



**ANALISA PENURUNAN PUNCAK BENDUNGAN DITINJAU DARI
INSTRUMENTASI GEOTEKNIK *MULTI SETTLEMENT LAYER***
(Studi Kasus Proyek Bendungan Jragung Paket 1)

SKRIPSI

Disusun Oleh ,

Acfianita Khairun Nisa

22646007

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK DAN INFORMATIKA
UNIVERSITAS PGRI SEMARANG
2024**



**ANALISA PENURUNAN PUNCAK BENDUNGAN DITINJAU DARI
INSTRUMENTASI GEOTEKNIK *MULTI SETTLEMENT LAYER***
(Studi Kasus Proyek Bendungan Jragung Paket 1)

SKRIPSI

**Diajukan kepada Fakultas Teknik dan Informatika
Universitas PGRI Semarang untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Disusun Oleh,

Acfianita Khairun Nisa

22646007

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK DAN INFORMATIKA
UNIVERSITAS PGRI SEMARANG
2024**

**ANALISA PENURUNAN PUNCAK BENDUNGAN DITINJAU DARI
INSTRUMENTASI GEOTEKNIK *MULTI SETTLEMENT LAYER***
(Studi Kasus Proyek Bendungan Jragung Paket 1)

Disusun dan diajukan oleh,
Acfanita Khairun Nisa
22646007

Telah disetujui oleh pembimbing untuk dilanjutkan
disusun menjadi skripsi
pada tanggal 30 Juli 2024

Dosen Pembimbing I



Dr. Ikhwanudin S.T., M.T.
NIDN. 0610056902

Dosen Pembimbing II



Agung Kristiawan S.T., M.T.
NIDN. 0605037001

HALAMAN PENGESAHAN
SKRIPSI

ANALISA PENURUNAN PUNCAK BENDUNGAN DITINJAU DARI
INSTRUMENTASI GEOTEKNIK *MULTI SETTLEMENT LAYER*

(Studi Kasus Proyek Bendungan Jragung Paket 1)


Disusun dan diajukan oleh,
Acfanita Khairun Nisa
22646007

Telah dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik dan Informatika Universitas PGRI Semarang pada tanggal :
30 Juli 2024


Ketua

Ibnu Iqbal Husodo, S.T., M.T.
NIDN. 0602126902

Sekretaris


Dr. Ikhwanudin, S.T., M.T.
NIDN. 0610056902

Penguji 1,


Dr. Ikhwanudin, S.T., M.T.
NIDN. 0610056902

Penguji 2,


Agung Kristiawan, S.T., M.T.
NIDN. 0605037001

Penguji 3,


Farida Yudaningrum, S.T., M.T.
NIDN. 0617067803

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO :

"Sesungguhnya Allah tidak mengubah keadaan suatu kaum hingga mereka mengubah apa yang ada pada diri mereka. Apabila Allah menghendaki keburukan terhadap suatu kaum, tidak ada yang dapat menolaknya, dan sekali-kali tidak ada pelindung bagi mereka selain Dia.." (QS. Ar – Rad : 11)

PERSEMBAHAN :

1. Pertama saya panjatkan puji dan syukur kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kenikmatan dan kemudahan dalam segala hal termasuk penyelesaian skripsi ini.
2. Kedua orang tua, adik-adik, keluarga besar, dan pasangan saya yang selalu mendoakan saya dan memberi dukungan secara psikis untuk kelancaran penyelesaian skripsi saya.
3. Terimakasih kepada seluruh dosen Teknik Sipil atas segala ilmu yang diberikan. Serta untuk keluarga besar Teknik Sipil UPGRIS, terimakasih atas segala motivasi, dukungan dan memberikan kemudahan selama proses pengajuan judul dan bimbingan hingga skripsi ini dapat terselesaikan.
4. Terimakasih kepada sahabat – sahabat saya dan orang – orang baik yang ada di hidup saya yang selalu membantu tanpa pamrih dan memberikan semangat yang tiada putusnya.
5. Terimakasih kepada segala pihak yang terkait pada proses pembangunan Proyek Bendungan Jragung, terutama Proyek Bendungan Paket 1 yang meliputi BBWS Pemali Juana sebagai pemilik proyek, PT Rayakonsult KSO selaku Konsultan Supervisi dan PT Waskita Karya (Persero) Tbk. yang telah mengizinkan, memberi bimbingan, dan ilmu yang tak terhingga dalam proses penelitian saya.
6. Teruntuk diri saya terimakasih sudah berusaha semaksimal mungkin hingga

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Acfianita Khairun Nisa
NPM : 22646007
Prodi : Teknik Sipil
Fakultas : Fakultas Teknik dan Informatika
Pembimbing : 1. Dr. Ikhwanudin, S.T., M.T.
2. Agung Kristiawan, S.T., M.T.

Dengan ini menyatakan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul ANALISA PENURUNAN PUNCAK BENDUNGAN DITINJAU DARI INSTRUMENTASI GEOTEKNIK *MULTI SETTLEMENT LAYER* (Studi Kasus Proyek Bendungan Jragung Paket 1) adalah benar – benar hasil karya saya sendiri. Dalam skripsi ini tidak ada kutipan hasil karya orang lain yang tidak disebutkan sumbernya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan apabila pernyataan ini tidak benar dikemudian hari, kami bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Semarang, 25 Juli 2024

Yang membuat pernyataan



Acfianita Khairun Nisa

NPM. 22646007

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penurunan pada tubuh bendungan yang ditinjau dari instrumentasi geoteknik *multi settlement layer* studi kasus Proyek Bendungan Jragung Paket 1. Monitoring instrumentasi geoteknik ini dilakukan pada periode 1 Oktober 2023 hingga 31 Maret 2024. Hasil monitoring tersebut kemudian diperkuat dengan analisa menggunakan *Geo Studio SIGMA/W*. Data hasil monitoring dan analisa berupa kuantitatif dan penjelasan kualitatif. Hasil monitoring instrumentasi pada Plat Magnet yang terpasang pada STA 0+499 pada saat masa konstruksi yaitu elevasi +70.00 mengalami penurunan sebesar **0,036 m**. Sedangkan analisa dengan *Geo Studio* adalah **0,046 m**. Perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu *human eror*, metode kerja, material yang digunakan, faktor cuaca dan faktor alam. Kemudian hasil analisa penurunan yang terjadi pada saat masa *impounding* adalah sebesar **0,588 m**. Oleh karena itu diperlukan adanya timbunan ekstra (*camber*). Setelah bendungan beroperasi selama 10 tahun, berdasarkan hasil *analisa Geo Studio* pada STA 0+499 menunjukkan penurunan sebesar **0,590 m** dengan penurunan terbesar di elevasi +90.00. Setelah 30 tahun beroperasi penurunan yang terjadi adalah **0,585 m** pada elevasi +90.00. Berdasarkan hasil analisa, desain timbunan ekstra (*camber*) **60 cm** aman dari kemungkinan penurunan hingga tanah terkonsolidasi dengan sempurna. Hanya saja tetap perlu dilakukan monitoring instrumentasi dan perawatan rutin untuk menjaga pengoperasian bendungan agar dapat bermanfaat dan berjalan dengan baik.

Kata Kunci : Penurunan Tanah, Konsolidasi Tanah, Instrumentasi Geoteknik, Puncak Bendungan

ABSTRACT

*This study aims to determine the settlement in the maindam, reviewed from the perspective of multi-settlement layer geotechnical instrumentation study case Jragung Dam Project Package 1. This geotechnical instrumentation monitoring was conducted from October 1, 2023, to March 31, 2024. The monitoring results were then reinforced with analysis using Geo Studio SIGMA/W. The monitoring and analysis data were presented in both quantitative and qualitative explanations. The monitoring results of the Magnet Plate installed at STA 0+499 during the construction phase, at an elevation of +70.00, showed a settlement of **0.036 m**. In contrast, the analysis with Geo Studio showed a settlement of **0.046 m**. This difference could be attributed to several factors, such as human error, working methods, materials used, weather conditions, and natural factors. The analysis results also indicated that during the impounding phase, the settlement was **0.588 m**. Therefore, additional fill (camber) is required. After 10 years of dam operation, based on Geo Studio analysis at STA 0+499, the settlement showed **0.590 m**, with the greatest settlement at an elevation of +90.00. After 30 years of operation, the settlement observed was **0.585 m** at an elevation of +90.00. Based on the analysis, the design of the additional fill (camber) of **60 cm** is deemed safe from potential settlement until the soil is fully consolidated. However, continuous instrumentation monitoring and regular maintenance are necessary to ensure the dam operates effectively and provides benefits as intended.*

Keywords: *Soil Settlement, Soil Consolidation, Geotechnical Instrumentation, Dam Crest*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT, berkat Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga peneliti dapat menyusun dan menyelesaikan skripsi ini dengan lancar. Penyusunan skripsi sebagai pemenuhan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Strata 1, dengan judul :

**“ANALISA PENURUNAN PUNCAK BENDUNGAN DITINJAU DARI
INSTRUMENTASI GEOTEKNIK *MULTI SETTLEMENT LAYER*
(Studi Kasus Proyek Bendungan Jragung Paket 1)“**

Dalam proses penelitian hingga penyusunan skripsi ini tentunya ada kesulitan, hambatan dan rintangan yang dialami oleh peneliti. Meskipun demikian segala kesulitan, hambatan, dan rintangan dapat teratasi dengan baik, karena adanya dorongan tekad yang kuat dari dalam diri sendiri, serta bantuan, saran, nasihat, dan semangat dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini peneliti ingin menyampaikan ucapan terimakasih yang tulus sepenuh hati kepada :

1. Ibu Dr. Sri Suciati, M.Hum. selaku Rektor Universitas PGRI Semarang yang telah memberi kesempatan kepada penulis untuk menimba ilmu di Universitas PGRI Semarang.
2. Bapak Ibnu Toto Husodo, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik dan Informatika yang telah memberikan izin penulis untuk melakukan penelitian.
3. Bapak Dr. Ikhwanudin, S.T., M.T, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil sekaligus Pembimbing I yang telah menyetujui topik skripsi penulis serta memberikan bimbingan dan mengarahkan penulis dengan penuh ketekunan dan kecermatan.
4. Bapak Agung Kristiawan S.T., M.T, selaku Dosen Wali dan Pembimbing II yang telah membimbing penulis dengan penuh dedikasi yang tinggi.
5. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Sipil yang telah memberi bekal ilmu kepada penulis selama belajar di Universitas PGRI Semarang.

6. Seluruh pekerja yang terlibat dalam Pembangunan Proyek Bendungan Jragung. Terutama PT Waskita Karya (Persero) Tbk. yang telah mengizinkan dan memberi tempat untuk belajar dan melakukan penelitian.
7. Kedua orang tua, adik-adik saya, keluarga besar saya, serta sahabat dan teman-teman saya yang telah memberikan bantuan dukungan dalam doa, material dan moral.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis menerima kritik dan saran yang bersifat membangun dalam penyempurnaan skripsi ini.

Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi para pembaca khususnya dari kalangan Teknik Sipil.

Semarang, 25 Juli 2024

Penulis,

Acfianita Khairun Nisa

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR NOTASI.....	xviii
DAFTAR ISTILAH	xx
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat.....	4
1.6 Urgensi Penelitian	5
1.7 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II.....	7
2.1 Pengertian Bendungan.....	7
2.2 Klasifikasi Bendungan	7
2.3 Bendungan Tipe Urugan.....	8
2.3.1. Bendungan Urugan Tanah Zona Inti Tegak	10
2.4 Parameter Analisis.....	11
2.3.2. Kuat Geser Tanah.....	13
2.5 Penurunan atau Deformasi Vertikal.....	15
2.6 Jenis-Jenis Penurunan Tanah.....	18
2.7 Timbunan Ekstra Puncak Bendungan (<i>Camber</i>).....	22
2.8 Intrumentasi Bendungan	24

2.8.1	Jenis-Jenis Instrumentasi Bendungan.....	25
2.9	Software <i>Geo-Studio</i>	35
2.10	Penelitian Terdahulu.....	44
BAB III	50
3.1	Jenis Penelitian.....	50
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian.....	50
3.3	Sumber Data.....	51
3.3.1	Data Primer	51
3.3.2	Data Sekunder.....	52
3.4	Teknik Pengumpulan Data	52
3.5	Instrumen Penelitian.....	52
3.5.1	Instrumentasi Geoteknik <i>Ekstensometer / Iclinometer</i>	53
3.5.2	<i>Software Geo Studio</i>	53
3.5.3	<i>Laptop / PC</i>	53
3.6	Teknik Analisa Data	53
3.6.1	Pengolahan Data (<i>Data Process</i>)	54
3.6.2	Penyajian Data (<i>Display Data</i>)	54
3.6.3	Penarikan Kesimpulan (<i>Concluding Verification</i>)	54
3.7	Diagram Alir Penelitian.....	55
BAB IV	56
4.1	Data Teknis Bendungan Jragung.....	56
4.2	Data Properti Tanah.....	59
4.3	Pemasangan Alat Instrumentasi.....	64
4.3.1	Titik Lokasi Pemasangan <i>Ekstensometer / Inclinometer</i>	64
4.3.2	Metode Pelaksanaan Pemasangan <i>Ekstensometer</i>	70
4.3.3	Monitoring Pembacaan Alat Instrumentasi	76
4.4	Analisa <i>Geo Studio</i>	79
4.4.1	Analisa Penurunan Tanah Sebelum Konstruksi (<i>Insitu</i>)	83
4.4.2	Analisa Penurunan Tanah Saat Masa Konstruksi	84
4.4.3	Analisa Penurunan Tanah Saat Masa Impounding	86
4.4.4	Analisa Penurunan Tanah Konsolidasi 10 Tahun	88
4.4.5	Analisa Penurunan Tanah Konsolidasi 30 Tahun	90

4.5 Perbandingan Hasil Monitoring Intrumentasi dengan Analisa <i>Geo Studio</i>	92
BAB V	94
5.1 KESIMPULAN	94
5.2 SARAN	95
DAFTAR PUSTAKA	96
LAMPIRAN	97

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Variasi Faktor Waktu Terhadap Derajat Konsolidasi.....	21
Tabel 2.2 Nilai Angka <i>Poisson</i> tiap Jenis Tanah.....	42
Tabel 2.3 Korelasi N-SPT dengan nilai q_c	43
Tabel 2.4 Korelasi nilai q_c dengan nilai α	43
Tabel 2.5 Modulus Elastisitas Tiap Jenis Tanah	44
Tabel 2.6 Penelitian Terdahulu	46
Tabel 4. 1 Daftar Material Pekerjaan Prove <i>Ekstensometer /Inclinometer</i>	67
Tabel 4. 2 Elevasi Pemasangan Plat Magnet	76
Tabel 4. 3 Rangkuman Elevasi Plat Magnet	79
Tabel 4. 4 Paramter Material Timbunan Bendungan Jragung	81
Tabel 4. 5 Perbandingan Besar Penurunan Plat Magnet dan Analisa <i>Geo Studio</i>	92

DAFTAR GAMBAR

<i>Gambar 2.1 Jenis-Jenis Bendungan Tipe Urugan</i>	<i>10</i>
<i>Gambar 2.2 Istilah pada Bendungan Tipe Urugan.....</i>	<i>10</i>
<i>Gambar 2.3 Tipikal Bendungan Tipe Zona Inti Tegak Kedap Air</i>	<i>11</i>
<i>Gambar 2.4 Grafik Mohr dan Coulomb</i>	<i>14</i>
<i>Gambar 2.5 Hubungan antara Angka Kadar Air dan Kekuatan Geser pada Tanah Tidak Jenuh Air</i>	<i>15</i>
<i>Gambar 2.6 Pola Pergerakan Puncak Bendungan.....</i>	<i>17</i>
<i>Gambar 2.7 Pola Penurunan Tanah pada Tubuh Bendungan.....</i>	<i>17</i>
<i>Gambar 2.8 Pola Deformasi Horizontal pada Tubuh Bendungan</i>	<i>18</i>
<i>Gambar 2.9 Grafik Penurunan Tanah terhadap Waktu tiap Kenaikan Beban</i>	<i>19</i>
<i>Gambar 2.10 Penggambaran Teori Konsolidasi Satu Dimensi</i>	<i>20</i>
<i>Gambar 2.11 Ilustrasi Potongan Camber.....</i>	<i>22</i>
<i>Gambar 2.12 Total Pressure Cell.....</i>	<i>26</i>
<i>Gambar 2.13 Vibrating Wire Pressure Cell</i>	<i>27</i>
<i>Gambar 2.14 Alat Pengukur Beban dengan Strain Gauge.....</i>	<i>28</i>
<i>Gambar 2.15 Detail Percabangan Strain Meter.....</i>	<i>29</i>
<i>Gambar 2.16 Patok Geser Permukaan</i>	<i>29</i>
<i>Gambar 2.17 Multisettlement Layer – Magnetic Ekstensometer.....</i>	<i>30</i>
<i>Gambar 2.18 Hydraulic Settlement Cell.....</i>	<i>31</i>
<i>Gambar 2.19 ADFSD yang Mengelilingi Bendungan</i>	<i>32</i>
<i>Gambar 2.20 Inclinometer dan Prinsip Kerjanya</i>	<i>33</i>
<i>Gambar 2.21 Sistem Penempatan Alat Pengukur Rembesan</i>	<i>34</i>
<i>Gambar 2.22 Diagram Komponen Aselerograf.....</i>	<i>35</i>
<i>Gambar 2.23 Grafik Tegangan terhadap Regangan Model linear-elastic</i>	<i>38</i>
<i>Gambar 2.24 Properti Material Anisotropic</i>	<i>39</i>
<i>Gambar 2.25 Grafik Tegangan terhadap Regangan Model elastic-plastic</i>	<i>39</i>
<i>Gambar 2.26 Tampilan Deformation Model.....</i>	<i>40</i>
<i>Gambar 2.27 Tampilan Deformation Mesh</i>	<i>40</i>
<i>Gambar 2.28 Tampilan Displacement Vector</i>	<i>41</i>

<i>Gambar 3. 1 Peta Lokasi Bendungan Jragung.....</i>	<i>51</i>
<i>Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian</i>	<i>55</i>
<i>Gambar 4. 1 Cross Section Bendungan Jragung STA 0+500.....</i>	<i>63</i>
<i>Gambar 4. 2 Plan Pemasangan Intrumentasi Bendungan Jragung</i>	<i>65</i>
<i>Gambar 4. 3 Potongan Melintang Plat Magnet STA 0+499.....</i>	<i>66</i>
<i>Gambar 4. 4 Potongan Melintang Plat Magnet STA 0+945.....</i>	<i>66</i>
<i>Gambar 4. 5 Potongan Melintang Plat Magnet STA 0+945.....</i>	<i>66</i>
<i>Gambar 4. 6 Skema Pemasangan Prove Extensometer/Inclinometer.....</i>	<i>69</i>
<i>Gambar 4. 7 Detail Pemasangan Prove Ekstensometer/Inclinometer</i>	<i>70</i>
<i>Gambar 4. 8 Pemasangan Ekstensometer/Inclinometer pada Fondasi Bendungan</i>	<i>71</i>
<i>Gambar 4. 9 Pemasangan dan Pengecekan Kerataan Area Sekitar Pipa Incino yang Telah Dipadatkan</i>	<i>72</i>
<i>Gambar 4. 10 Pengecekan Koordinat dan Elevasi Sebelum Pemasangan Plat Magnet.....</i>	<i>72</i>
<i>Gambar 4. 11 Pengecekan Kerataan dan Elevasi Plat Magnet.....</i>	<i>72</i>
<i>Gambar 4. 12 Pengecekan Ketegakan Pipa Inclinometer</i>	<i>73</i>
<i>Gambar 4. 13 Pemasangan Pipa Telescopic Coupling.....</i>	<i>73</i>
<i>Gambar 4. 14 Pengecekan Ekstensometer/Inclinometer Selama Pekerjaan Timbunan.....</i>	<i>74</i>
<i>Gambar 4. 15 Pengamanan Lokasi Pemasangan Selama Pekerjaan Timbunan..</i>	<i>75</i>
<i>Gambar 4. 16 Box Pelindung Ujung Pipa</i>	<i>76</i>
<i>Gambar 4. 17 Grafik Kenaikan Elevasi Timbunan.....</i>	<i>77</i>
<i>Gambar 4. 18 Grafik Settlement Multilayer STA 0+499 Selama Masa Konstruksi</i>	<i>78</i>
<i>Gambar 4. 19 Grafik Kenaikan Elevasi Timbunan.....</i>	<i>78</i>
<i>Gambar 4. 20 Grafik Settlement Multilayer STA 0+945 Selama Masa Konstruksi</i>	<i>79</i>
<i>Gambar 4. 21 Kondisi Eksisting</i>	<i>83</i>

