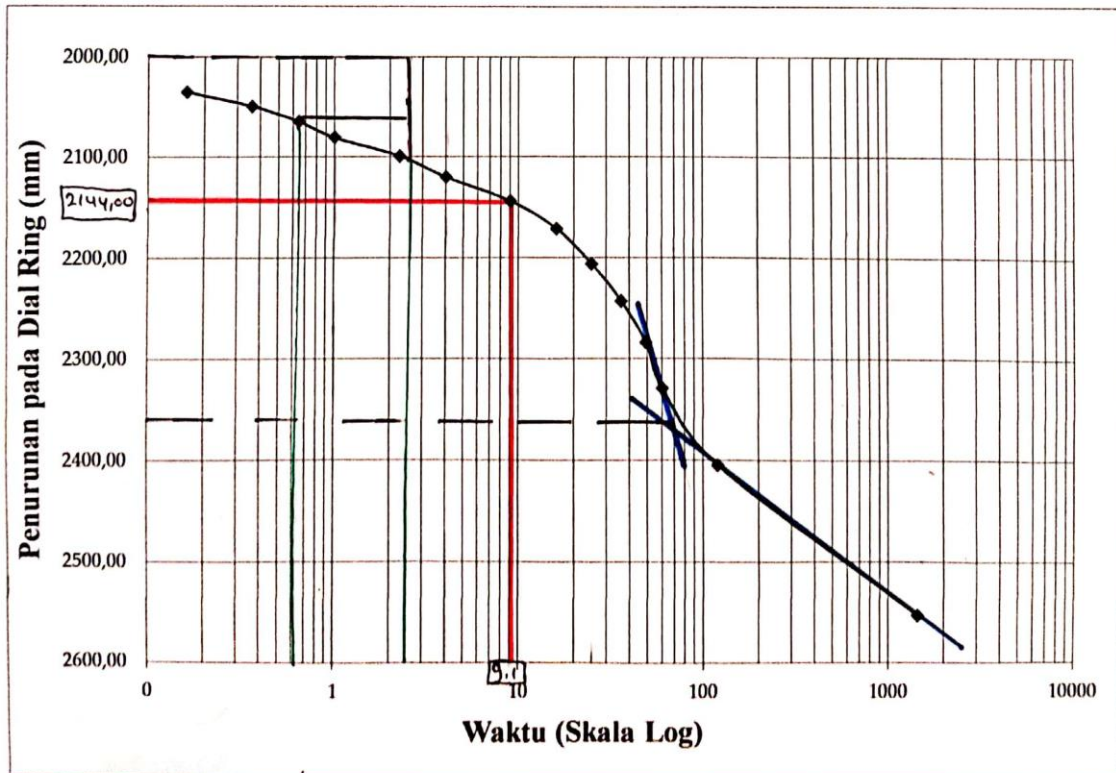


Penurunan Log Waktu Akibat Beban 30 kg



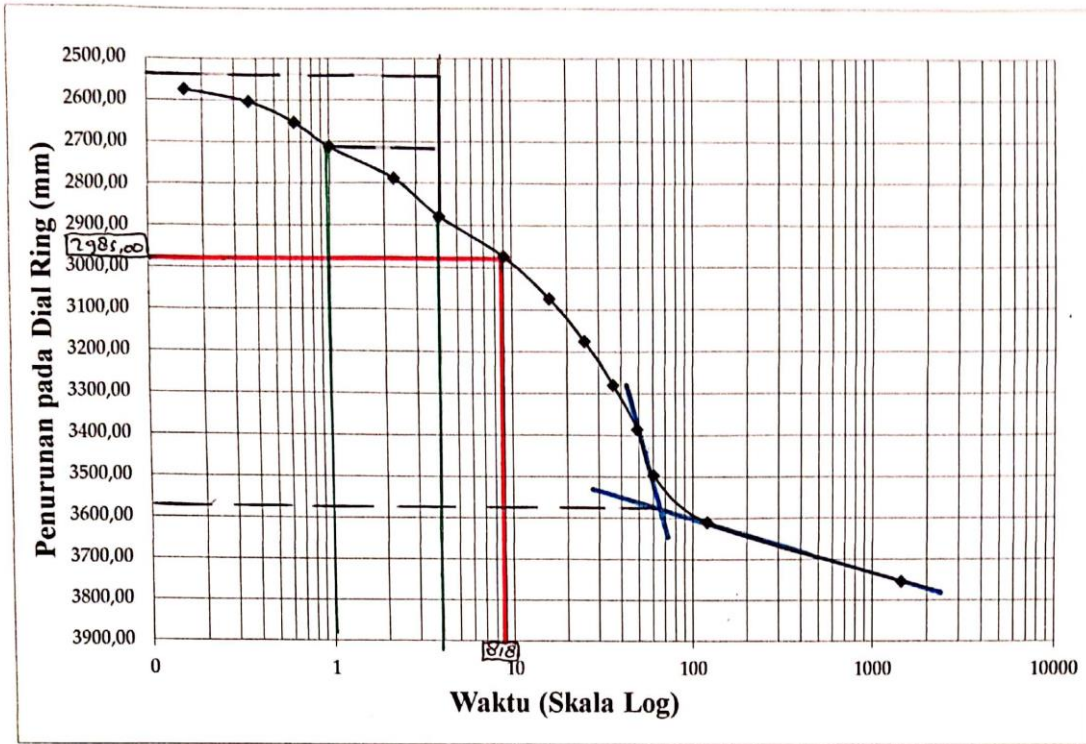


Penurunan Log Waktu Akibat Beban 50 kg

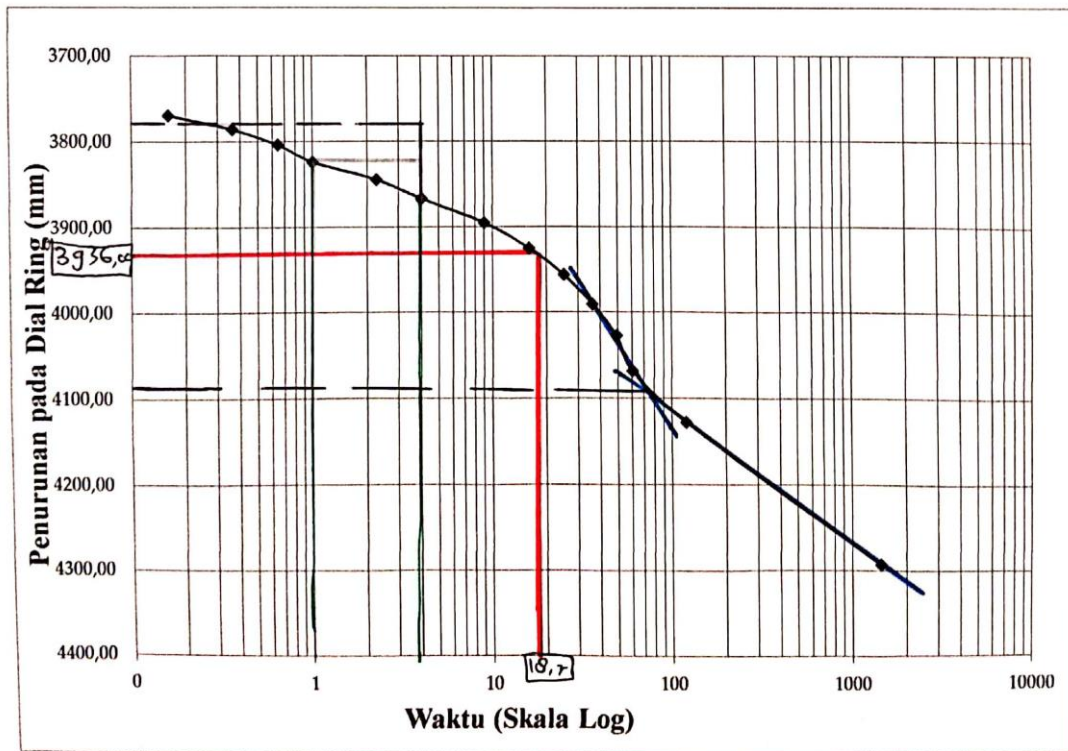


Penurunan Log Waktu Akibat Beban 70 kg





Penurunan Log Waktu Akibat Beban 90 kg