<i>Gambar 4. 22 Hasil Running Kondisi Eksisting.....</i>	83
<i>Gambar 4. 23 Permodelan Timbunan Masa Konstruksi.....</i>	84
<i>Gambar 4. 24 Hasil Running Proses Timbunan Elevasi +70.00.....</i>	85
<i>Gambar 4. 25 Grafik Penurunan Setiap Elevasi Timbunan</i>	85
<i>Gambar 4. 26 Permodelan Timbunan Selesai Konstruksi</i>	86
<i>Gambar 4. 27 Hasil Running Timbunan Saat Masa Impounding.....</i>	87
<i>Gambar 4. 28 Grafik Penurunan Saat Masa Impounding.....</i>	87
<i>Gambar 4. 29 Permodelan Timbunan Sebelum Running.....</i>	88
<i>Gambar 4. 30 Hasil Running Timbunan Konsolidasi 10 Tahun</i>	89
<i>Gambar 4. 31 Grafik Penurunan Setelah 10 Tahun Konsolidasi</i>	89
<i>Gambar 4. 32 Hasil Running Setelah 30 Tahun Konsolidasi</i>	90
<i>Gambar 4. 33 Kondisi Puncak Bendungan Setelah 30 Tahun Konsolidasi.....</i>	91
<i>Gambar 4. 34 Grafik Penurunan Setelah 30 Tahun Konsolidasi</i>	91

DAFTAR NOTASI

Q	= Debit air
γ	= Berat jenis tanah
γ_{unsat}	= Berat jenis <i>unsaturated</i>
γ_{sat}	= Berat jenis <i>saturated</i>
e	= Angka pori
e_0	= Angka pori pada keadaan tegangan P_0'
e_x	= Angka pori pada keadaan tegangan P_x'
E	= Modulus <i>Young</i>
E'	= Nilai modulus <i>Oedometrik</i>
E'_i	= Modulus <i>Oedometrik</i> pada lapisan ke-i
ν	= Nilai koefisien <i>Poisson</i>
τ	= Kuat geser tanah (kN/m^2)
c	= Kohesi tanah
ϕ	= Sudut gesek dalam tanah ($^\circ$)
σ	= Tegangan normal pada bidang runtuh
S	= Penurunan total
S_i	= Penurunan segera
S_c	= Penurunan konsolidasi primer
S_s	= Penurunan konsolidasi sekunder
q	= Tegangan yang bekerja pada permukaan tanah
q_c	= Nilai tahanan ujung
q_{c1}	= Tahanan konus
D	= Diameter konus ujung
h_i	= Tebal lapisan tanah ke-i
h_{dr}	= Panjang aliran terpanjang
T_v	= Faktor waktu
c_v	= Koefisien konsolidasi
H	= Tinggi bendungan

- T = Koefisien penurunan (antara 0,3 s/d 0,5), yang didasarkan pada tipe bendungan dan kecepatan pelaksanaan penimbunannya.
- P_0 = Tegangan efektif permulaan (beban pendahuluan)
- P_x = Tegangan efektif setelah penimbunan mencapai ketebalan x meter.
- m_v = Koefisien kompresi volume.
- K_0 = Koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam

DAFTAR ISTILAH

ICOLD = International Commission on Large Dams

VW = *Vibrating Wire*

PMF = *Probable Maximum Flood*

OMC = *Optimum Moisture Content*

BOQ = *Bill of Quantity*

FEM = *Finite Element Method*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan bendungan yang sedang gencar dilakukan oleh Pemerintah dalam menunjang kebutuhan air baku di Indonesia. Perlu diketahui bahwa Indonesia baru memiliki dukungan ketahanan air sebesar 54 m³/kapita/tahun dimana masih di bawah target Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional 2005-2025 yaitu sebesar 1.975 m³/kapita/tahun. Selain itu, banyak daerah di Indonesia yang mengalami bencana banjir saat musim hujan datang. Kekurangan air dan banjir yang semakin luas dan menyebar diperkirakan disebabkan oleh suhu yang lebih tinggi dan perubahan pola curah hujan dan curah hujan yang intensif karena perubahan iklim. Upaya mengatasi situasi ini, Rencana Pembangunan Jangka Menengah Direktorat Jenderal Sumber Daya Air mengusulkan untuk membangun 65 bendungan. Salah satunya adalah Bendungan Jragung.

Pemerintah dalam hal ini melalui Balai Besar Wilayah Sungai Pemali–Juana membangun sebuah bendungan besar dengan tipe urugan inti tegak yaitu Bendungan Jragung di Desa Candirejo Kecamatan Pringapus Kabupaten Semarang, Jawa Tengah. Bendungan dengan kapasitas tampung air 90 juta m³ yang diharapkan dapat menampung air hujan dan mereduksi banjir area hilir Bendungan Jragung dengan $Q_{50} = 326,39$ m²/detik. Selain dapat menampung air hujan dan mereduksi banjir, bendungan tersebut juga dapat memenuhi kebutuhan air baku sebesar 1.000 liter/detik, kebutuhan irigasi dengan Daerah Irigasi seluas ±1.000 liter/detik, PLTM 1,4 MW, serta pariwisata.

Desain Bendungan Jragung merupakan bendungan dengan tipe urugan tanah. Di Indonesia sendiri mayoritas bendungan memang banyak yang menggunakan material urugan tanah, selain dikarenakan kondisi geologis namun juga karena bendungan urugan tanah dinilai lebih murah daripada material beton yang banyak digunakan bendungan di luar negeri.

Bendungan tipe urugan tanah terdiri dari berbagai jenis material yang terbagi menjadi berbagai zona tegak dengan kemiringan yang telah diperhitungkan dengan sedemikian rupa. Material yang digunakan pun harus dilakukan pengkajian terhadap jenis, gradasi, kepadatan dan pengujian lab lainnya untuk membentuk struktur yang padat dan stabil.

Meskipun bendungan urugan tanah dinilai lebih sederhana dalam segi konstruksi jika dibandingkan dengan tipe bendungan yang lain, namun pembangunan bendungan tipe urugan memerlukan studi hidrologi yang memadai untuk memahami pola aliran air dan potensi banjir. Keamanan bendungan juga menjadi perhatian yang utama, dikarenakan bendungan merupakan jenis konstruksi yang memiliki tingkat resiko yang tinggi dan memiliki dampak yang sangat besar apabila terjadi kegagalan dalam konstruksinya. Oleh karena itu desain bendungann harus dipastikan aman dalam menahan beban air dan tekanan tanah yang aman.

Urugan tanah memang rawan dengan adanya deformasi yang dapat dipengaruhi oleh erosi oleh gerusan air dan beban tubuh bendungan itu sendiri. Dengan demikian, Intrumentasi Geoteknik merupakan alat yang sangat diperlukan dalam mengontrol dan mendeteksi sejak dini penurunan ataupun deformasi yang terjadi pada setiap lapisan bendungan.

Oleh karena itu, peneliti akan melakukan penelitian untuk menganalisis keamanan desain Bendungan Jragung yang dikaji melalui intrumentasi geoteknik *multi settlement layer* untuk mengetahui deformasi horizontal dan vertikal dalam tubuh bendungan. Mengkaji lebih dalam terkait tubuh bendungan yang memiliki desain *camber* atau geometri puncak bendungan yang tidak memiliki elevasi yang sama. Bendungan Jragung yang saat ini masih dalam tahap konstruksi penimbunan tubuh bendungan perlu dilakukan pengkajian lebih awal, perhitungan dari desain yang telah dibuat dan pengontrolan penurunan lapisan timbunan selama masa konstruksinya.

Penelitian ini dilakukan dengan mengamati hasil bacaan instrumentasi pengukur deformasi vertikal *multi settlement layer* yang telah dipasang di beberapa titik tubuh bendungan. Pentingnya untuk mengetahui keamanan deformasi vertikal yang terjadi pada bendungan sejak masa konstruksinya, sehingga dapat direncanakan timbunan ekstra pada puncak bendungan. Hal ini juga membantu dalam meminimalisir pemeliharaan konstruksi di kemudian hari, sehingga tidak menambah anggaran negara. Selain itu, nantinya dalam masa pengoperasian bendungan juga dapat berfungsi dengan baik dan bermanfaat bagi masyarakat umum serta memiliki umur ketahanan konstruksi yang lama atau sesuai dengan rencana yang telah ditentukan.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun beberapa rumusan masalah yang menjadi dasar dan harus terjawab dari penelitian ini yaitu antara lain :

- a. Bagaimanakah penurunan yang terjadi pada timbunan *maindam* selama masa konstruksi pada Bendungan Jragung?
- b. Bagaimanakah desain tinggi timbunan ekstra (*camber*) Bendungan Jragung setelah mengalami konsolidasi selama 10 tahun?
- c. Bagaimanakah kondisi timbunan ekstra (*camber*) setelah 30 tahun beroperasi?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian rumusan masalah di atas, dengan demikian tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Mengetahui besar penurunan yang terjadi pada timbunan *maindam* selama masa konstruksi berlangsung.
- b. Mengkaji keamanan desain puncak Bendungan Jragung berdasarkan penurunan yang terjadi pada timbunan *maindam* setelah 10 tahun konsolidasi.
- c. Mengetahui kondisi timbunan ekstra (*camber*) dan besar penurunan yang terjadi setelah Bendungan Jragung beroperasi selama 30 tahun.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian yang dilakukan terarah dan tidak menyimpang dari tujuan awal yang telah ditetapkan, maka ada beberapa batasan masalah dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut :

- a. Tempat studi kasus di Bendungan Jragung tepatnya di Proyek Bendungan Jragung Paket 1 yang dikerjakan oleh kontraktor PT Waskita Karya (Persero) Tbk.
- b. Menganalisa keamanan desain timbunan ekstra (*camber*) terhadap deformasi vertikal tubuh bendungan berdasarkan pengkajian hasil bacaan instrumen geoteknik *Multi Settlement Layer - Ekstensometer / Inclinator* berupa Plat Magnet selama masa konstruksi.
- c. Analisis deformasi vertikal / penurunan desain tubuh bendungan hanya pada *cross section* STA0+499 menggunakan *software Geo-Studio*.

1.5 Manfaat

Penelitian ini dibuat untuk memberikan manfaat kepada berbagai pihak yang terkait terutama kepada mahasiswa selaku peneliti yang melakukan penelitian ini. Kegiatan ini merupakan sarana bagi mahasiswa untuk dapat mengenal keanekaragaman, pemanfaatan, perencanaan pembangunan dan pengevaluasi suatu desain konstruksi dan penerapan dalam masa pembangunan guna mengetahui efektifitas pembangunan dan dapat meningkatkan wawasan mahasiswa terhadap kondisi lapangan, dan menambah kemampuan mahasiswa di bidang Teknik Sipil. Selain itu penelitian ini juga dapat bermanfaat bagi beberapa pihak yang berkepentingan seperti sebagai berikut :

- a. Bagi Masyarakat, dalam kegiatan ini keberhasilan suatu konstruksi bendungan dapat terdeteksi sejak dini, sehingga masyarakat sekitar yang kemungkinan akan terkena dampak apabila terjadi kegagalan konstruksi dapat diantisipasi sejak awal, sehingga Bendungan Jragung

dapat beroperasi dengan aman dan memberikan manfaat bagi Masyarakat luas.

- b. Bagi Perusahaan, dalam kegiatan ini dapat meningkatkan kemampuan sumber daya manusia khususnya *engineer* di PT Waskita Karya (Persero) Tbk.
- c. Bagi Perguruan Tinggi, dalam kegiatan ini akan menciptakan kerja sama yang baik dengan perusahaan setempat sebagai rujukan penelitian selanjutnya yang akan dilakukan.

1.6 Urgensi Penelitian

Adapun urgensi dari dilakukannya penelitian ini ialah :

- a. Urgensi penelitian ini secara teoritis dapat menambah wawasan pengetahuan para pembaca tentang analisa keamanan desain timbunan ekstra (*camber*) Bendungan Jragung terhadap penurunan vertikal yang terjadi pada saat masa konstruksi, selesai konstruksi, setelah 10 tahun dan 30 tahun beroperasi.
- b. Urgensi penelitian secara praktis adalah pada perancangan desain geometri tubuh dan puncak bendungan yang aman dari kemungkinan deformasi yang terjadi dikaji dari instrumentasi geoteknik sejak masa konstruksinya sehingga kegagalan konstruksi dapat terdeteksi sejak dini dan menghindari adanya kerugian di kemudian hari.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang dan alasan mengapa mengambil dan memilih penelitian tersebut, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, urgensi penelitian, dan sistematika penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang gambaran secara umum terkait pengertian bendungan, klasifikasi bendungan, penjelasan bendungan

tipe urugan dan pengenalan lebih mengenai bendungan urugan zona inti tegak. Selain itu pada bab ini juga akan dijelaskan mengenai deformasi yang terjadi pada tubuh bendungan beserta penyebabnya. Disampaikan pula penjelasan mengenai timbunan ekstra (*camber*) dan penjelasan berbagai jenis instrumentasi geoteknik bendungan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi penjelasan mengenai tata cara dan metode yang akan digunakan dalam penelitian, baik saat penyusunan proposal hingga pelaksanaan observasi lapangan saat pengambilan data maupun dalam proses berjalannya setiap langkah dalam proses penelitian ini.

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi uraian tentang hasil analisis data yang diperoleh dari pengolahan data keamanan desain geometri tubuh dan puncak bendungan serta pengkajian hasil bacaan instrumentasi geoteknik *Multi Settlement Layer* menggunakan alat *Ekstensometer / Inclinometer* berupa Plat Magnet.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat kesimpulan dan saran yang diambil dari hasil yang diperoleh setelah melakukan survei di lapangan serta di dukung oleh hasil pengolahan dan analisis data yang telah dilakukan dalam penelitian.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Bendungan

Bendungan adalah bangunan infrastruktur bangunan air berupa waduk buatan yang menahan dan menampung air dari hulu. Bendungan memiliki beberapa fungsi yaitu sebagai penyiimpanan air baku, pengendalian banjir, irigasi, dan pembangkit listrik. Menurut International Commission on Large Dams (ICOLD) mendefinisikan bendungan sebagai “struktur bangunan buatan manusia yang dibangun di sungai atau saluran air buatan dan didesain untuk menyimpan air di belakangnya, seringkali membentuk danau atau waduk.” Pembangunan bendungan merupakan program pemerintah yang masif dilakukan hingga sekarang. Pemerintah memiliki target untuk membangun 65 bendungan di Indonesia dalam rangka pemenuhan air baku untuk masyarakat.

2.2 Klasifikasi Bendungan

Klasifikasi bendungan dapat dilakukan berdasarkan berbagai kriteria, tergantung pada perspektif yang digunakan oleh ahli bendungan. Salah satu klasifikasi yang umum digunakan adalah yang dikembangkan oleh Carl R. Carlson, seorang ahli rekayasa bendungan terkemuka. Carl R. Carlson mengklasifikasikan bendungan berdasarkan tujuan utama, struktur utama, dan material konstruksi. Berikut adalah klasifikasi bendungan menurut Carl R. Carlson:

- a. Berdasarkan Tujuan Utama:
 1. Bendungan Hidrolik: Digunakan untuk mengatur aliran air, seperti bendungan banjir, bendungan irigasi, atau bendungan pengendali banjir.

2. Bendungan Rekayasa: Dirancang untuk memanfaatkan air sebagai sumber daya, seperti bendungan pembangkit listrik tenaga air.
- b. Berdasarkan Struktur Utama:
1. Bendungan Tanggul atau Tanggul Tanah: Struktur utama bendungan terdiri dari material seperti tanah, batu, atau pasir yang dibentuk menjadi tanggul untuk menahan air.
 2. Bendungan Beton: Struktur utama bendungan terbuat dari beton, termasuk beton bertulang atau beton pracetak. Ini biasanya digunakan untuk bendungan yang lebih tinggi atau dengan kondisi tahanan yang lebih tinggi.
- c. Berdasarkan Material Urugan:
1. Bendungan Pasir atau Kerikil: Terbuat dari material alam seperti pasir, kerikil, dan tanah liat.
 2. Bendungan Tanah Lempung: Terdiri dari tanah liat atau campuran tanah yang memiliki sifat pengikatan air yang baik.

Klasifikasi ini membantu dalam pemahaman dan perencanaan bendungan berdasarkan tujuan penggunaan, tipe struktur utama, dan material konstruksi yang digunakan. Hal ini sangat penting dalam perancangan dan pemeliharaan bendungan untuk memastikan keamanan, keberlanjutan, dan efisiensi dalam memenuhi tujuan bendungan tersebut. Carl R. Carlson adalah salah satu ahli bendungan yang dikenal karena kontribusinya dalam bidang ini, dan klasifikasinya telah digunakan sebagai dasar dalam pemahaman tentang bendungan selama beberapa dekade.

2.3 Bendungan Tipe Urugan

Dalam studi kasus penelitian ini mengamati bendungan tipe urugan. Bendungan urugan adalah suatu bendungan yang dibangun dengan cara menimbun bahan-bahan seperti : batu, krakal, kerikil, pasir dan tanah pada komposisi tertentu dengan fungsi sebagai pengempang atau pengangkat permukaan air yang terdapat di dalam waduk (Dr. Suryono Sosrodarsono,

1977). Secara garis besar tubuh bendungan berfungsi untuk menahan rembesan air ke hilir. Ditinjau dari penempatan serta susunan bahan yang membentuk tubuh bendungan untuk dapat memenuhi fungsinya dengan baik, bendungan tipe urugan diklasifikasikan dalam tiga jenis, yaitu :

a. Bendungan urugan homogen

Suatu bendungan urugan digolongkan dalam tipe homogen apabila bahan yang digunakan untuk membentuk bendungan tersebut terdiri dari tanah yang hampir sejenis dan gradasinya (susunan ukuran butirannya) hampir seragam.

b. Bendungan urugan zona

Bendungan urugan digolongkan dalam tipe zona apabila timbunan yang membentuk tubuh bendungan terdiri dari batuan dengan gradasi (susunan ukuran butiran) yang berbeda-beda dalam urutan-urutan pelapisan tertentu.

c. Bendungan urugan bersekat

Bendungan urugan digolongkan dalam tipe sekat (*facing*) apabila di lereng tubuh bendungan dilapisi dengan sekat tidak lulus air (dengan kedapan tinggi) seperti lembaran baja tahan karat, beton aspal, lembaran beton bertulang, hamparan plastik, susunan beton blok, dan lain-lain.

Type:	Skema Umum	Keterangan
Bendungan Homogen		Apabila 80% dari seluruh bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang bergradasi hampir sama.
Bendungan Zonal		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan tirai kedap air di udiknya.
		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan miring ke hilir.
		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan vertikal.
Bendungan Sekat		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan dinding tidak lulus air di lereng udiknya, yang biasanya terbuat dari lembaran baja tahan karat, lembaran beton bertulang, aspal beton, lembaran plastik, dll. nya.

Gambar 2.1 Jenis-Jenis Bendungan Tipe Urugan
 (Sumber : Buku Bendungan Tipe Urugan, Dr. Suryono
 Sosrodarsono,1977)

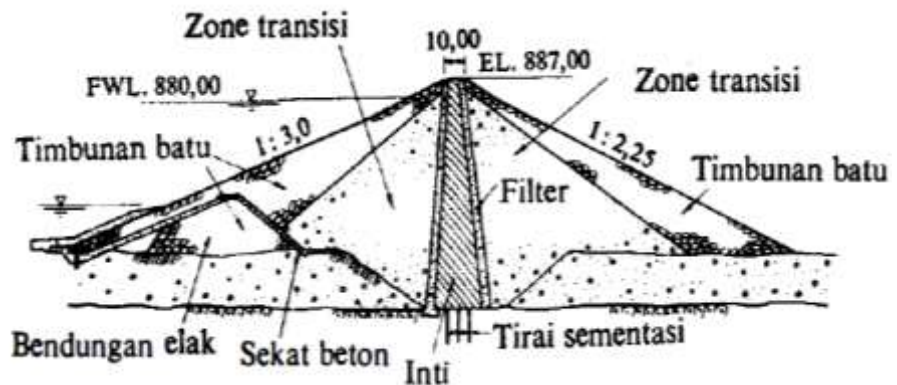
Gambar 2.1 merupakan contoh tipikal dari bendungan urugan. Dalam penelitian melakukan studi kasus pada bendungan tipe urugan zona inti vertikal atau tegak yang selanjutnya akan diulas lebih dalam lagi.



Gambar 2.2 Istilah pada Bendungan Tipe Urugan
 (Sumber : Buku Bendungan Tipe Urugan, Dr. Suryono
 Sosrodarsono,1977)

2.3.1. Bendungan Urugan Tanah Zona Inti Tegak

Bendungan urugan zona dengan inti kedap air tegak atau “bendungan inti tegak“ (*central-core fill type dam*) ialah bendungan zona yang memiliki tubuh bendungan dengan zona kedap air dengan kedudukan vertikal yang biasanya terletak pada bidang tengah dari tubuh bendungan.



*Gambar 2.3 Tipikal Bendungan Tipe Zona Inti Tegak Kedap Air
(Sumber : Buku Bendungan Tipe Urugan, Dr. Suryono
Sosrodarsono,1977)*

Gambar 2.3 merupakan salah satu contoh tipikal tubuh bendungan zona inti tegak yang terletak pada tengah tubuh bendungan dan diapit oleh timbunan filter. Tipikal bendungan zona inti tegak terdapat berbagai jenis zonasi timbunan dan tidak selalu sama seperti gambar di atas.

Perencanaan timbunan zona inti tegak pada setiap bendungan menyesuaikan dengan kondisi geologi. Desain bendungan dibuat seefisien mungkin dengan kemiringan dan pemilihan material sesuai dengan ketersediaan material di sekitar lokasi bendungan. Hal tersebut tentunya tetap mengikuti kaidah keamanan bendungan dan harus dilakukan pengkajian terlebih dulu agar bendungan aman saat beroperasi. Dalam penelitian ini melakukan pengamatan pada salah satu bendungan di Indonesia yang memiliki jenis timbunan zona inti tegak.

2.4 Parameter Analisis

Penentuan material tanah sebagai bahan timbunan tubuh bendungan adalah suatu hal yang sangat krusial dan berpengaruh pada keamaan serta efisiensi dalam pembangunannya. Oleh karena itu dalam pemilihan material tanah bendungan perlu memperhatikan hal-hal berikut :

- a. Kualitas dan kuantitas bahan yang mungkin terdapat di sekitar tempat kedudukan calon bendungan.
- b. Jarak pengangkutannya dari daerah penggalian (*borrow-pits and quarry-areas*) ke tempat penimbunan calon tubuh bendungan.

Mengingat hampir semua btuan (seperti: tanah, pasir, kerikil dan batu) dapat digunakan sebagai material tubuh bendungan urugan, maka yang harus dipertimbangkan dan diperbandingkan adalah alternatif konstruksi tubuh bendungan yang paling ekonomis. Material tanah yang digunakan

pada setiap zona timbunan halus lolos pengujian dan sesuai dengan spesifikasi teknis perencanaan bendungan.

Berikut adalah beberapa parameter tanah desain yang harus diperhatikan dalam pemilihan material bendungan :

a. Berat isi jenuh dan tak jenuh

Berat isi jenuh (γ_{unsat}) digunakan untuk semua material di atas garis freatik dan berat isi jenuh (γ_{sat}) digunakan untuk semua material di bawah garis freatik. Garis freatik adalah suatu garis aliran paling atas yang memisahkan bagian jenuh air dan tidak jenuh air dari bendungan.

b. Permeabilitas

Parameter permeabilitas yang diperlukan adalah koefisien permeabilitas arah vertikal dan horizontal terutama pada lapisan tanah yang berlapis-lapis dan mengandung gambut (*peat*). Permeabilitas setiap zona timbunan dapat berbeda-beda tergantung desain dan material yang digunakan.

c. Angka pori

Angka pori (e) berhubungan dengan porositas (n), yaitu $e = n/(1-n)$

d. *Modulus Young*

Modulus Young (E) digunakan sebagai modulus kekakuan dasar pada model elastis dan model *Mohr-Coulomb*. Penentuan *modulus young* ini memerlukan perhatian khusus, karena kebanyakan geo-material menunjukkan perilaku yang non-linier pada saat pembebanan dilakukan.

e. *Angka Poisson*

Dari persamaan $\frac{\sigma_h}{\sigma_v} = \frac{v}{1-v}$ berdasarkan pengujian kompresi 1-D, dapat dipilih angka *poisson* yang sesuai dengan K_0 . Nilai K_0 tergantung dari riwayat pembebanan tanah, biasanya diambil antara 0,3-0,4.

2.3.2. Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Hardiyatno, 2022 menyatakan bila tanah mengalami pembebanan maka akan ditahan oleh faktor berikut :

- a. Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.
- b. Gesekan antara butir-butir tanah yang berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

Menurut Coulomb, 1776 terdapat hubungan antara kuat geser tanah, kohesi, sudut gesek dalam tanah dan tegangan normal pada bidang tanah yang dinyatakan dalam persamaan berikut

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \emptyset \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

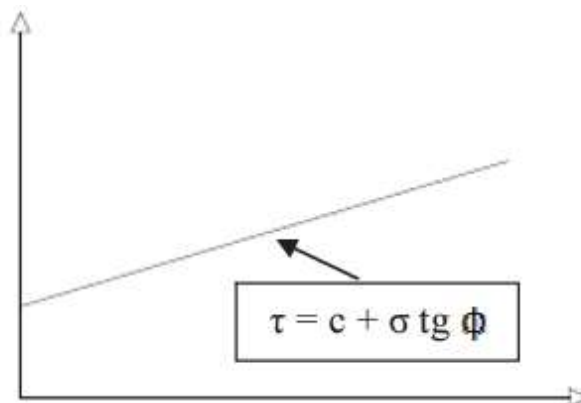
dengan :

τ = kuat geser tanah (kN/m²)

c = kohesi tanah

\emptyset = sudut gesek dalam tanah (°)

σ = tegangan normal pada bidang runtuh



Gambar 2.4 Grafik Mohr dan Coulomb

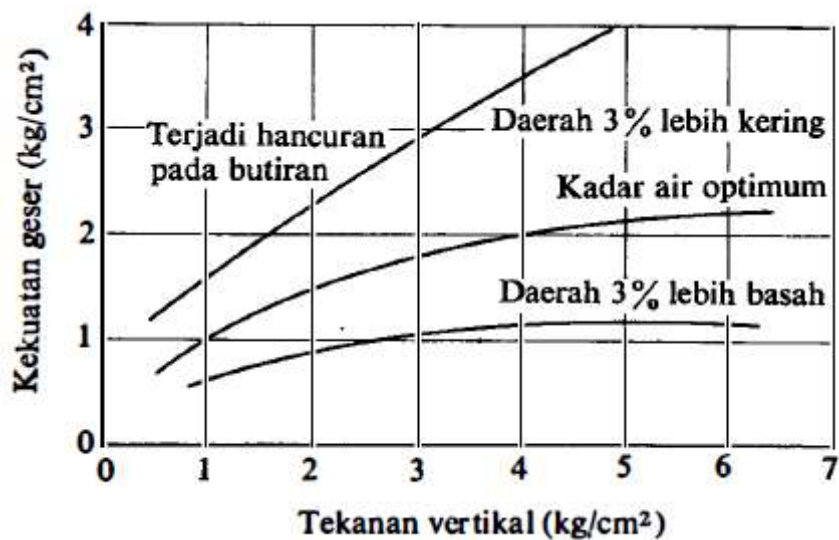
(Sumber: H.C. Hardiyatmo, 1992)

Kekuatan geser dari setiap contoh tanah biasanya memiliki nilai yang berbeda-beda sesuai dengan jenis dan kondisi tanah tersebut, seperti halnya ketahanan geser dari kerikil dan pasir yang timbul karena gesekan di antara butiran-butirannya yang dipengaruhi oleh bentuk, kekasaran permukaan dan gradasinya. Kekuatan atau kekasaran butiran-butiran itu sendiri merupakan faktor yang penting, karena butiran-butiran yang lemah akan mudah pecah dan hancur bila mendapat tekanan yang besar.

Lempung yang terdiri dari butiran-butiran halus, dimana jumlah luas permukaan butirannya cukup besar dan mineral-mineral lempung yang bersifat penyerap molekul-molekul atau ion-ion air menyebabkan timbulnya kekuatan kohesi di antara molekul-molekul lempung tersebut. Adapun pasir dan kerikil tidak mempunyai kekuatan kohesi tersebut.

Dengan demikian, maka tahanan gesek di antara molekul-molekul lempung biasanya rendah dan konstan, sehingga pembebanan luar tidak mempengaruhi besarnya kekuatan geser, karena itu harga ϕ dapat dianggap mendekati nol. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa tanah lempung hanya mempunyai daya kohesi sebagai komponen utama bagi kekuatan gesernya.

Selain itu, tingkat kadar air yang terkandung di dalam tanah sangat mempengaruhi kekuatan bahan tersebut yang akan terlihat perbedaannya pada saat melakukan pengujian geser pada suatu tanah yang kondisi kadar airnya berbeda. Oleh karena itu setiap material harus dilakukan pengujian kadar air sebelum digunakan sebagai material timbunan serta material yang digunakan adalah material segar. Hal tersebut dilakukan agar material tidak terkontaminasi dan tetap terjaga sifat asli materialnya.



Gambar 2.5 Hubungan antara Angka Kadar Air dan Kekuatan Geser pada Tanah Tidak Jenuh Air

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

Pada **Gambar 2.5** Tertera grafik berbagai kekuatan geser suatu bahan tanah dalam tiga kondisi kadar air, yaitu keadaan kadar air optimum lebih basah dan lebih kering. Dengan demikian tingkat kepadatan bahan tanah sangat mempengaruhi kekuatannya, dimana semakin besar berat isi kering suatu bahan, maka kekuatan gesernya akan semakin tinggi.

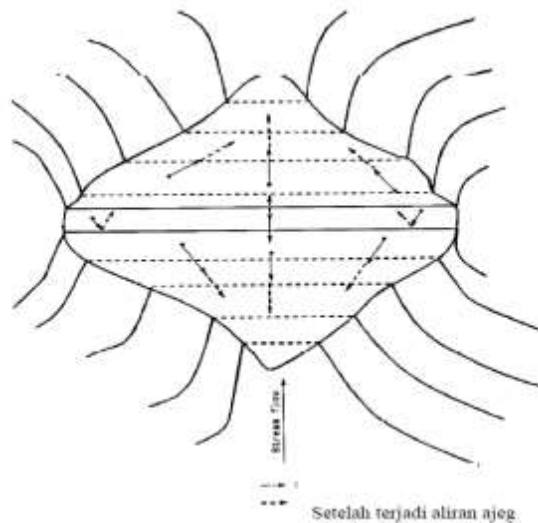
2.5 Penurunan atau Deformasi Vertikal

Penurunan atau deformasi vertikal bendungan merupakan suatu kejadian yang dapat disebabkan oleh berbagai faktor serta dapat

mempengaruhi suatu keamanan bendungan. Hal tersebut dapat mempengaruhi berhasil atau tidaknya suatu konstruksi bendungan. Oleh karena itu faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya suatu penurunan atau deformasi vertikal pada bendungan perlu dikaji oleh para ahli ilmu bendungan. Berikut adalah faktor-faktor penyebab deformasi :

- a. Penurunan atau deformasi vertikal suatu timbunan dapat terjadi karena diakibatkan oleh adanya perubahan volume, pergerakan lateral, atau perpindahan geser di dalam material timbunan.
- b. Perubahan volume yang diakibatkan oleh adanya peningkatan pada tegangan-tegangan normal pada suatu elemen tanah yang menyebabkan terjadinya pengurangan dalam volume pori tanah.
- c. Terjadinya pergerakan lateral yang juga diakibatkan oleh adanya distorsi atau keruntuhan geser yang terlokalisir sesuai dengan kondisi-kondisi tegangan yang dipengaruhi oleh pelaksanaan penimbunan dan operasi bendungan.
- d. Tekanan air pori yang berlebih (*Excess Pore Water Pressure*) dan laju terbentuknya aliran (*Freatik Line*) pada tubuh bendungan dapat mempengaruhi kecepatan waktu terjadinya deformasi.
- e. Sifat properti material yang mengontrol deformasi yaitu gradasi, mineralogi, bentuk partikel, kadar air, dan kepadatan..
- f. Kondisi pembebanan air pada bendungan pada saat pengisian pertama, siklus pengoperasian, penurunan air genangan secara cepat.

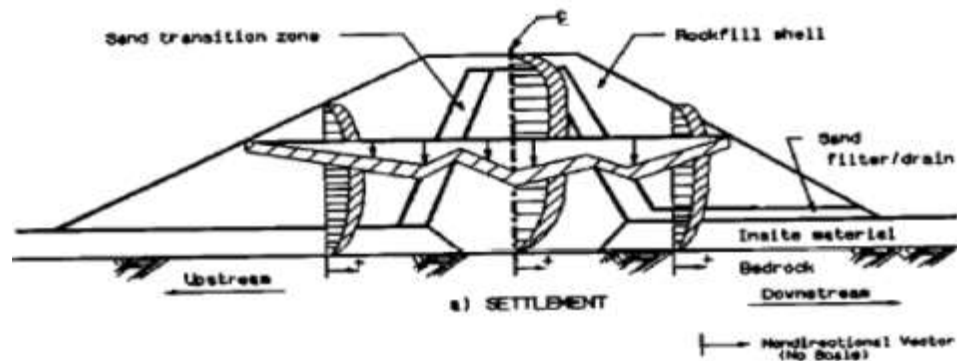
Dari beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya deformasi pada tubuh bendungan mengakibatkan adanya pergerakan tanah yang memiliki pola seperti pada **Gambar 2.6**.



Gambar2.6 Pola Pergerakan Puncak Bendungan

(Sumber : Bandung, 2010)

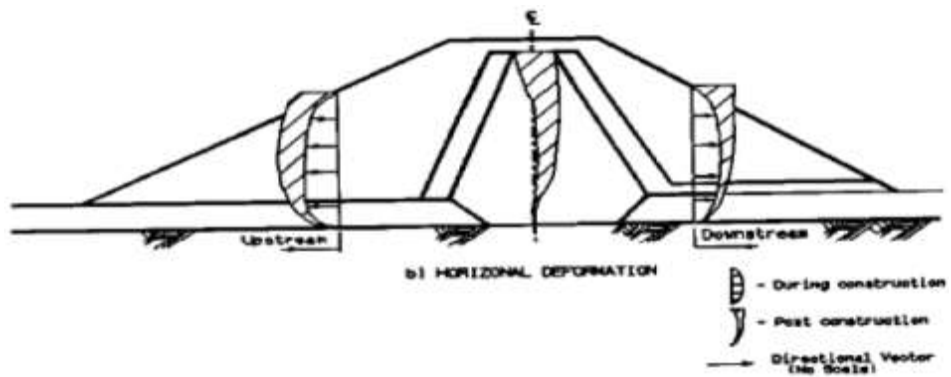
Gambar 2.6 menggambarkan pola pergerakan puncak bendungan dimana pada saat pengisian pertama puncak bendungan bergerak ke arah hulu dan pada saat bendungan telah mengalami penetrasi, arah pergerakan mulai bergerak ke hilir. Pergerakan permukaan kedua tumpuan merupakan komponen pergerakan horizontal ke arah lembah terdalam.



Gambar 2.7 Pola Penurunan Tanah pada Tubuh Bendungan

(Sumber : Bandung, 2010)

Gambar 2.7 Menggambarkan pola yang terjadi pada tubuh bendungan pada potongan tertinggi, dapat dilihat bahwa setiap zona timbunan terjadi penurunan mengarah ke pondasi timbunan. Penurunan yang paling besar dapat terjadi pada zona inti bendungan.



Gambar 2.8 Pola Deformasi Horizontal pada Tubuh Bendungan
(Sumber : Bandung, 2010)

Gambar 2.8 Menggambarkan pola deformasi horizontal pada tubuh bendungan dimana pada saat masa konstruksi pergerakan deformasi mengarah ke hulu dan hilir, sedangkan pada saat paska konstruksi pergerakan yang ada mengikuti arah stabilitas tubuh bendungan.

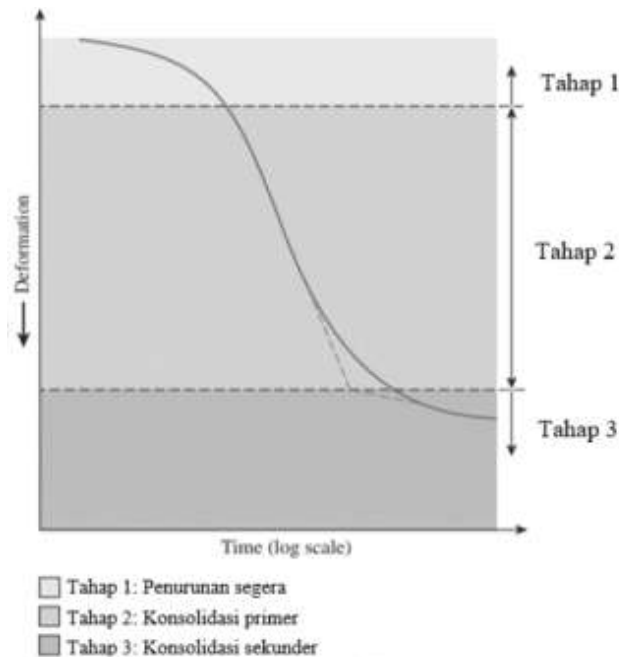
2.6 Jenis-Jenis Penurunan Tanah

Penurunan pada lapisan tanah dapat terjadi diakibatkan karena tanah dasar menerima beban dari konstruksi yang di atasnya maupun beban dari lapisan tanah yang ada di atasnya. Penurunan dapat terjadi akibat adanya perubahan struktur penyusutan tanah seperti keluarnya air dan/atau udara dari pori tanah yang menyebabkan butiran tanah yang mengalami deformasi maupun relokasi. Hardiyatno (2010) penurunan pada tanah akibat beban dibedakan atas dua jenis, penurunan segera dan penurunan konsolidasi. Berikut merupakan persamaan dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi.

$$S = S_i + S_c + S_s \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan :

- S = penurunan total
- S_i = penurunan segera
- S_c = penurunan konsolidasi primer
- S_s = penurunan konsolidasi sekunder



Gambar 2.9 Grafik Penurunan Tanah terhadap Waktu tiap Kenaikan Beban
(Sumber : Das, 1995)

Gambar 2.9 menunjukkan pembagian tahap penurunan yang terjadi pada tanah. Gambar tersebut menunjukkan bahwa tahap kedua, yakni konsolidasi primer, memberikan nilai penurunan yang paling banyak dibandingkan dengan 2 tahap lainnya. Pada penelitian ini akan dilakukan pembahasan mengenai penurunan yang diakibatkan beban lapisan tanah selama masa konstruksi yang terukur dengan alat instrumen geoteknik *Multi Settlement Layer*.

a. Penurunan segera/*immediate settlement*

Penurunan segera merupakan proses penurunan tanah yang terjadi tepat setelah beban bekerja pada tanah tanpa adanya perubahan kadar air. Biarez (1973) menjelaskan bahwa besarnya penurunan segera didasarkan pada persamaan berikut:

$$S_i = q \sum \frac{h_i}{E'_i} \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan :

q = tegangan yang bekerja pada permukaan tanah

hi = tebal lapisan tanah ke-i

E'_i = modulus *Oedometrik* pada lapisan ke- i

Korelasi antara modulus *Young* dengan modulus *Oedometrik* dapat diperoleh dari persamaan berikut ini.

$$E = E' \left(1 - \frac{2\nu^2}{1-\nu} \right) \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan :

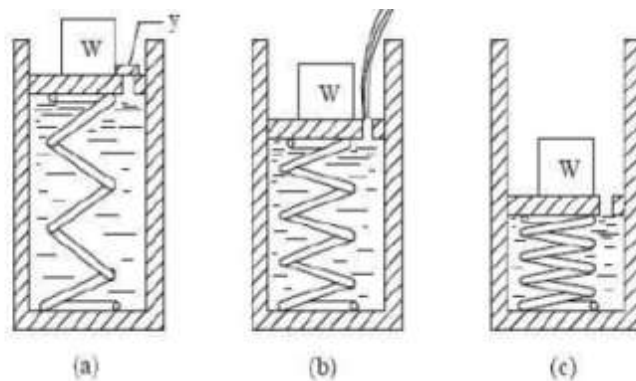
E = nilai modulus *Young*

E' = nilai modulus *Oedometrik*

ν = nilai kofisien *Poisson*

b. Penurunan akibat konsolidasi

Penurunan akibat konsolidasi merupakan penurunan pada tanah yang diakibatkan adanya pelepasan air pori pada tanah sehingga gaya yang diterima oleh tanah hanya ditahan oleh partikel tanah itu sendiri. Terzaghi (1943) menjelaskan bahwa metode konsolidasi satu dimensi merupakan metode perhitungan yang umum digunakan sebagai analisis penurunan tanah. Perhitungan menggunakan metode ini dibatasi oleh arah deformasi hanya terjadi pada satu arah yakni pada arah vertikal saja sehingga hasil penurunann tergolong lebih besar daripada penurunan aktualnya dikarenakan penurunan yang terjadi di lapangan bersifat menyebar ke segala arah.