Penurunan Log Waktu Akibat Beban 110 kg



Dokumentasi Laboratorium

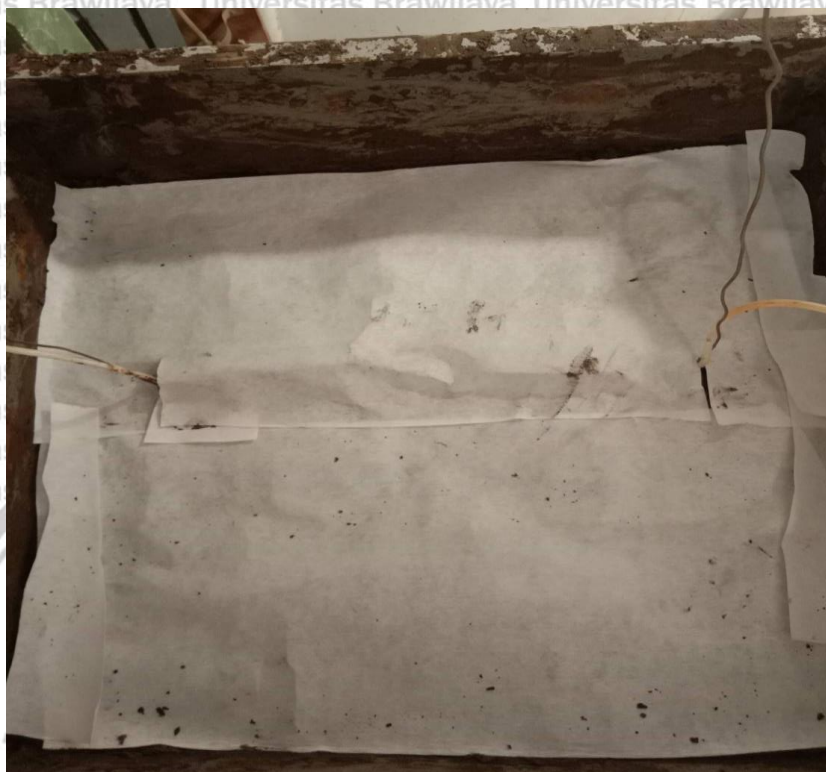
Pembuatan *Slurry*



Pemasangan PVD pola segitiga



Pemasangan kertas pori



Pemasangan Plat dan lengan beban



Pembebanan



Pembebanan selesai



Proses Mengeluarkan air



Uji vane shear