Gambar 2.10 Penggambaran Teori Konsolidasi Satu Dimensi

(Sumber : Terzaghi dkk, 1996)

Gambar 2.10 menggambarkan sebuah tabung berisi pegas yang dihubungkan dengan piston berkatup yang kemudian diisi air hingga penuh. Pegas pada sistem tersebut menggambarkan tanah yang mudah mampat, air menggambarkan air pori, dan lubang menggambarkan nilai permeabilitas tanah. Dapat dilihat pada **Gambar (a)** yang menggambarkan kondisi awal pada keadaan setimbang dan belum ada tekanan. Kemudian pada **Gambar (b)** menggambarkan kondisi penambahan tekanan sehingga piston turun bertahap dan berkurangnya volume air dan beban yang diterima oleh pegas. Selanjutnya pada **Gambar (c)** kondisi akhir yang terjadi pada tanah setelah tekanan air pori mencapai nilai nol, sehingga sistem hanya didukung oleh pegas.

Penurunan yang terjadi akibat konsolidasi berlangsung pada waktu yang lama. Terzaghi (1943) menjelaskan metode perhitungan yang digunakan untuk menghitung waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi tertentu sebagaimana pada persamaan berikut ini.

$$t = \frac{h_{dr}^2 \times T_v}{c_v} \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan :

h_{dr} = panjang aliran terpanjang

T_v = faktor waktu

c_v = koefisien konsolidasi

Das (1985) menyatakan besarnya faktor waktu (T_v) diperoleh melalui Tabel di bawah ini.

Tabel 2.1 Variasi Faktor Waktu Terhadap Derajat Konsolidasi

Derajat konsolidasi U (%)	Faktor waktu T_v	Derajat konsolidasi U (%)	Faktor waktu T_v
0	0	60	0,287
10	0,008	70	0,403
20	0,031	80	0,567
30	0,071	90	0,848
40	0,126	100	∞
50	0,197		

Sumber : Das (1985)

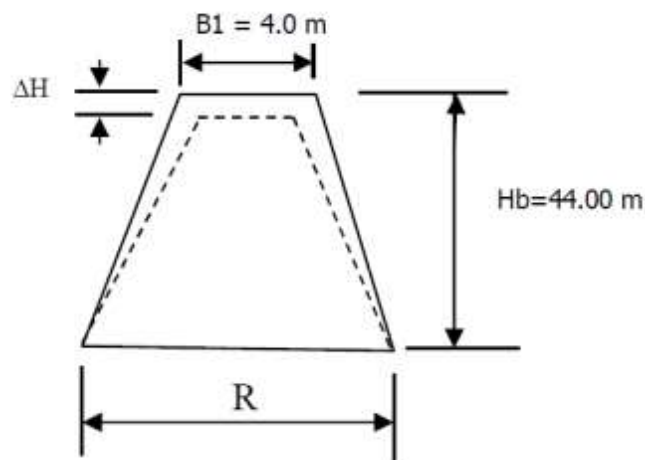
Perhitungan faktor waktu terhadap derajat konsolidasi dihitung dengan persamaan berikut ini.

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

$$T_v = 1,781 - 0,933 \log (100-U\%)^2, \text{ untuk } U > 60\%$$

2.7 Timbunan Ekstra Puncak Bendungan (*Camber*)

Sehubung dengan terjadinya gejala konsolidasi tubuh bendungan dengan proses yang berjalan cukup lama setelah proses konstruksi tubuh bendungan selesai, perlu diadakan penimbunan ekstra melebihi tinggi dan volume rencana dengan perhitungan. Hal tersebut dilakukan agar sesudah proses konsolidasi berakhir, maka penurunan tinggi dan penyusutan volume akan mendekati tinggi dan volume rencana bendungan.



Gambar 2.11 Ilustrasi Potongan Camber

(Sumber : Data Konsultan Supervisi Bendungan Jragung)

Pergerakan tubuh bendungan yang diakibatkan oleh beberapa faktor harus dilakukan analisa, sehingga pada saat beroperasi bendungan aman dan tidak mengalami kegagalan konstruksi. Dengan demikian terjadi pergerakan atau deformasi pada tubuh bendungan harus diketahui estimasi dan batasannya.

Berikut adalah estimasi pergerakan dan deformasi pada puncak bendungan :

- a. Desain tinggi ekstra puncak tubuh bendungan (*camber*) diperlukan untuk memperkirakan penurunan vertikal puncak bendungan.
- b. Pada umumnya berdasarkan data instrumen menunjukkan bahwa penurunan puncak paska konstruksi sebesar 0,2-0,5% dari tinggi bendungan. Berdasarkan pengamatan tersebut, dengan menggunakan rumus "*Rule of Thumb*" atau aturan jempol, tinggi *camber* secara konservatif didesain sebesar 1% tinggi timbunan (untuk bendungan tinggi <60 m dengan tingkat resiko rendah)
- c. Untuk bendungan dengan tingkat resiko sedang-tinggi atau tinggi bendungan >60 m, aturan jempol 1% tersebut dianggap tidak cukup dan memerlukan analisis yang lebih memadai, misalnya dengan analisis elemen hingga *Finite Element Method* (FEM) atau dengan analisis konsolidasi material tanah.

Namun penurunan tidak dapat diperkirakan secara akurat berdasarkan teknik mekanika tanah karena banyak faktor yang mempengaruhinya, seperti: faktor pondasi, sifat material, metode konstruksi, dan lain-lain. Oleh karena itu, seringkali penurunan diperkirakan berdasarkan catatan atau "*record*" masa lalu dengan mempertimbangkan beberapa faktor yang berpengaruh pada penurunan. Penurunan pada puncak bendungan urugan tanah paska konstruksi dapat diperkirakan salah satunya dengan menggunakan rumus empiris berikut:

$$\Delta H = \frac{1}{2E} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot T$$

$$E = \frac{p_0 - p_x}{\frac{e_0 - e_x}{1 + e_0}} = \frac{1}{-m_v} \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan :

- γ = Berat jenis tanah
- H = Tinggi bendungan
- T = Koefisien penurunan (antara 0,3 s/d 0,5), yang didasarkan pada tipe benduungan dan kecepatan pelaksanaan penimbunannya.
- P_0 = Tegangan efektif permuulaan (beban pendahuluan)
- P_x = Tegangan efektif setelah penimbunan mencapai ketebalan x meter.
- e_0 = Angka pori pada keadaan tegangan P_0
- e_x = Angka pori pada keadaan tegangan P_x
- m_v = Koefisien kompresi volume.

2.8 Intrumentasi Bendungan

Untuk dapat melakukan perencanaan intrumentasi geoteknik pada suatu bendungan urugan secara efisien dan tepat sasaran, perencana perlu memahami prinsip-prinsip dasar intrumentasi, termasuk jenis instrumentasi, pemilihan jenis, dan lain sebagainya.

Pemasangan instrumen geoteknik pada suatu bendungan urugan tanah, tergantung dari sifat-sifat perlapisan tanah/ batuan yang dipengaruhi oleh: faktor-faktor sejarah geologi lapisan-lapisan tanah/ batuan, serta waktu dan beban-beban lain yang bekerja. Hal tersebut terjadi hampir pada semua pekerjaan geoteknik yang selalu menunjukkan kondisi yang berbeda dalam perencanaan dan kenyataannya di lapangan. Bila perencanaan atau desain terlalu konservatif atau sebaliknya, hal tersebut malahan kurang aman.

Terlalu konservatif berarti terlalu mahalnya suatu konstruksi, sedangkan suatu kegagalan akan berarti kerugian material, waktu dan korban jiwa.

Parameter geoteknik yang perlu dipantau dalam konstruksi suatu bendungan urugan tanah, baik selama pelaksanaan konstruksi maupun operasinya untuk mengetahui perilaku bendungan, yaitu deformasi baik vertikal maupun horizontal, rembesan, muka air *freatik* atau tekanan air pori serta kegempaan yang mempengaruhi keamanan bendungan dan bangunan pelengkapannya. Adapun tujuan dari instrumentasi bendungan ini adalah untuk memantau perilaku bendungan yang diakibatkan oleh gaya-gaya yang bekerja pada bendungan yang menyebabkan terjadinya deformasi, rembesan air dan tekanan air pori, dan lain-lainnya. Pemantauan instrumen ini diperlukan saat pelaksanaan konstruksi, pengisian pertama dan selama operasi waduk.

Dalam penelitian ini alat instrumentasi yang digunakan adalah *multi settlement layer* sebagai alat yang berfungsi untuk membaca penurunan vertikal. Alat ini berupa plat magnet yang pemasangannya berada di lokasi yang sama dengan *Inclinometer* dan berada di zona inti kedap air pada tengah bendungan yang dipasang di beberapa lokasi bendungan sesuai dengan keadaan geologi Bendungan Jragung.

2.8.1 Jenis-Jenis Instrumentasi Bendungan

Parameter-parameter yang perlu diamati yang berkaitan dengan bendungan urugan, adalah :

a. Tekanan air pori (Pisometer)

Berdasarkan prinsip kerjanya, terdapat 2 macam pisometer, yaitu sistem terbuka dan sistem tertutup. Jenis alat ukur tekanan air pori dan air tanah sistem terbuka, diantaranya adalah :

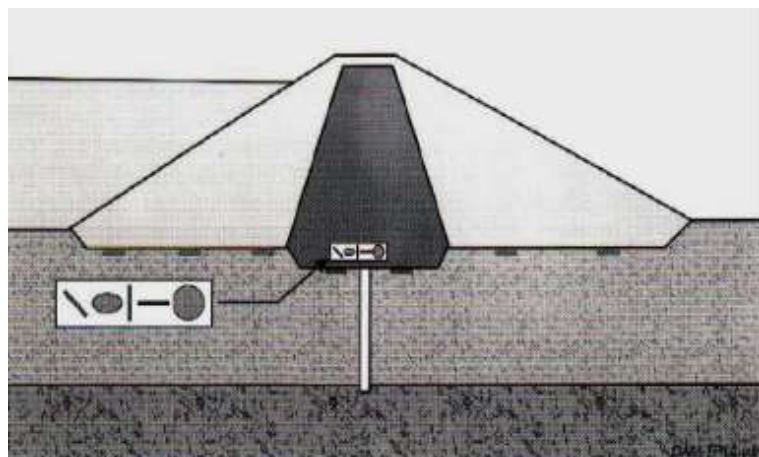
1. Pisometer pipa tegak (*standpipe* pisometer), yang terdiri atas :

- a) *Porous-tube* pisometer, yakni ujung pipa (mata pisometer) berupa pipa berlubang-lubang/perforasi yang *porous*)
 - b) *Slotted pipe* pisometer (mata pisometer dari pipa yang digergaji dengan spasi tertentu)
2. Pipa atau sumur pengamatan (observation well)

Sedangkan sistem tertutup, diantaranya adalah :

1. Pisometer pipa ganda hidraulik (*hydraulic twin-tube* pisometer)
 2. Pisometer *pneumatik* (dengan tekanan gas, *pneumatik* pisometer)
 3. Pisometer elektrik (*electric* pisometer)
- b. Tekanan Tanah Total
 1. *Hydraulic/ Pneumatic Pressure Cell*

Instrumen ini juga digunakan untuk mengukur besarnya tegangan - tegangan normal yang terjadi pada tubung bendungan utama yang hasilnya kemudian dibandingkan dengan hasil analisis.

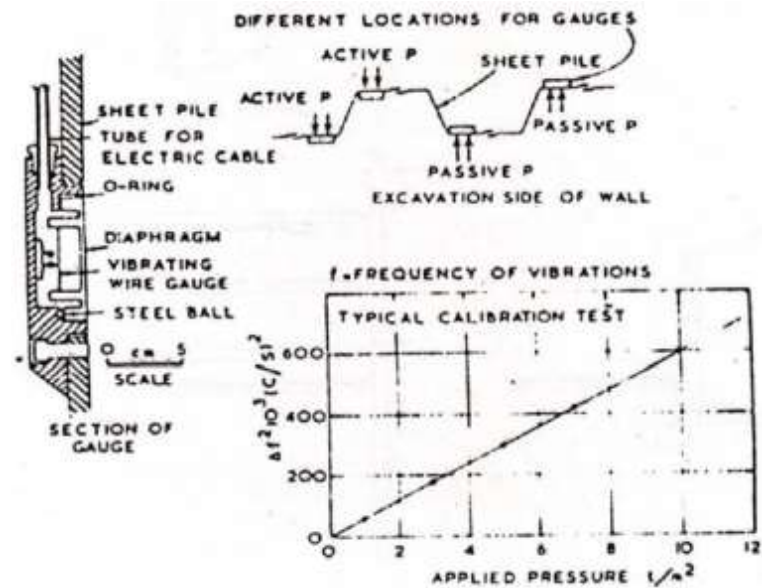


Gambar 2.12 Total Pressure Cell

(Sumber : Modul Instrumentasi Bendungan Urugan,
Kementrian PUPR, 2017)

2. *Vibrating Wire (VW) Pressure Cell*

Prinsip kerja alat ini menggunakan sistem pengukuran frekuensi kawat baja yang berubah-ubah karena tegangannya yang berubah juga, dan terbaca dalam suatu medan magnet yang dibangkitkan dari kumparan.

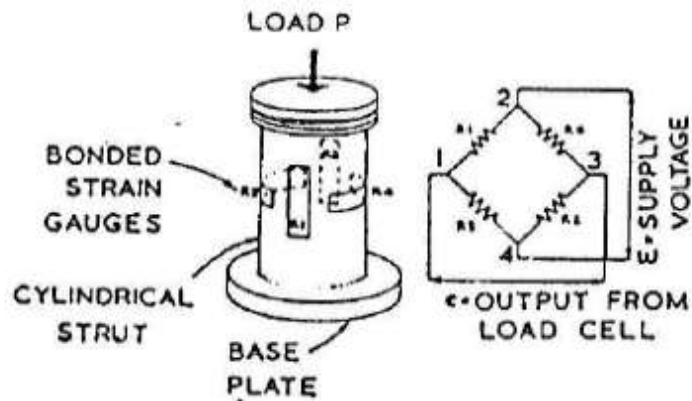


Gambar 2.13 *Vibrating Wire Pressure Cell*

(Sumber : Modul Instrumentasi Bendungan Urugan,
Kementrian PUPR, 2017)

3. *Strain Gauge Load Cell*

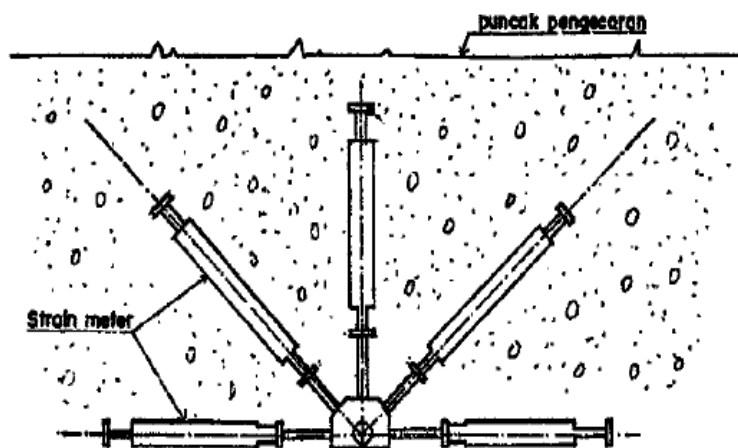
Pada umumnya, alat pengukur beban ini dipasang pada batang angkur di dalam suatu galeri atau tumpuan. Prinsip kerjanya berdasarkan tahanan listrik suatu logam yang berubah karena deformasi akibat beban yang bekerja. Pengukuran *strain gauge* yang dipasang pada *load cell* ini menggunakan sistem jembatan *Wheatstone*. Alat baca ini juga dikalibrasikan terlebih dahulu terhadap beban.



Gambar 2.14 Alat Pengukur Beban dengan Strain Gauge
 (Sumber : Modul Instrumentasi Bendungan Urugan,
 Kementrian PUPR, 2017)

4. Alat Pengukur Regangan (*Strainmeter*)

Instrumen ini dikembangkan oleh R.W. Calson berupa "vibrating wire" seperti VWP. Prinsip dasar bekerjanya alat ini adalah mengubah tarikan pada kawat elastis menjadi besaran tahanan. Selain itu, sensor tersebut dapat mengubah temperatur kawat menjadi besaran tahanan kawat tersebut. Tujuan dipasangnya instrumentasi ini adalah untuk mengetahui besarnya regangan antara bendungan dan tumpuan/pondasi atau diantara komponen-komponen bendungannya sendiri. Pada gambar di bawah diperlihatkan percabangan dari *strain meter* yang disebut "*strain meter spider*".

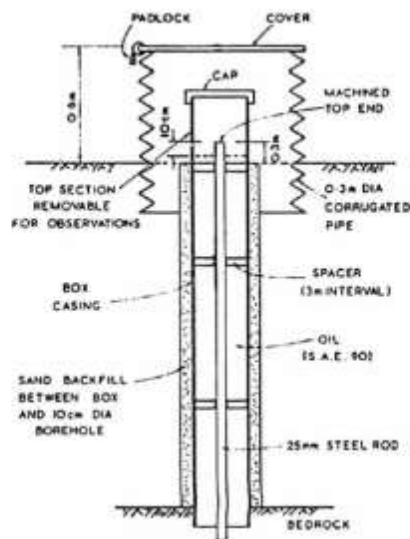


Gambar 2.15 Detail Percabangan Strain Meter
 (Sumber : Modul Instrumentasi Bendungan Urugan,
 Kementerian PUPR, 2017)

c. Pergerakan Tanah

1. Patok Geser (*Surface Monuments*)

Alat ini berupa patok/monument dipasang untuk mengukur pergerakan permukaan tanah (vertikal dan horizontal) di sekeliling struktur yang diamati, misalnya di bagian puncak dan lereng bendungan.

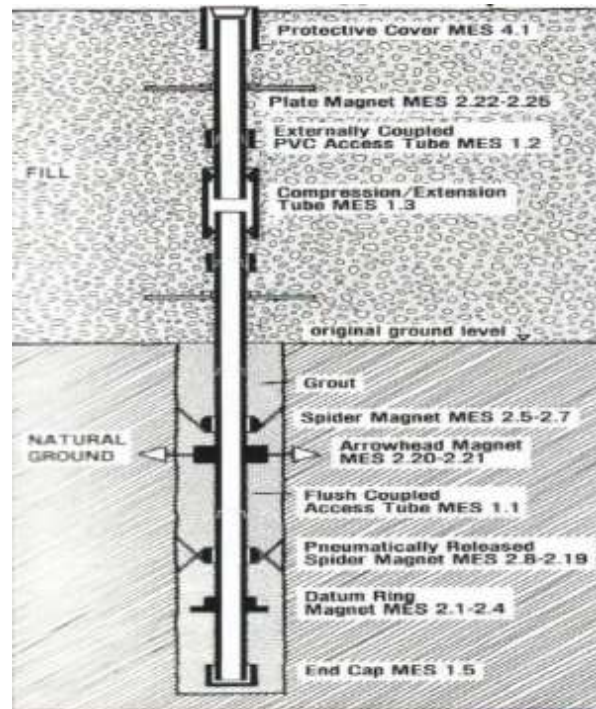


Gambar 2.16 Patok Geser Permukaan
 (Sumber : Modul Instrumentasi Bendungan Urugan,
 Kementerian PUPR, 2017)

2. *Multisettlement Layer - Magnetic Ekstensometer*

Alat ini dipasang untuk mengukur pergerakan vertikal (penurunan) dari lapisan tanah yang tidak hanya berupa timbunan, tetapi juga pada pondasi melalui lubang bor. Sistem pipa bersifat *telescoping* dengan pipa besar dan kecil yang dipasang vertikal dengan sedikit toleransi beberapa derajat. Alat ini biasanya dipasang menjadi satu dengan instrumentasi *Inclinometer* yang dipasang pada lokasi tertentu yang dinilai berpotensi besar mengalami

deformasi. Pada penelitian ini penulis melakukan pengamatan pada alat instrumen jenis ini yang digunakan untuk mengetahui besar penurunan vertikal tanah pada saat masa konstruksi yang dijadikan sebagai acuan analisa serta perhitungan keamanan puncak bendungan.



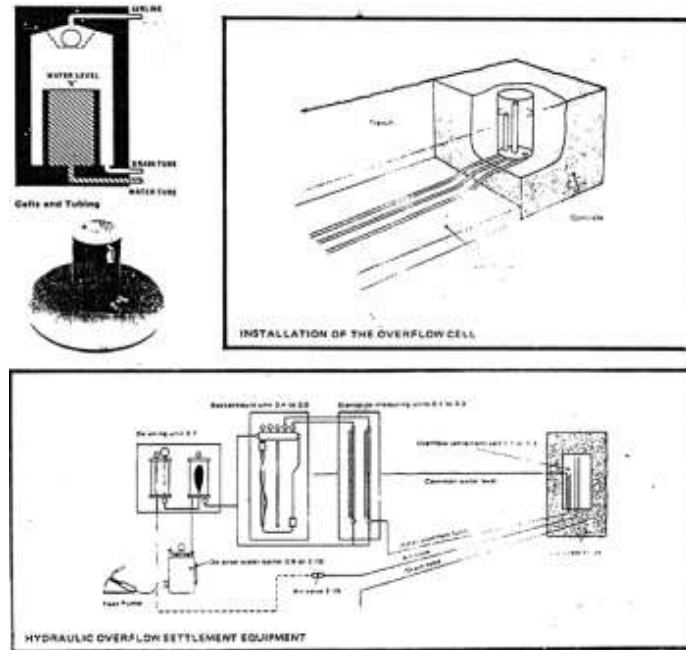
Gambar 2.17 Multisettlement Layer – Magnetic Ekstensometer

(Sumber : Modul Instrumentasi Bendungan Urugan, Kementrian PUPR, 2017)

3. Hydraulic Settlement Cell

Instrumen ini dipasang pada timbunan (tubuh bendungan) tanpa menggunakan batang-batang atau pipa-pipa vertikal yang dapat mengganggu kelancaran pemadatan. Prinsip kerjanya adalah mengukur permukaan air di dalam *cell* melalui tubing ke *manometer* air raksa yang dipasang di gardu Pengamatan. Air yang telah bebas dari gelembung udara dimasukkan dari gardu pembacaan, ke dalam *cell*

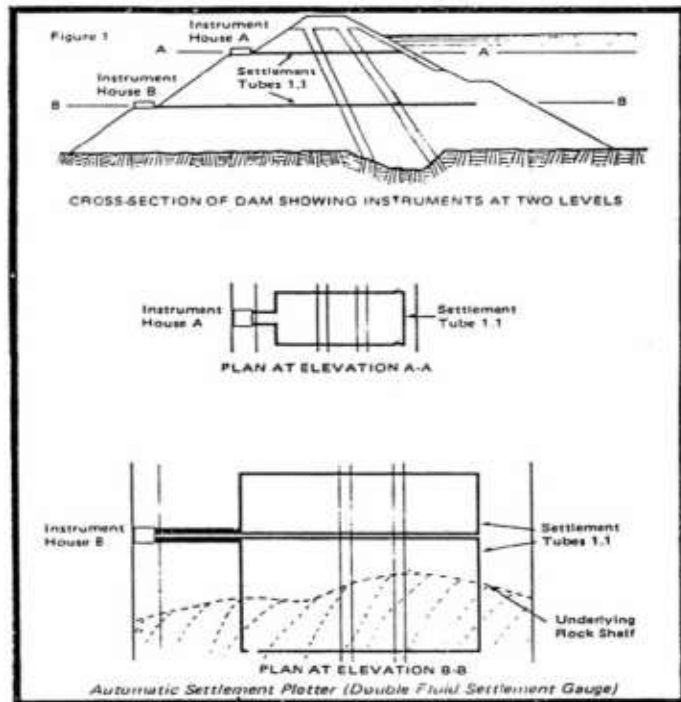
melalui tubing air; air yang melimpas di dalam *cell* dikembalikan melalui tubing balik/ drainase.



Gambar 2.18 Hydraulic Settlement Cell

(Sumber : Modul Instrumentasi Bendungan Urugan, Kementrian PUPR, 2017)

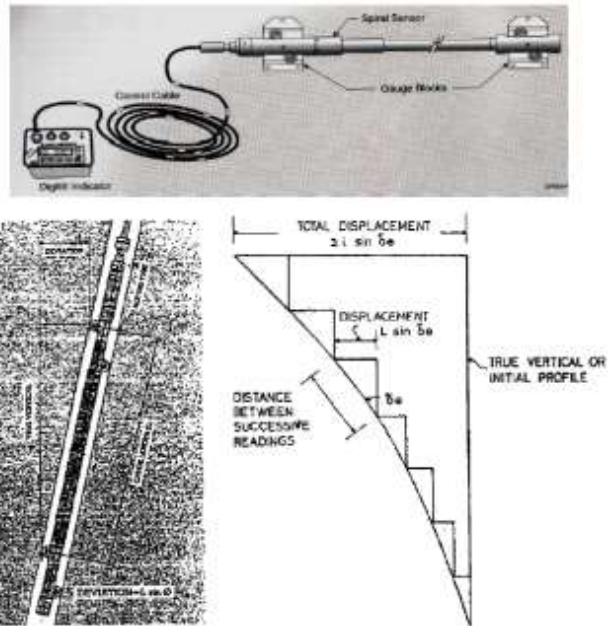
4. *Automatic Double Fluid Settlement Device (ADFSD)*
 Sistem ini direncanakan untuk mengukur Penurunan (*settlement*) secara menerus dengan suatu tubing yang dipasang melingkari geometri bendungan secara horizontal pada elevasi tertentu (*horizontal loop*).



Gambar 2.19 ADFSD yang Mengelilingi Bendungan
 (Sumber : Modul Instrumentasi Bendungan Urugan,
 Kementerian PUPR, 2017)

5. *Inclinometer*

Instrumen *inclinometer* ini dipasang untuk mengamati atau memonitor suatu pergerakan ke arah horizontal di dalam lapisan tanah atau batuan. Pipa aluminium atau plastik yang mempunyai empat alur bersudut antara 90° dipasang di dalam lubang bor, atau pada tahapan penimbunan tanah, atau pada dinding suatu struktur. Dalam penelitian ini *Inclinometer* dipasang pada lokasi yang sama dengan *Ekstensometer*, yaitu dimana pipa *Inclinometer* dipasang menjadi satu dengan plat magnet *Ekstensometer*. Pemasangan instrumen ini dilakukan pada lokasi yang dinilai memiliki potensi tinggi terjadinya pergerakan tanah seperti pada lokasi tanah yang pondasinya pada tanah yang rawan runtuh, sungai, atau terdapat aliran air.



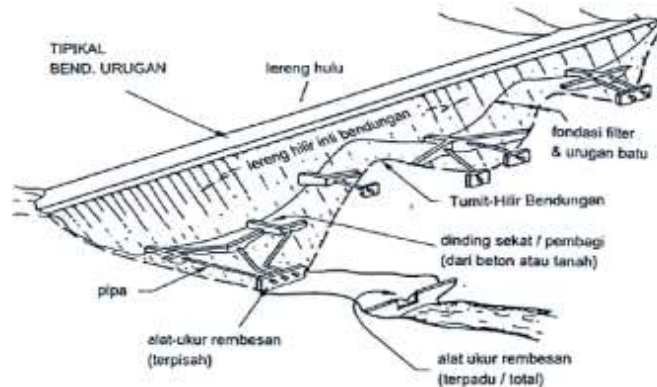
*Gambar 2.20 Inclinometer dan Prinsip Kerjanya
(Sumber : Modul Instrumentasi Bendungan Urugan,
Kementrian PUPR, 2017)*

d. Rembesan

Alat pemantau rembesan dapat dibagi dalam dua jenis yaitu :

1. Pemantau debit aliran, hal ini dilakukan dengan memasang "weir" atau "flume" yang ditempatkan pada lokasi tertentu untuk mengukur debit bocoran. Peningkatan debit bocoran yang tidak normal dapat menimbulkan masalah keamanan bendungan.
2. Pemantau kualitas air, hal ini dilakukan dengan membandingkan kualitas air waduk dan kualitas air bocoran di hilir bendungan. Pengambilan contoh air harus dilakukan secara kontinu. Terhadap contoh air ini dilakukan pengujian unsur unsur kimia dan kadar endapannya. Hasil pemantauan antara lain meliputi hal-hal sebagai berikut :

- a) Gejala pelarutan pada pondasi batuan yang dapat mengakibatkan kekuatan geser menurun dan permeabilitas pondasi meningkat.
- b) Gejala erosi buluh (*piping*) pada tubuh atau pondasi bendungan.

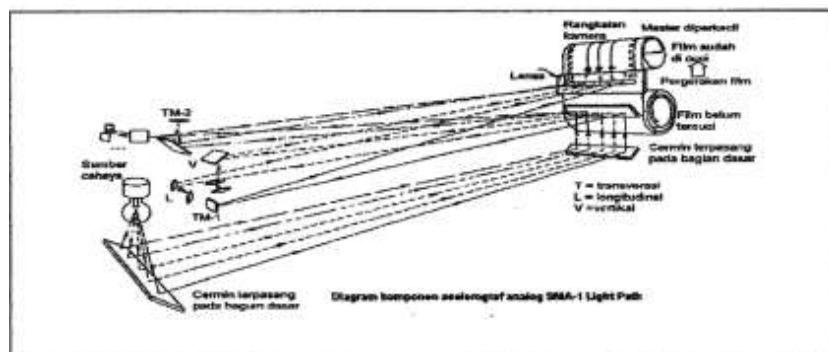


Gambar 2.21 Sistem Penempatan Alat Pengukur Rembesan

(Sumber : Modul Instrumentasi Bendungan Urugan, Kementrian PUPR, 2017)

e. Gempa

Instrumen gempa yang di pasang pada bendungan biasanya digunakan untuk memantau respon dinamik dari bendungan. Biasanya alat ini dipasang untuk bendungan dengan tinggi > 40 m dan terletak pada zona gempa yang cukup tinggi. Alat pengukur percepatan gempa ini biasanya dipasang di bagian bawah (pondasi batuan), di tengah tengah lereng hilir dan di bagian puncak bendungan.



Gambar 2.22 Diagram Komponen Acelerograf
(Sumber : Modul Instrumentasi Bendungan Urugan Kementerian
PUPR, 2017)

Alat pemantau seismik tersebut mengukur getaran seismik dan sering dipasang di bendungan bendungan besar, terutama apabila lokasi bendungan terletak pada daerah rawan gempa. Namun demikian, walaupun lokasi bendungan terletak pada daerah yang relatif stabil, sering kali terjadi gempa imbas waduk pada bendungan bendungan besar yang tingginya lebih dari 100 m dan daya tampung waduknya lebih dari 500 juta meter kubik. Komponen komponen yang penting pada alat ukur seismik adalah *Seismometer* dan *Akselerometer*.

1. *Seismometer*

Seismometer adalah penerima getaran yang sangat peka yang dapat merekam getaran - getaran seismik dalam bentuk grafik getaran. Pemasangan *Seismometer* harus diletakkan didalam ruangan kedap air diatas lantai beton yang ditanam didalam galian pada batuan dasar.

2. *Akselerometer*

Akselerometer adalah bagian dari *Seismometer* yakni sejenis alat sensor getaran yang dapat mencatat getaran secara elektromagnetik. Alat ini didisain untuk mencatat getaran tunggal ke arah horizontal, vertikal maupun transversal.

2.9 Software *Geo-Studio*

Geo-Studio adalah sebuah paket perangkat lunak geoteknik yang digunakan untuk menganalisis masalah geoteknik, hidrologi, dan geoteknik di dalam suatu lingkungan geoteknik yang berinteraksi. Ini adalah perangkat lunak yang sangat berguna bagi insinyur geoteknik, insinyur sipil, dan ilmuwan lingkungan dalam memahami dan memodelkan fenomena di

bawah permukaan tanah, termasuk stabilitas lereng, pergerakan tanah, infiltrasi air, peningkatan tanah, dan banyak masalah lainnya. *Geo-Studio* mengintegrasikan berbagai modul dan alat analisis untuk membantu pemecahan masalah yang berhubungan dengan geoteknik. Beberapa alat dan modul yang umumnya ada dalam *Geo-Studio* meliputi:

- a. *SLOPE/W*: Modul ini digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng, termasuk pergerakan tanah dan perubahan permukaan tanah. Ini dapat membantu dalam menentukan apakah suatu lereng akan stabil atau berpotensi untuk longsor.
- b. *SEEP/W*: Modul ini digunakan untuk menganalisis aliran air di dalam tanah. Ini berguna dalam memahami pergerakan air tanah, perencanaan drainase, dan masalah terkait infiltrasi.
- c. *SIGMA/W*: Modul ini digunakan untuk menganalisis deformasi dan perubahan tegangan di dalam tanah akibat beban struktural atau beban lainnya. Ini berguna dalam desain pondasi dan perencanaan konstruksi lainnya.
- d. *QUAKE/W*: Modul ini digunakan untuk menganalisis respons tanah terhadap gempa bumi, termasuk pemodelan deformasi tanah, perubahan tegangan, dan pengaruh struktur di atasnya.
- e. *CTAN/W*: Modul ini digunakan untuk menganalisis transportasi kontaminan di dalam tanah dan air tanah. Ini berguna dalam studi pencemaran tanah dan air tanah.
- f. *TEMP/W*: Modul ini digunakan untuk menganalisis perambatan panas di dalam tanah, berguna dalam perencanaan sistem geotermal, serta masalah terkait pengeboran dan perambatan panas lainnya.
- g. *AIR/W*: Modul ini digunakan untuk menganalisis pergerakan udara di dalam tanah dan tanah berongga, berguna dalam studi ventilasi tambang dan masalah terkait aliran udara bawah tanah.

Pada penelitian ini perhitungan analisa deformasi pada puncak bendungan menggunakan *software Geo-Studio* dengan *tools SIGMA/W*. Analisis penurunan dan perubahan bentuk pada suatu timbunan dapat

menggunakan *tools SIGMA/W*. *SIGMA/W* digunakan untuk memodelkan tegangan dan deformasi pada tana serta menganalisis pada model linear elastis. Tanah tersebut dimodelkan dengan sifat dapat kembali ke model awal setelah pembebanan tanpa ada perubahan atau disebut dengan kondisi elastis. Model lainnya yaitu model non linear elastis dimana tanah yang dibebani dapat kembali ke bentuk semula pada titik tertentu saja.

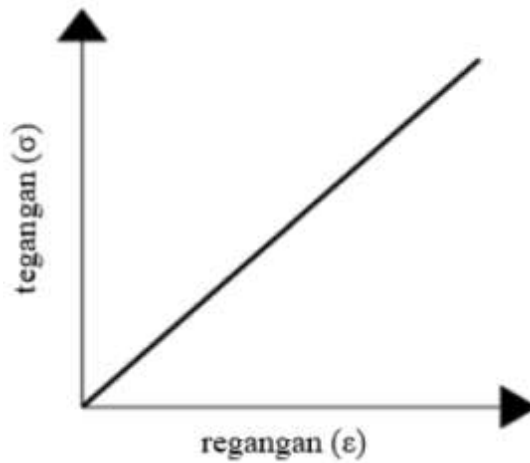
SIGMA/W menyediakan beberapa tipe analisis menjadi beberapa kondisi. Kondisi tersebut antara lain : *insitu*, *stress redistribution*, *load-deformation*, *dynamic deformation*, dan *coupled stress/PWP*. Kondisi *insitu* merupakan kondisi dimana permodelan dilakukan guna menentukan kondisi tegangan sebelum diberikan beban. Tegangan awal yang diperoleh muncul diakibatkan adanya beban gravitasi dan kondisi setimbang tanah yang dimodelkan.

Kondisi *stress redistribution* merupakan kondisi yang digunakan apabila analisis menggunakan model material berupa *linear-elastic* menghasilkan kondisi tegangan yang muncul akibat beban melebihi daya dukung tanah yang dimodelkan. Kondisi *load-deformation* digunakan apabila akan mencari penurunan dan penambahan tegangan akibat penambahan beban. Terdapat fitur serupa berupa *dynamic deformation* dimana kondisi ini merupakan kondisi *load-deformation* dimana kondisi awal yang digunakan merupakan analisis *QUAKE/W*.

SIGMA/W juga menyediakan beberapa tipe kategori maerial dan model material yang dapat disesuaikan dengan permasalahan yang akan dianalisis seperti model material *linear-elastic*, *anisotropic-elastic*, dan *hyperbolic*. Model *linear-elastic* merupakan model material sederhana dimana nilai tegangan sebanding dengan nilai regangan. Data material yang utama digunakan adalah *modulus young*, angka *poisson*, kohesi, dan sudut geser dalam.

Data material yang digunakan pada perhitungan analisa penelitian ini menggunakan data hasil pengujian yang telah dilakukan di laboratorium eksternal maupun laboratorium internal yang dikelola oleh kontraktor.

Apabila terdapat data yang tidak ditemukan pada pengujian material, maka data yang digunakan adalah data desain dari perencana.

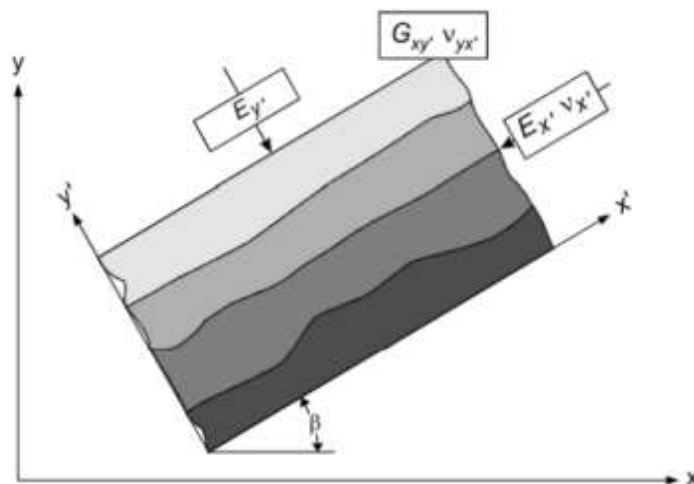


Gambar 2.23 Grafik Tegangan terhadap Regangan Model linear-elastic

(Sumber : Krahn, 2013)

Gambar 2.23 merupakan grafik tegangan terhadap regangan dimana untuk model *linear-elastic*, kenaikan besarnya tegangan sebanding dengan kenaikan besarnya regangan yang dialami tanah.

Anisotropic-elastic merupakan model material yang digunakan dengan asumsi bahwa tanah bersifat *anisotropic* yaitu tanah memiliki sifat yang berbeda bila diukur ke arah yang berbeda. Data material yang digunakan pada model ini antara lain *modulus young* arah x dan y, angka *poisson* arah x dan y, modulus geser, serta sudut kemiringan (β) yang terjadi,

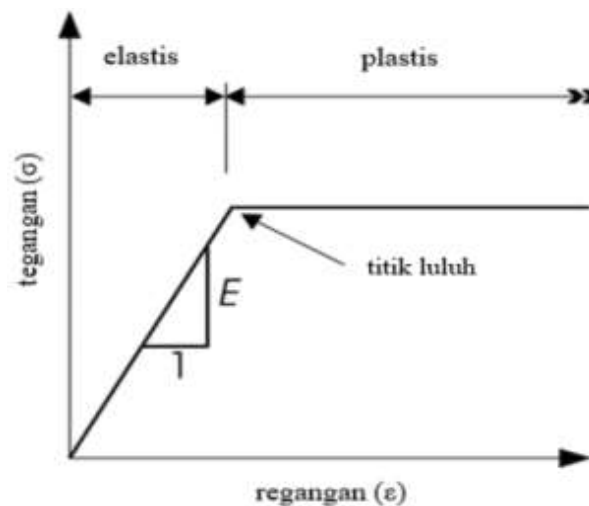


Gambar 2.24 Properti Material Anisotropik

(Sumber : Krahn, 2013)

Gambar 2.24 menunjukkan contoh pendeskripsian property material yang dimiliki oleh material jenis *anisotropic*. Contoh model tersebut menggambarkan suatu penampang dengan sumbu local x' dan y' yang membentuk sudut sebesar β terhadap sumbu global x dan y .

Model *elastic-plastic* merupakan model material yang mendeskripsikan hubungan elastis-plastis sempurna sebuah material. Model grafik tegangan terhadap regangan pada model jenis ini dapat dilihat pada **Gambar 2.24** di bawah ini.

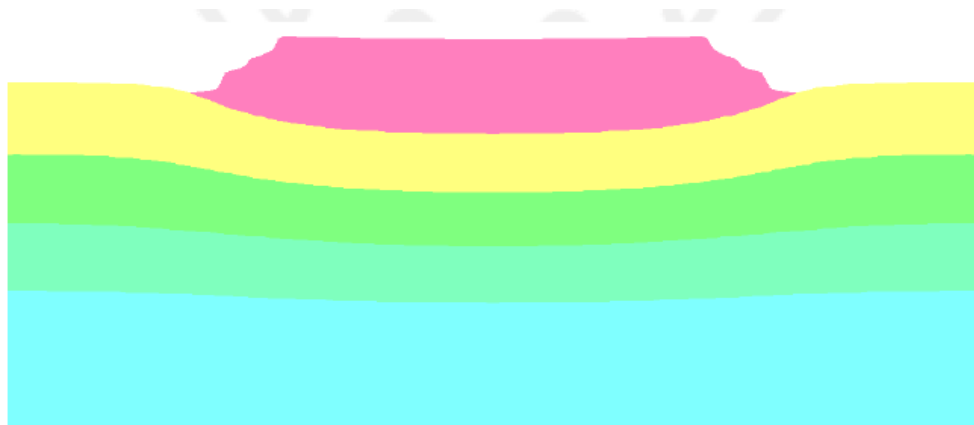


Gambar 2.25 Grafik Tegangan terhadap Regangan Model elastic-plastic

(Sumber : Krahn, 2013)

Gambar 2.25 menunjukkan pertambahan tegangan yang terjadi sebanding dengan pertambahan regangana hingga mencapai kondisi luluh (*yield*), kondisi dimana elastisitas suatu material berkurang.

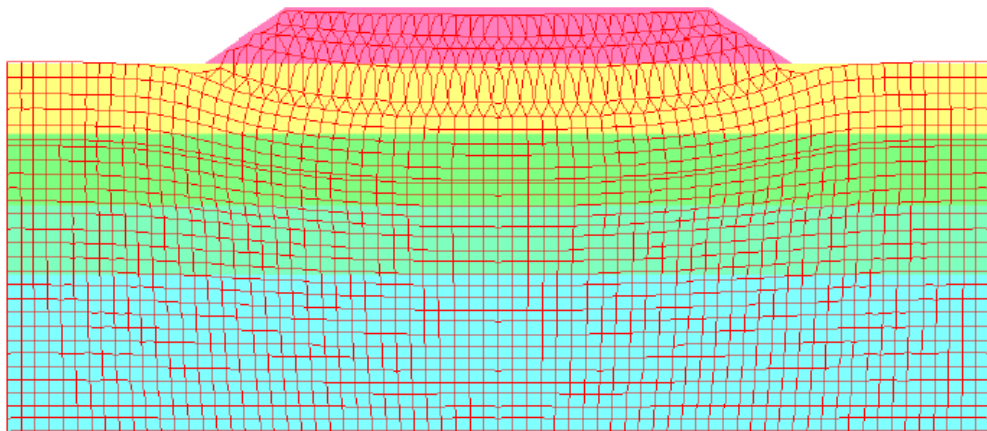
Luaran yang diperoleh dari proses analisis *SIGMA/W* dapat divisualisasikan dalam bentuk deformasi 2 dimensi pada model yang telah dibuat atau dalam bentuk grafik. Tampilan deformasi dapat ditampilkan berupa deformasi bentuk dan *deformed mesh / displacement vector* beserta grafik penurunan timbunan. Contoh luaran yang dihasilkan dari peneliti sebelumnya ditampilkan pada **Gambar 2.26** sampai dengan **Gambar 2.28**



Gambar 2.26 Tampilan Deformation Model

(Sumber : Dicky A.D., 2022)

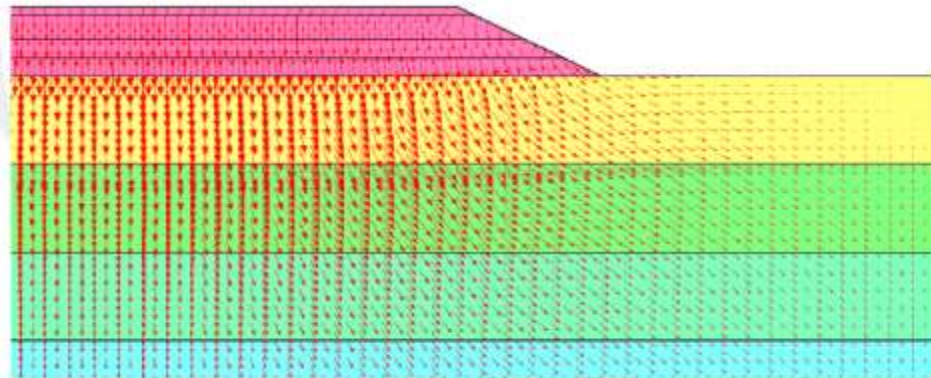
Gambar 2.26 menunjukkan salah satu luaran dari *software* Geo Studio yang menunjukkan kondisi material setelah mengalami pembebanan akibat suatu massa timbunan.



Gambar 2.27 Tampilan Deformation Mesh

(Sumber : Dicky A.D., 2022)

Gambar 2.27 menunjukkan luaran yang muncul dari *software* Geo Studio. Tampilan tersebut menunjukkan bentuk awal dari model tanah yang dibuat dikombinasi dengan *deformed mesh* yang menunjukkan perubahan pada tanah yang dimodelkan.



Gambar 2.28 Tampilan Displacement Vector

(Sumber : Dicky A.D., 2022)

Gambar 2.28 menunjukkan tampilan *displacement vector* yang dapat diatur perbesarannya sesuai dengan factor skala pengaturan.

Dalam proses memasukkan data material, terdapat beberapa pedoman nilai yang diambil dari N-SPT dan hasil pengujian dari laboratorium. Berikut merupakan data material yang dibutuhkan untuk melakukan analisa dengan *software* Geo Studio:

a. Koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam (K_0)

Koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam merupakan perbandingan antara tekanan vertikal dengan tekanan horizontal yang diakibatkan dari tekanan tanah vertikal tersebut pada kondisi tanah diam. Hal tersebut menggambarkan kondisi tanah yang terhalangi sehingga tanah dalam keadaan setimbang atau statis.

Dalam bukunya Hardiyatmo, 2002 : 143 menyatakan bahwa dari penelitian yang pernah dilakukan oleh Ladd dkk. (1977) menyatakan bahwa nilai K_0 tanah nilai berkisar antara 0,9 s.d 1,2 yang nilai ini tergantung dari jenis tanah serta beban vertikal yang bekerja. . Pada tanah berpasir dengan variasi tekanan vertikal yang divariasikan Yamin, 2005 : 68 diperoleh bahwa nilai K_0 berangsur – angsur cenderung mengecil dengan bertambahnya tekanan vertikal. Berdasarkan teori Ameratunga (2016), menjelaskan bahwa besarnya

koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$K_0 = 0,19 + 0,233 \log PI \dots\dots\dots (2.7)$$

b. Angka Poisson

Angka *poisson* atau *poisson ratio* adalah perbandingan antara regangan horizontal dengan regangan vertical. Nilai ini ditentukan sebagai kompresi poros terhadap regangan permukaan lateral. Ameratungga (2016), menjelaskan bahwa besarnya angka *poisson* dapat dicari menggunakan persamaan K_0

$$K_0 = \frac{\nu}{1 - \nu}$$

$$\nu = \frac{K_0}{1 + K_0} \dots\dots\dots (2.8)$$

Nilai umum angka *poisson* tiap jenis tanah disajikan pada tabel di bawah ini

Tabel 2.2 Nilai Angka Poisson tiap Jenis Tanah

Jenis Tanah	Angka Poisson
Lempung jenuh	0,4 – 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir	0,1 – 1,0
Batuan	0,1 – 0,4

(Sumber : Das, 1995)

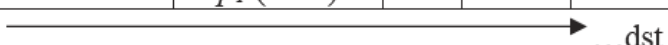
c. Nilai Tahanan Ujung (q_c)

Nilai tahanan ujung atau nilai kuat tekan ujung tanah yang digunakan untuk mengukur kemampuan tanah untuk menahan beban diujungnya. Tahanan tanah diukur dalam telakan per satuan luas (misalnya dalam *pascal* atau *kilopascal*) dan dapat bervariasi tergantung pada jenis tanah yang ada. Menurut persamaan Meyerhoff (1956), nilai q_c

dihubungkan dengan tahanan konus (q_{c1}) dan diameter konus ujung (D) pada uji SPT (*Standard Penetration Test*). Persamaan Meyerhoff yaitu sebagai berikut :

$$Q_c = k \times q_{c1} \dots\dots\dots (2.9)$$

Tabel 2.3 Korelasi N-SPT dengan nilai q_c

Jenis tanah	p_l (MPa)	0	1	2	3
					
Lempung atau lanau kelempungan	q_c (MPa)	0	3	6	9
	N	0	15	30	45
Pasir atau kerikil	q_c (MPa)	0	8	16	24
	N	0	20	40	60

(Sumber : Ameratunga dkk, 2016)

d. Modulus Elastisitas Tanah

Modulus elastisitas tanah atau dikenal sebagai modulus *Young* tanah atau modulus kekakuan tanah adalah ukuran yang menggambarkan kemampuan tanah untuk berubah bentuk atau mengalami deformasi saat dikenakan beban. Ameratunga (2016) menjelaskan bahwa modulus elastisitas dapat dihitung dengan menggunakan modulus terkekang tanah. Modulus terkekang tanah dapat ditentukan melalui perhitungan di bawah ini.

$$M = \alpha \times q_c \dots\dots\dots (2.10)$$

Nilai q_c diperoleh melalui pengujian Sondir atau pendekatan dari nilai N-SPT.

Tabel 2.4 Korelasi nilai q_c dengan nilai α

Jenis tanah	q_c (MPa)	α
Lempung plastisitas rendah (CL)	$< 0,7$	$3 < \alpha < 8$
	$0,7 < q_c < 2$	$1 < \alpha < 5$
	$q_c < 2$	$1 < \alpha < 2,5$
Lanau tak organik (ML)	$q_c < 2$	$3 < \alpha < 6$
	$q_c > 2$	$1 < \alpha < 2$
Lempung plastisitas tinggi (CH)/lanau elastis (MH)	$q_c < 2$	$2 < \alpha < 6$
	$q_c > 2$	$1 < \alpha < 2$
Lanau organik (OL)	$q_c < 1,2$	$2 < \alpha < 8$
Lempung organik (OH)/gambut (Pt) $50 < w < 100$ $100 < w < 200$ $w > 300$	$q_c < 0,7$	$1,5 < \alpha < 4$
		$1 < \alpha < 1,5$
		$\alpha < 0,4$

(Sumber : Ameratunga dkk, 2016)

$$M = \frac{1 - \nu}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)} E$$

$$E = \frac{M(1+\nu)(1-2\nu)}{1-\nu} \dots\dots\dots$$

(2.11)

dengan :

M : Modulus Terkekang Tanah

E : Modulus Elastisitas Tanah

Nilai umum Modulus Elastisitas tiap jenis tanah disajikan pada Tabel 2.6 di bawah ini.

Tabel 2.5 Modulus Elastisitas Tiap Jenis Tanah

Jenis Tanah	Modulus Elastisitas (kg/cm ²)
Lempung sangat lunak	3 - 30
Lempung lunak	20 - 40
Lempung sedang	45 - 90
Lempung berpasir	300 - 425
Pasir berlanau	50 - 200
Pasir tidak padat	100 - 250
Pasir padat	500 - 1000
Lanau	20 - 200

(Sumber : Bowles. 1997)

2.10 Penelitian Terdahulu

Seiring berjalannya waktu, telah banyak Sarjanawan Indonesia yang melakukan penelitian dengan berbagai jenis pembahasan yang dilakukan. Terdapat banyak penelitian terdahulu yang hamper sejenis dengan penelitian

ini. Penelitian terdahulu membahas mengenai keamanan bendungan setelah bendungan tersebut beroperasi. Metode Penelitian yang dilakukan menggunakan berbagai cara, adapula yang menggunakan instrumen geoteknik.

Meskipun demikian, penelitian ini memiliki rumusan masalah dan tujuan yang berbeda. Selain itu, pada penelitian ini berfokus pada keamanan puncak bendungan dan kemungkinan keretakan yang terjadi pada zona inti bendungan. Adapula instrumentasi penelitian yang dilakukan yaitu pengamatan dari instrumentasi geoteknik *Ekstensometer* yang telah dipasang di beberapa lokasi *maindam* Bendungan Jragung.

Berikut adalah perbedaan penelitian ini dengan penelitian terdahulu :

Tabel 2.6 Penelitian Terdahulu

No	Judul	Penulis	Tujuan	Metode	Perbedaannya
1.	Perilaku dan Keamanan Bendungann Manggar, Kalimantan Timur	Carlina Soetjiono	Mengetahui dan menilai kinerja, perilaku, dan keamanan bendungan dan bangunan pelengkapya setelah berumur 30 tahun, agar bangunan tetap aman dan berfungsi dengan baik.	Metode yang dilakukan dengan cara hipotesis penelitian, survei, dan inspeksi lapangan	Dalam skripsi ini menggunakan metode pengamatan lapangan terhadap intrumentasi <i>multisettlement layer - ekstensometer</i>
2.	Analisa Intrumentasi Geoteknik Untuk Evaluasi Keamanan Benduungan Urugan Tanah di Lodan Kabupater Rembang	Deni Setya Aprianto, Ricky Eko Maulana, Indrastono Dwi Atmanto, Bambang Pardoyo	Mengetahui respon intrumentasi piezometer untuk mengetahui angka aman rembesan, penurunan yang terjadi pada tubuh bending, serta mengetahui angka aman lereng	Metode yang dilakukan dengann cara pengamatan isntrumentasi geoteknik	Intrumentasi yang diamati dalam skripsi ini terbatas pada intrumentasi <i>Multisettlement Layer - Ekstensometer</i>

No	Judul	Penulis	Tujuan	Metode	Perbedaannya
			bendungan		
3.	Analisis Perilaku Deformasi Bendungan Bajulmati dengan Metode Penilaian Berdasarkan Database Sejarah Bendungan	M. Santang Istiaji, Sriyana, Kresna Wikan Sadono	Menentukan perilaku deformasi “normal“ dan deformasi “abnormal“ dapat diidentifikasi dan kemudian dianalisis lebih lanjut.	Metode yang digunakan dengan cara pengamatan database instrumentasi geoteknik selama konstruksi, pengisian awal, dan pasca konstruksi	Pengamatan instrumen <i>multisettlement layer - ekstensometer</i> dilakukan selama masa konstruksi berlangsung.
4.	Konsepsi Keamanan Bendungan Dalam Pembangunan dan Pengelolaan Bendungan	Joko Mulyono	Memperbaiki pengelolaan bendungan baru dengan tujuan agar dalam pengelolaan bendungan mengikuti kaidan Konsepsi Keamanan Bendungan.	Metode yang digunakan mengkaji kegagalan bendungan yang pernah terjadi dan menentukan cara pemeliharaan bendungan yang lebih baik.	Menggunakan metode pengkajian terhadap teori dan data perencanaan bendungan serta pengamatan pada instrumen geoteknik pada masa konstruksi

No	Judul	Penulis	Tujuan	Metode	Perbedaannya
5.	Analisa Geoteknik Bendungan Gongseng Terhadap Keamanan Rembesan, Stabilitas Lereng, dan Beban Gempa	Ali Imron, Dianah Sarah, Siti Hardiyati, Kresno Wikan Sadono	Menganalisa keamanan tubuh bendungan waduk gongseng terhadap keamanan rembesan, stabilitas lereng, dan beban gempa.	Analisa menggunakan <i>software geostudio</i> dan <i>plaxis</i> . Parameter material berdasarkan hasil pengujian laboratorium.	Penelitian ini menggunakan <i>software Geo-Studio</i> namun terbatas untuk mengetahui penurunan atau deformasi vertikal tubuh bendungan berdasarkan hasil bacaan instrumentasi selama masa konstruksi.
6	Analisis <i>Sattlement</i> Puncak Bndungan Akibat Proses Konsolidasi dalam Penentuan <i>Camber</i> (Studi Kasus : Bendungan Pidekso)	Ahmad Hidayawan, Andri Kurniawan, Bagas Wahyu Adhi, Beni Setiyanto, Hayu Rahayu	Menentukan total penurunan akibat proses konsolidasi puncak bendungan untuk mengantisipasi berkurangnya tinggi jagaan akibat penurunan (<i>settlement</i>) tubuh	Analisa menggunakan program <i>Geo Studio</i> versi 2018	Perbedaan dengan penelitian sebelumnya adalah lokasi studi kasus, dan waktu konsolidasi yang dianalisa.

No	Judul	Penulis	Tujuan	Metode	Perbedaannya
			bendungan.		

(Sumber : Dokumen Penulis, 2023)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian merupakan dasar dan langkah utama yang dilakukan untuk pelaksanaan riset. Pentingnya menentukan jenis penelitian agar penelitian yang dilakukan lebih terarah dan memperoleh hasil sesuai dengan tujuan penelitian. Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah dan tujuan yang penulis angkat dalam penelitian ini, maka penulis menggunakan jenis penelitian langsung peninjauan lapangan dengan menggunakan beberapa instrumentasi penelitian. Melakukan monitoring terhadap bacaan alat instrumentasi geoteknik yang telah dipasang di beberapa titik lokasi penimbunan untuk mengetahui besarnya penurunan selama masa konstruksi yang kemudian diolah dan dilakukan analisa.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian yang dilakukan penulis berlokasi di Desa Candirejo, Kecamatan Pringapus, Kab. Semarang tepatnya pada Proyek Bendungan Jragung. Penelitian ini dilaksanakan selama 6 (enam) bulan terhitung mulai pada tanggal 01 Oktober 2023 hingga 31 Maret 2024. Penelitian ini berfokus pada konstruksi timbunan *maindam* yang merupakan wilayah kerja Paket 1 yang dikerjakan oleh PT Waskita Karya (Persero) Tbk. dan Paket 2 yang dikerjakan oleh PT Wijaya Karya (Persero) Tbk. Alasan penulis melakukan penelitian di Proyek Bendungan Jragung dikarenakan saat ini masih berlangsung konstruksi penimbunan *maindam* dan telah dilakukan pemasangan instrumentasi geoteknik di beberapa titik. Secara desain dan pelaksanaannya Bendungan Jragung ini mengalami beberapa kali perubahan desain yang dipengaruhi oleh kondisi geoteknik. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk memastikan keamanan desain puncak bendungan dengan peninjauan penurunan tanah selama masa konstruksi untuk mendapatkan tinggi puncak yang aman sesuai dengan umur rencana bendungan.



Gambar 3. 1 Peta Lokasi Bendungan Jragung
(Sumber : Data Proyek Bendungan Jragung, 2020)

3.3 Sumber Data

Jenis dan sumber data merupakan suatu hal yang penting dalam proses penelitian yang dilakukan. Data-data yang terkumpul akan sangat berpengaruh terhadap hasil penelitian. Oleh karena itu, dalam penelitian ini penulis menggunakan sumber data primer dan data sekunder.

3.3.1 Data Primer

Data Primer adalah data yang diperoleh dari hasil pengamatan dan pengukuran secara langsung. Dalam penelitian ini penulis melakukan monitoring penurunan tanah dari bacaan alat instrumentasi geoteknik *Ekstensometer*.

3.3.2 Data Sekunder

Sumber data sekunder adalah data yang didapatkan penulis secara tidak langsung. Data tersebut dapat berasal dari lokasi penelitian maupun di luar lokasi penelitian. Dalam penelitian ini penulis menggunakan Teknik pengumpulan data dokumentasi untuk mengumpulkan data perencanaan Konsultan Bendungan Jragung, Gambar Kerja Bendungan Jragung dan Spesifikasi Teknis Bendungan Jragung.

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data digunakan sebagai cara penulis untuk mendapatkan data yang diperlukan dalam penelitian. Menurut Sugiyono (2012 : 224), teknik pengumpulan data merupakan langkah yang paling strategis dalam penelitian, karena tujuan utama dari penelitian adalah mengumpulkan data. Teknik pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan teknik observasi secara langsung dengan memonitoring bacaan alat instrumentasi beserta dengan dokumentasi lapangan. Selain itu penelitian ini juga mengumpulkan data yang berasal dari perusahaan tempat penelitian dengan mengikuti kegiatan *Quality Control* pekerjaan timbunan. Untuk memperkuat data penelitian maka peneliti melakukan pengumpulan data perencanaan desain Bendungan Jragung.

3.5 Instrumen Penelitian

Menurut Suharsimi Arikunto (2000:134), instrumen pengumpulan data adalah alat bantu yang dipilih dan digunakan oleh peneliti mengumpulkan data agar kegiatan tersebut menjadi sistematis dan di permudah olehnya. Pada penelitian kali ini, penulis menggunakan instrumen penelitian sebagai alat bantu untuk menunjang pengumpulan data. Instrumen yang digunakan sangat mempengaruhi proses dan hasil dari suatu penelitian. Untuk memperlancar proses penelitian, adapun instrumen penelitian yang digunakan penulis yaitu instrumentasi *Ekstensometer / Inclinometer*, laptop, dan *software Geo-Studio SIGMA/W*.

3.5.1 Instrumentasi Geoteknik *Ekstensometer / Iclinometer*

Ekstensometer / Inclinometer adalah salah satu alat instrumen yang mengukur pergerakan tanah. Alat ini berfungsi untuk mengukur penurunan vertikal yang pada tubuh bendungan. Pada Proyek Bendungan Jragung, alat ini dipasang di lokasi timbunan yang dianggap beresiko untuk mengalami penurunan STA 0+499, STA 0+945 dan STA 1+225 yang dipasang pada zona inti bendungan.

3.5.2 Software *Geo Studio*

Geo Studio merupakan salah satu *software* geoteknik, dalam penelitian ini *tools* yang digunakan adalah *SIGMA/W* untuk menganalisa penurunan dan deformasi yang terjadi pada tubuh bendungan. Dalam penelitian ini data yang dimasukkan menggunakan data hasil pengujian laboratorium dan data dari perencana.

3.5.3 Laptop / PC

Laptop merupakan alat pembantu dalam penelitian ini untuk mengolah data yang ada. Dikarenakan semua data berupa *softfile* yang harus melalui beberapa tahap pengolahan, spesifikasi laptop juga sangat berpengaruh terhadap hasil penelitian. Laptop yang digunakan penulis dalam menunjang penelitian ini yaitu laptop dengan prosesor Intel Core i7-12700H Gen 12th 2,30 GHz dengan RAM 16 GB 64-bit. Kecepatan dalam pengolahan data dapat dipengaruhi oleh spesifikasi laptop / PC yang digunakan.

3.6 Teknik Analisa Data

Analisis data adalah proses mencari dan menyusun secara sistematis data yang diperoleh dari hasil wawancara, catatan lapangan, dan dokumentasi, dengan mengorganisasikan data, menjabarkan ke dalam unit-unit, melakukan sintesa, menyusun kedalam pola, memilih mana yang penting dan yang akan dipelajari dan membuat kesimpulan sehingga mudah dipahami oleh diri sendiri maupun orang lain (Sugiyono,2014).

Proses analisis data yang dilakukan penelitian ini menggunakan tiga langkah yaitu :

3.6.1 Pengolahan Data (*Data Process*)

Mengumpulkan data dari berbagai sumber terkait yang dapat dilakukan dengan berbagai cara yaitu seperti observasi, wawancara, literasi untuk menghasilkan data monitoring bacaan alat instrumentasi data hasil pengujian laboratorium, dan data perencanaan. Pada penelitian ini, maka penulis terlebih mengumpulkan data yang diperlukan sebagai bahan analisa penurunan puncak bendungan.

Data monitoring yang didapatkan dari hasil bacaan alat instrumentasi digunakan untuk mengetahui besarnya penurunan rata-rata yang terjadi selama masa konstruksi yang kemudian akan diolah melalui *software Geo Studio*.

3.6.2 Penyajian Data (*Display Data*)

Penyajian data dari hasil analisa data menggunakan *Geo Studio* akan diketahui besarnya penurunan dan kemungkinan deformasi yang terjadi. Analisa ini akan menampilkan model 2 dimensi kemungkinan kerusakan pada tubuh bendungan. Selain itu akan ditampilkan pula beberapa grafik analisa untuk dapat dilakukan peninjauan lebih lanjut.

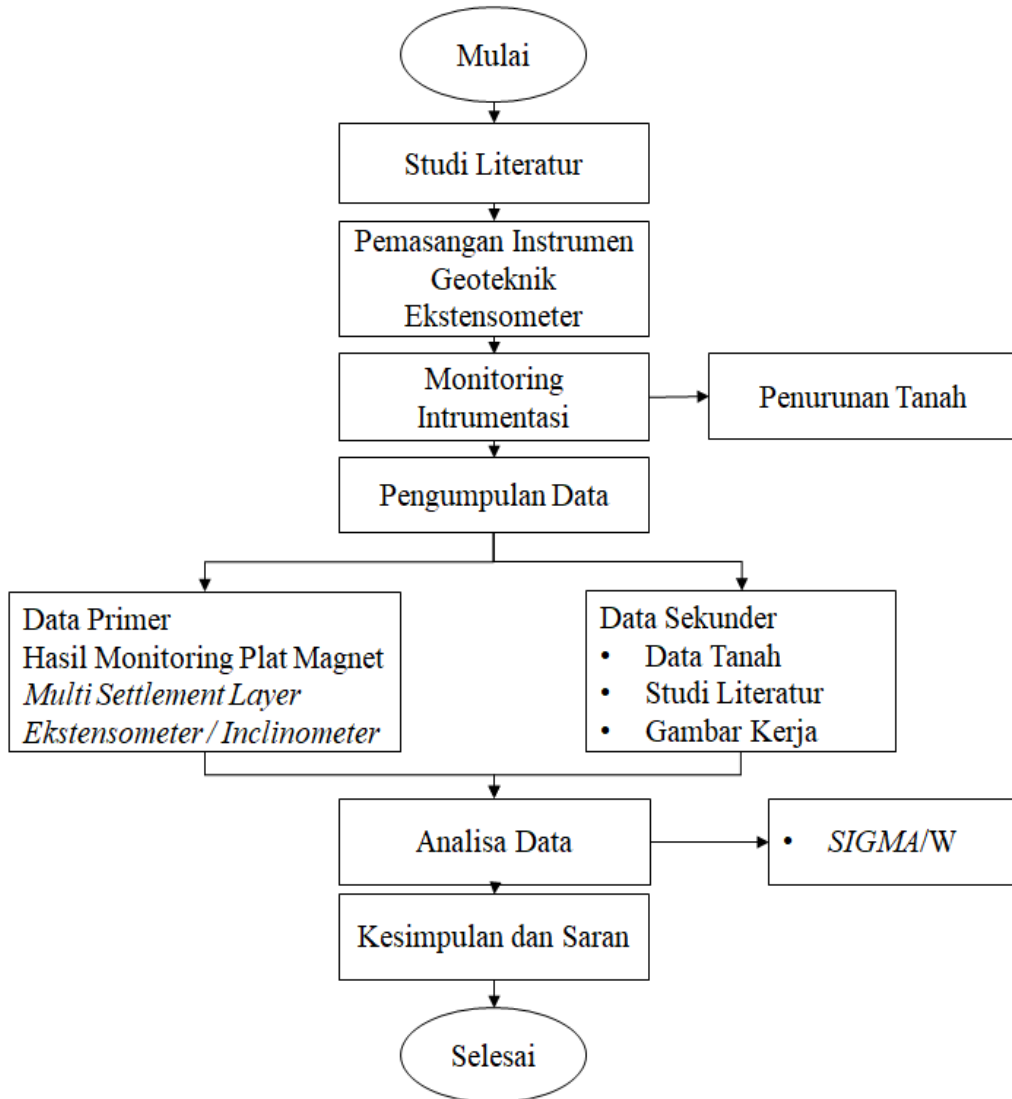
Penyajian data dalam penelitian ini berfungsi untuk memudahkan penulis dalam memahami hasil analisa. Selain itu, dengan penyajian data ini juga akan didapatkan hasil dan kesimpulan dalam penelitian.

3.6.3 Penarikan Kesimpulan (*Concluding Verification*)

Penarikan kesimpulan dari hasil analisa data yang telah diolah dan disajikan oleh penulis. Kesimpulan awal yang dikemukakan masih bersifat sementara, dan akan berubah bila tidak ditemukan bukti –bukti yang kuat yang mendukung pada tahap pengumpulan data berikutnya (Sugiyono,2016). Kesimpulan data dapat menjawab

rumusan masalah yang dirumuskan sejak awal dan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Data Teknis Bendungan Jragung

Berikut adalah data teknis Bendungan Jragung berdasarkan hasil sertifikasi:

a. Data Hidrologi :

1. Nama sungai : Jragung
2. Luas tangkapan sungai : 94 km²
3. Panjang sungai : 35 km
4. Kemiringan rerata sungai : 0,0009
5. Elevasi daerah hulu : + 150,00 m.dpl
6. Elevasi daerah hilir : + 65,00 m.dpl
7. Hujan rerata tahunan : 2.479 mm
8. Debit rata-rata tahunan : 114 juta m³
9. Debit banjir
 - Kala ulang 25 tahun : 280 m³/det
 - Kala ulang 1000 tahun : 825 m³/det
 - Kala ulang PMF : 1580 m³/det

b. Waduk

1. Kapasitas tampungan total : 90 juta m³
2. Kapasitas tampungan mati : 21 juta m³
3. Kapasitas tampungan efektif : 69 juta m³
4. Elevasi muka air rendah : + 93,00 m.dpl
5. Elevasi muka air normal : + 115,00 m.dpl
6. Elevasi muka air banjir 1000 th : + 117,28 m.dpl
7. Elevasi muka air banjir PMF : + 118,65 m.dpl
8. Luas genangan muka air rendah : 438 ha
9. Luas genangan muka air normal : 451 ha
10. Luas genangan muka air banjir : 503 ha

- c. Bangunan Pengelak
1. Kapasitas *outflow* (Q25) : 181,74 m³/det
 2. Elevasi puncak *cofferdam* sementara : + 76 m.dpl
 3. Tinggi *cofferdam* sementara : 11 m
 4. Panjang *cofferdam* sementara : 501 m
 5. Lebar puncak *cofferdam* sementara : 6 m
 6. Kemiringan lereng hulu *cofferdam* : 1 : 2,0
 7. Kemiringan lereng hilir *cofferdam* : 1 : 2,0
- d. Bendungan Utama
1. Tipe : Urugan Zona
 2. Elevasi puncak bendungan : + 119,5 m.dpl
 3. Elevasi dasar pondasi : + 60,0 m.dpl
 4. Tinggi bendungan : 59,5 m (dari dasar pondasi)
 5. Lebar puncak bendungan : 10 m
 6. Panjang puncak bendungan : 1.305,3 m
 7. Kemiringan lereng bagian hulu : 1 : 2,5
 8. Kemiringan lereng bagian hilir : 1 : 2,25
 9. *Green belt* : 15,06 ha
- e. Bangunan Pelimpah
1. Mercu Tipe : Pelimpah bebas
 - Tipe ambang : Ogee tipe II
 - Elevasi ambang : + 115 m
 - Tinggi jagaan total : 4,50 m
 - Lebar ambang pelimpah : 60 m, berbentuk lengkung
 - Panjang mercu : 12,30 m
 2. Panjang total pelimpah : 439,00 m
 3. Debit banjir *inflow*
 - Q100 : 378,00 m³/det
 - Q1000 : 822,00 m³/det

- QPMF : 1.580,00 m³/det
4. Debit banjir *outflow*
- Q100 : 170,00 m³/det
 - Q1000 : 446,00 m³/det
 - QPMF : 981,00 m³/det
- f. Bangunan Pengambilan dan Pengeluaran
1. Lokasi : Tumpuan Kiri
 2. Tipe : *Intake Tower*
 3. Elevasi Dasar *Intake* : EL. + 85.00 m
 4. Struktur Tower : Persegi (Beton K300)
 5. Tinggi : 51.50 m
 6. Pondasi : Telapak 24x24 m
 7. *Borepile* : L=6.00 m Ø60
 8. Pintu : Pintu *stoplog & Gate valve*
Ø1800
 9. Pipa *Intake*
 - Tipe : Pipa Baja (*embedded*)
 - Diameter : 1800
 - Panjang Pipa *Embedded* : 59,10 m
 - Jembatan : Baja Komposit
 - Panjang Jembatan : 135 m dengan 3 pilar
- g. Manfaat
1. Pengendalian banjir
 - QPMF : 1.580 m³/det menjadi
981 m³/det mereduksi 68%
 - Q1000 : 822 m³/det menjadi
446 m³/det mereduksi 54%
 - Q100 : 378 m³/det menjadi
170 m³/det mereduksi 45%
 - Q50 : 326 m³/det menjadi

141 m³/det mereduksi 43%

2. Pembangkit listrik
 - Debit PLTA : 3,00 m³/det
 - Kapasitas terpasang : 1.400 kW
3. Air Baku : 1 m³/det
(Kab. Demak dan Kota Semarang)
4. Irigasi : 4528ha
(Existing 4053 ha dan Peningkatan 475 ha)
5. Aliran pemeliharaan sungai : 0,15 m³/det

4.2 Data Properti Tanah

Desain tubuh Bendungan Jragung atau *maindam* dengan tipe zona inti tegak terdiri dari tujuh zona yang berbeda berdasarkan jenis materialnya. Berikut adalah data properti tanah yang digunakan sebagai material timbunan *maindam* berdasarkan persyaratan teknis:

a. Zona 1 – Timbunan Inti

1. Kepadatan Basah (*Wet Density*) = >1600 gr/cm³
Triaxial CU BP (Back Preassure) – Tekanan Efektif
2. Kohesi = 5 Kpa
3. Sudut Gesek Dalam = >24°
4. *Atterberg Limit* LL = <70 %
PI = 15 – 40 %
5. *Dispersivitas (Double Hidrometer)* = <30 %
6. Potensi Pembengkakan (*Swelling*) = <50 %
7. Permeabilitas (*Permeability*) K = ≤1 x 10⁻⁵ cm/dt
8. Kepadatan di Lapangan = >95%
9. Kadar air saat dipadatkan = -1% + 3% dari OMC
10. *Maximum size* material = <4,75 mm

b. Zona 2 – Filter Halus

1. Kepadatan Basah (*Wet Density*) = $>1700 \text{ gr/cm}^3$
Direct Shear
2. Kohesi = min 0 Kpa
3. Sudut Gesek Dalam = $\geq 30^\circ$
4. Plastisitas Indeks PI = Non Plastis
5. Kadar Air (*Moisture Content*) SSD= 5-10%
6. Permeabilitas (*Permeability*) K = $>1 \times 10^{-3} \text{ cm/dt}$
7. Kepadatan Relatif = $\geq 70\%$
8. *Maximum size material* = 30 mm

c. Zona 3 – Random Batu

1. Kepadatan Basah (*Wet Density*) = $>1750 \text{ gr/cm}^3$
Large Scale Direct Shear (Shear Box)
2. Kohesi = min 0 Kpa
3. Sudut Gesek Dalam = $\geq 32^\circ$
4. Plastisitas Indeks PI = 5-20%
5. Permeability (*Permeability*) K = $>1 \times 10^{-4} \text{ cm/dt}$
6. Kepadatan Relatif = $\geq 85\%$
7. Kadar Air Saat Dipadatkan = SSD
(Saturation Surface Dry)
8. *Maximum size material* = 400 mm

d. Zona 4 – Filter Kasar

1. Kepadatan Basah (*Wet Density*) = $>1800 \text{ gr/cm}^3$
Large Scale Direct Shear (Shear Box)
2. Kohesi = min 0 Kpa
3. Sudut Gesek Dalam = $>32^\circ$
4. Plastisitas Indeks PI = Non Plastis

5. Kadar Air (*Moisture Content*)SSD = 5-10
6. Permeabilitas (*Permeability*) K = $>1 \times 10^{-2}$ cm/dt
7. Kepadatan Relatif = $\geq 70\%$
8. *Maximum size material* = 76,2 mm

Material Zona 4 – Filter Kasar harus bersih dari kotoran dan lempung material tidak berkoheasi dengan ukuran maksimum 76,2 mm dan ukuran minimum 10 mm

e. Zona 5 – Rip-rap

1. Diameter batu antara 50 s/d 100 cm
2. Batu pengisi dengan ukuran 20 cm sekitar 10% di pasang sedemikian hingga batuan saling mengunci dan pemasangan muka rata
3. Kekuatan tekan minimal sekitar 400 kg/cm²
4. Kehilangan berat dari test soundness kurang dari 12%
5. Penyerapan (absorpsi) kurang dari 10%
6. *Los Angeles (Abration test)* tidak lebih dari 40%
7. *Photogrid* dengan toleransi 10%

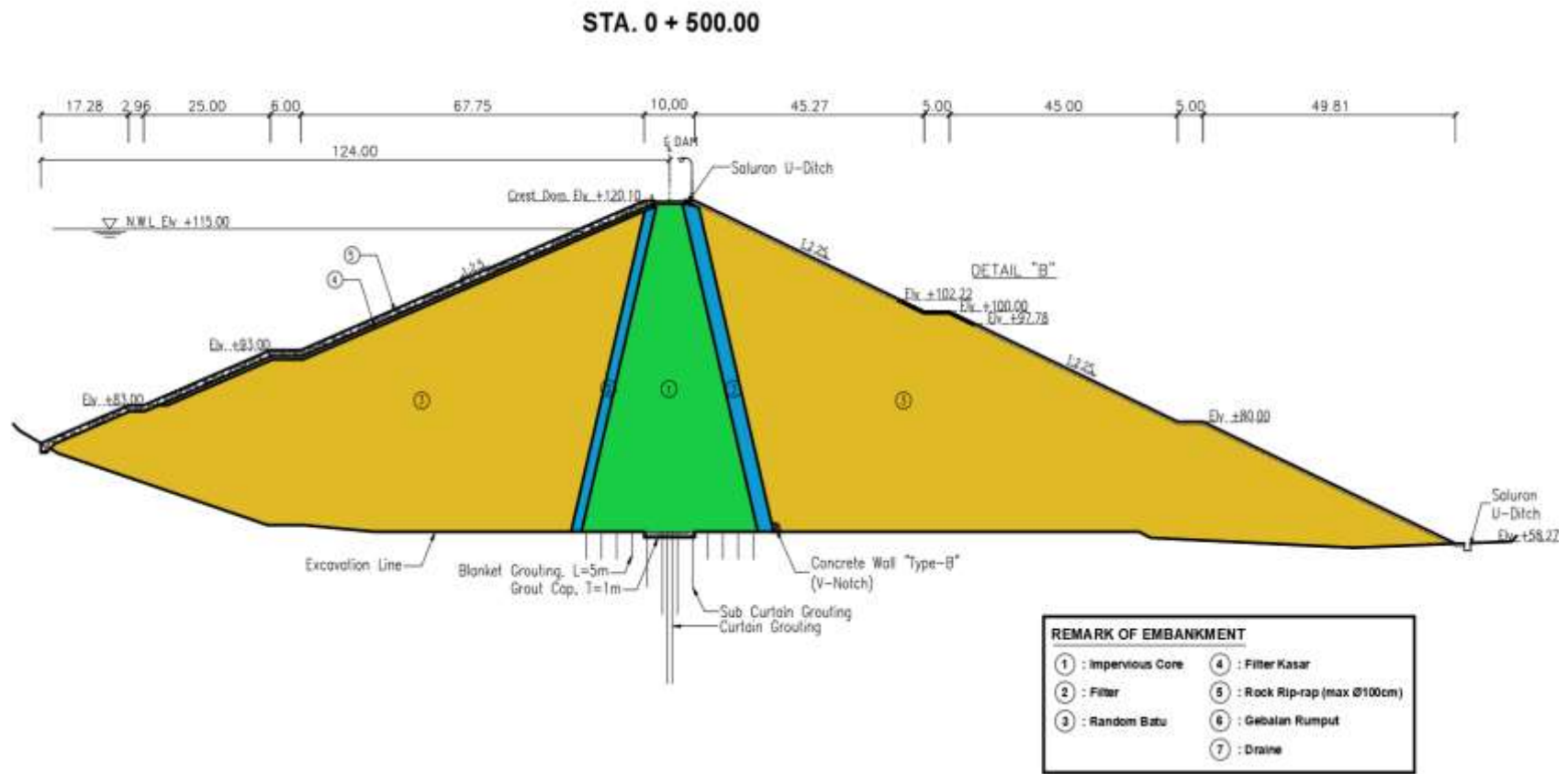
f. Zona 6 – Gebalan Rumput

Untuk material gebalan rumput disyaratkan tinggi rumput 10 cm dan rutin dilakukan perawatan seperti pemotongan rumput rutin.

g. Zona 7 – Drain

1. Diameter batu bergradasi antara 20 mm s/d 70 mm
2. Kehilangan berat dari test *soundness* kurang dari 12%
3. Penyerapan (absorpsi) kurang dari 10%
4. *Los Angeles (abrationn test)* tidak lebih dari 45%
5. Kepadatan relatif $>70\%$
6. *Permeability* timbunan $\geq 1 \times 10^{-2}$ m/dt

Material drain merupakan batu pecah, bersih dari lumpur dan tercuci



Gambar 4. 1 Cross Section Bendungan Jragung STA 0+500

(Sumber : Data Proyek Bendungan Jragung, 2023)

4.3 Pemasangan Alat Intrumentasi

Pemasangan alat intrumentasi mengikuti desain rencana yang telah disetujui bersama antara Kontraktor, Konsultan Supervisi, dan Direksi Pekerjaan. Pada Proyek Bendungan Jragung Paket 1, seluruh pekerjaan intrumentasi dikerjakan oleh Sub Kontraktor PT CIP. Sebelum melakukan pemasangan alat intrumentasi perlu dilakukan *Join Inspection* terhadap material intrumentasi maupun lokasi pemasangan.

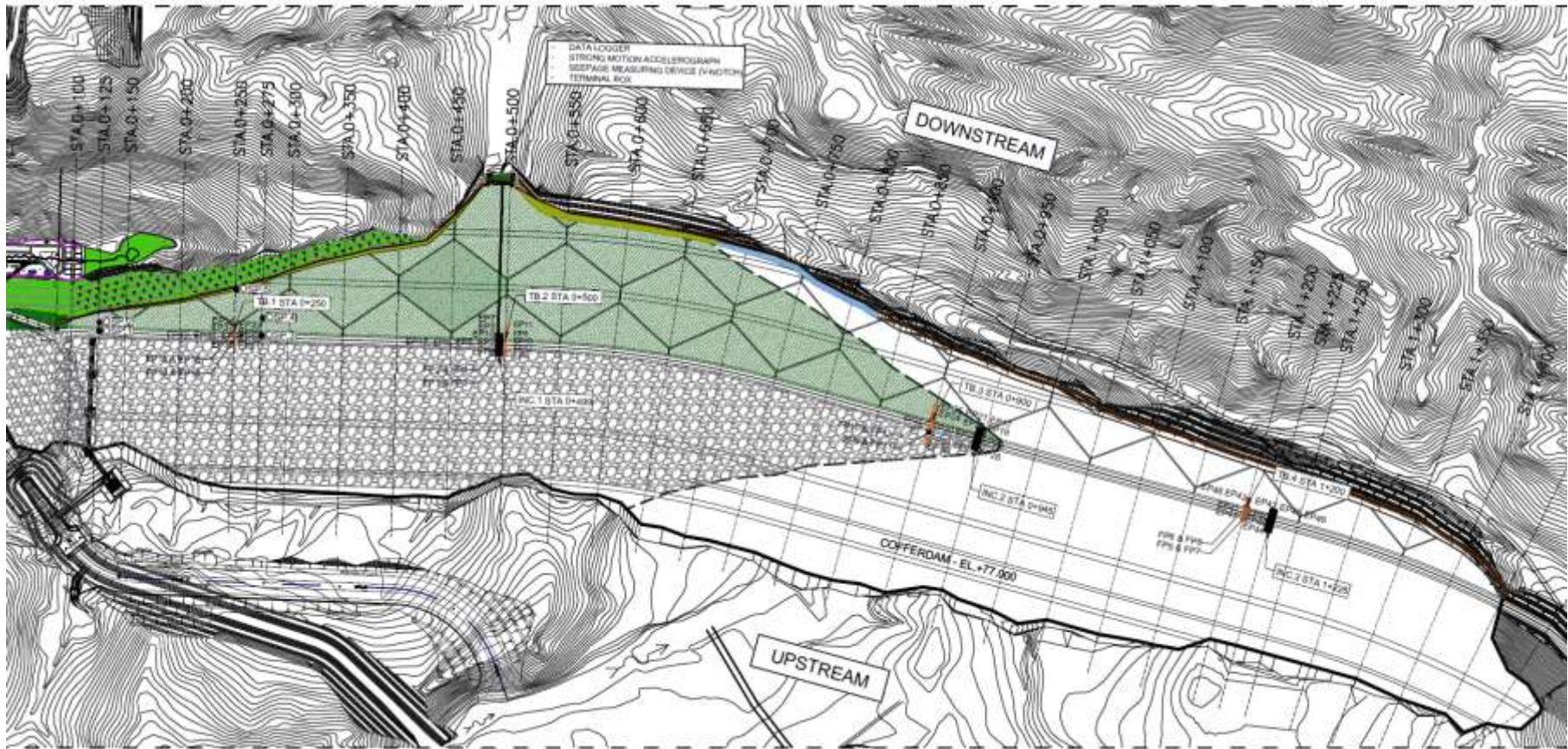
4.3.1 Titik Lokasi Pemasangan *Ekstensometer / Inclinometer*

Pemasangan alat intrumentasi geoteknit tersebar di sepanjang tubuh bendungan dengan jarak ideal dan menyesuaikan dengan adanya lokasi yang berpotensi terjadi resiko atau lokasi yang memang memerlukan pemantauan khusus. Penentuan titik intrumentasi ini telah ditentukan oleh Konsultan Supervisi yang telah disetujui oleh Direksi Teknik dan tertuang pada Gambar Kerja.

Dalam hal ini, seperti yang telah dijelaskan di Bab II, bahwa untuk pemantauan *settlement* yang terjadi di tubuh bendungan dipantau menggunakan alat intrumentasi *Ekstensometer* yang berupa plat magnet. Alat ini dipasang menjadi satu dengan tiang *Inclinometer* dan dipasang dalam susunan vertikal dengan jarak 5 meter setiap plat magnet.

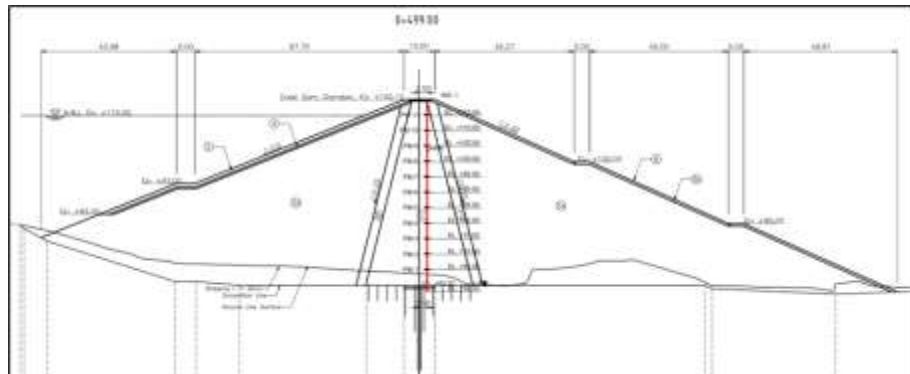
Pada tubuh *maindam* Bendungan Jragung, tiang *Inclinometer* dipasang di STA 0+499, 0+945, dan 1+225. Plat magnet dipasang mulai dari titik datum di bawah *Groutcap* hingga elevasi puncak bendungan yaitu +115.00 dan +115.934, dengan jumlah plat magnet sebanyak 3 buah.

Pekerjaan intrumentasi *Inclinometer/Ekstensometer* dikerjakan oleh Kontraktor Paket 1 PT Waskita Karya (Persero) Tbk. Denah pemasangan intrumentasi dapat dilihat pada **Gambar 4.2**. Sedangkan potongan melintang plat magnet dapat dilihat pada **Gambar 4.3, 4.4, dan 4.5**.

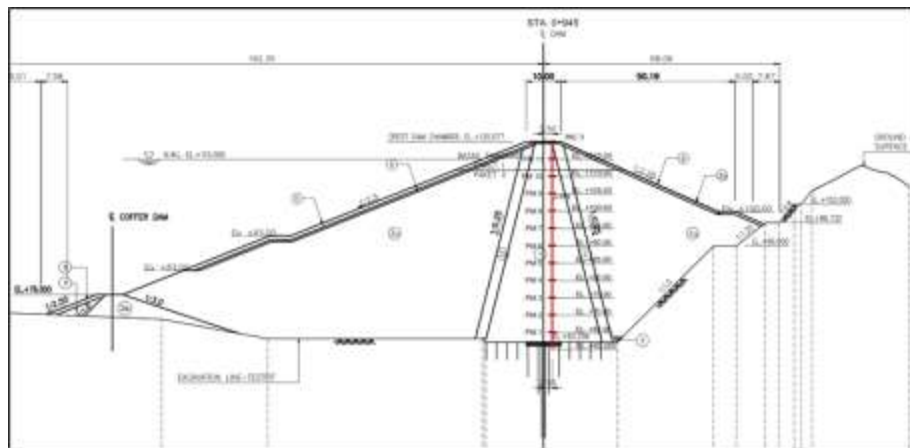


PLAN EMBANKMENT PIEZOMETER (EP), FOUNDATION PIEZOMETER (FP) & INCLINOMETER (INC)

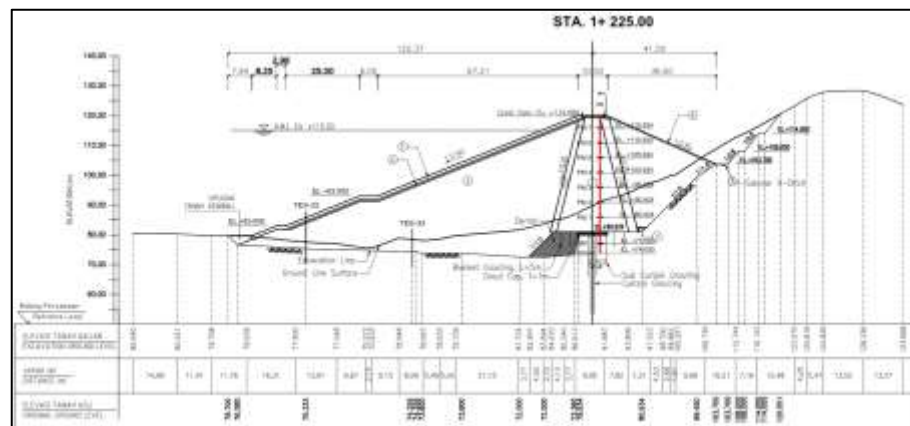
Gambar 4. 2 Plan Pemasangan Intrumentasi Bendungan Jragung
 (Sumber Data : Data Proyek Bendungan Jragung, 2023)



Gambar 4. 3 Potongan Melintang Plat Magnet STA 0+499
(Sumber : Data Proyek Bendungan Jragung, 2023)



Gambar 4. 4 Potongan Melintang Plat Magnet STA 0+945
(Sumber : Data Proyek Bendungan Jragung, 2023)



Gambar 4. 5 Potongan Melintang Plat Magnet STA 0+945
(Sumber : Data Proyek Bendungan Jragung, 2023)

Material yang dibutuhkan untuk pemasangan alat instrumentasi *Ekstensometer* dan *Inclinometer* tertera dalam tabel berikut :

Tabel 4.1 Daftar Material Pekerjaan Prove *Ekstensometer* /

No.	Jenis Material	Jumlah	Sat.	Keterangan
1	Pipa <i>Inclinometer</i>	60	Batang	Jenis ABS
ⁿ 2	Sambungan/ <i>Coupling</i>	60	buah	<i>Telescopic</i>
^c 3	Datum Magnet	3	Buah	(dipasang di 0.5 dari <i>bottom</i>)
^t 4	Plat Magnet	3	Buah	dipasang sesuai interval yang terdapat di gambar
ⁿ 5	<i>End cap</i>	3	Buah	dipasang dibagian bawah pipa
^o 6	<i>Top Cap</i>	3	Buah	dipasang dibagian atas pipa
^e 7	<i>Protective cover</i>	3	Buah	untuk pelindung dibagian atas pipa
^t 8	Alat baca <i>Inclinometer</i>	1	set	
^e 9	Alat baca <i>settlement magnet</i>	1	set	
^r 10	Material <i>grouting</i>	1	Ls	

(Sumber : Data Proyek Bendungan Jragung Paket 1)

Material yang tertera pada tabel tersebut adalah material yang telah sesuai dengan spesifikasi teknis dan BOQ (*Bill of Quantity*) di Proyek Bendungan Jragung Paket 1.

Inclinometer / *Ekstensometer* harus dipasang di zona kedap air bendungan sesuai dengan Gambar Kerja yang dan metode kerja yang telah disetujui. Pemasangan alat instrumentasi dilakukan ketika timbunan zona kedap air sudah dilakukan dan naik elevasi. Oleh karena itu harus dilakukakan penggalian parit dengan dimensi dan prosedur yang ditunjukkan pada Gambar Kerja di permukaan zona kedap air pada setiap tingkat yang diperlukan, dengan cara mengebor secara vertikal di bawah lantai parit untuk mengekspos tutup pelindung di bagian atas segmen sebelumnya dan melakukan *hand trimming* serta pembersihan lubang sesuai ketentuan.

Kemudian melakukan pemasangan segmen berikutnya beserta tutup pelindung, Setelah pemasangan plat magnet selesai, harus dilakukan penimbunan kembali zona kedap air yang dipilih, di dalam lubang dan di parit di daerah di atas instalasi, menggunakan stamper mekanik yang dioperasikan dengan tangan yang disetujui Direksi Pekerjaan. Minimal 500 mm material zona kedap air harus ditempatkan dan dipadatkan di atas tutup pelindung di parit sebelum melanjutkan penempatan dan pemadatan normal.

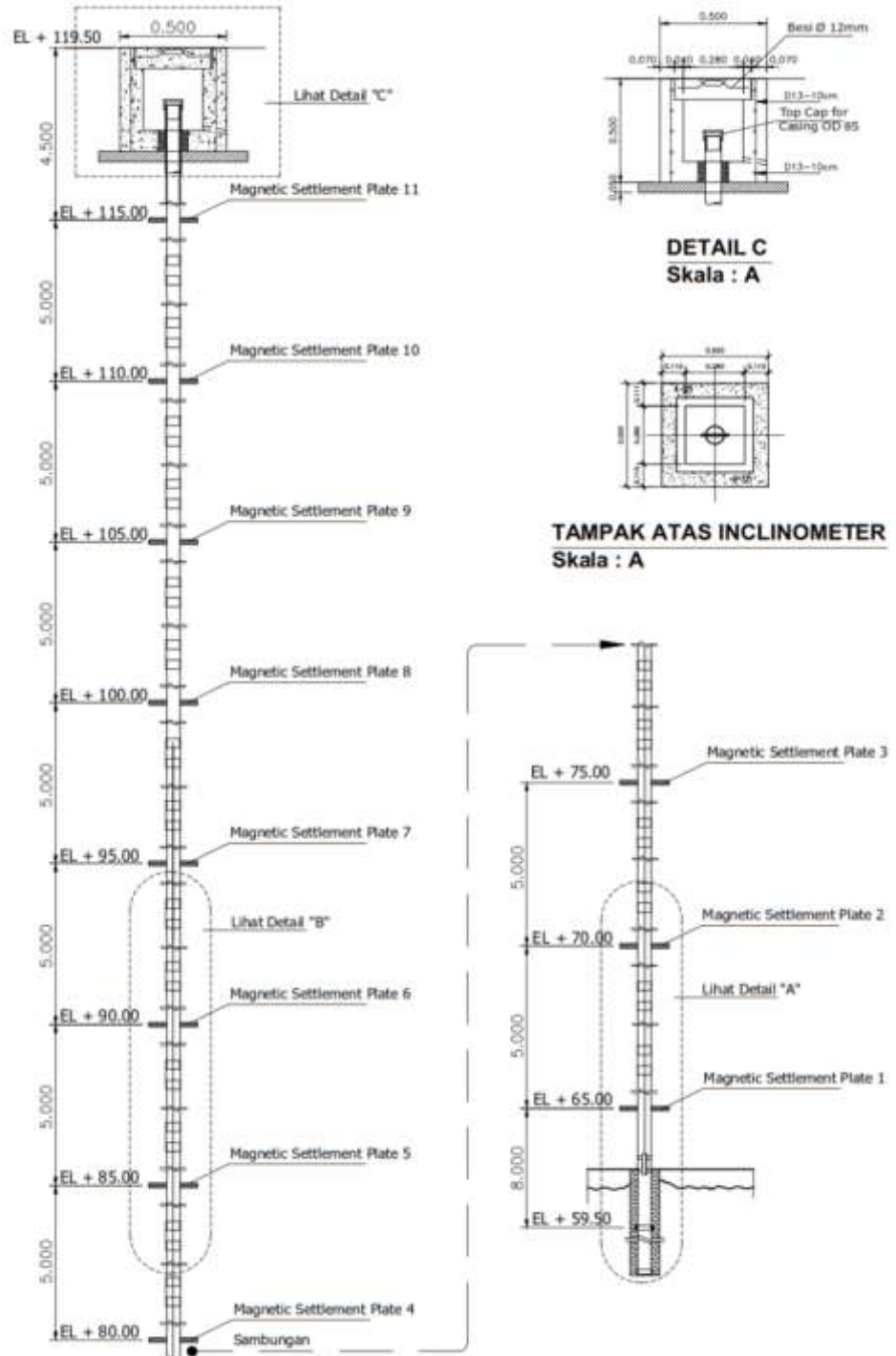
Crossarms harus dipasang di setiap parit kedua dengan interval 5 m di atas pondasi *crossarms*, sesuai dengan prosedur yang disetujui, parit dan *crossarms*.

Hal – hal yang perlu diperhatikan pada saat pemasangan *prove extensometer/inclinometer* antara lain :

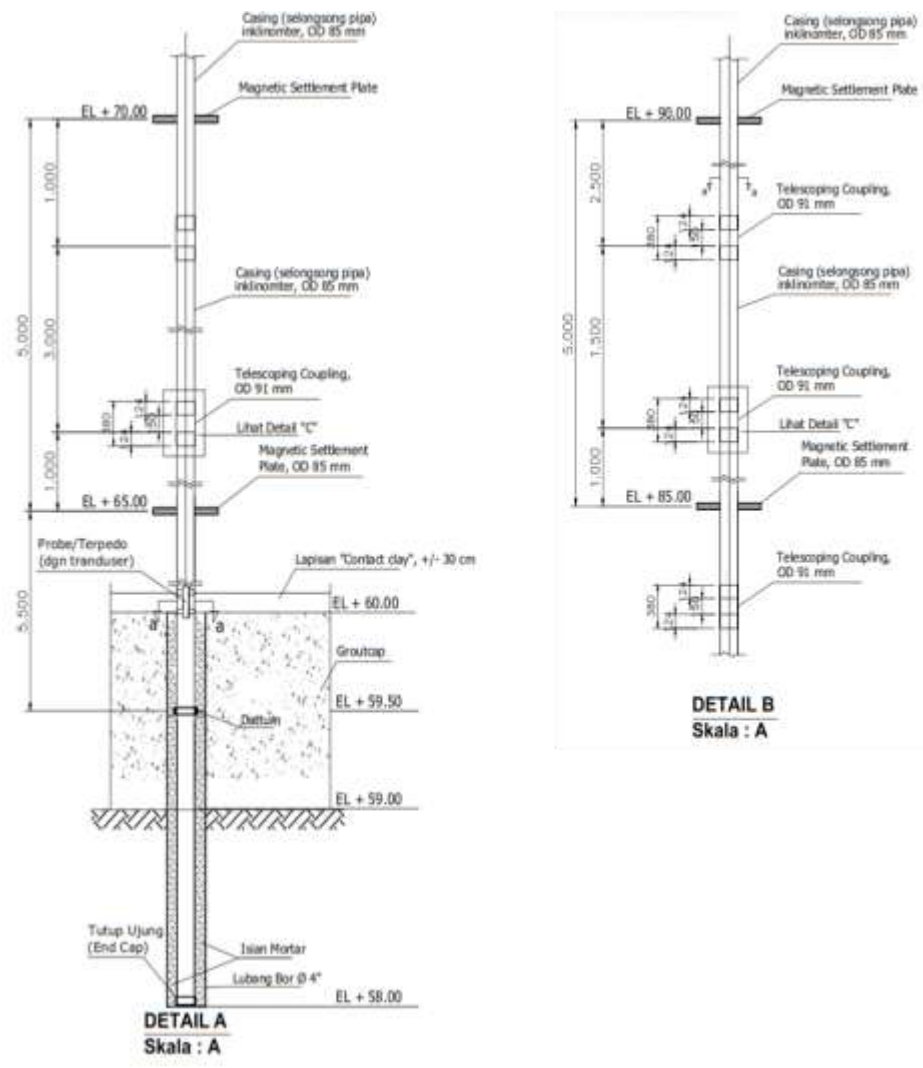
- a. Pada zona inti yang terindikasi mengalami penurunan yang besar perlu dilakukan penyesuaian sambungan pipa
- b. Pada saat pemasangan plat magnet perlu dipastikan area pemasangan sudah rata dan di cek dengan *waterpass*.
- c. Pada saat pemadatan, pipa dipastikan lurus secara vertikal dan di cek dengan menggunakan *waterpass*.

Berdasarkan pemantauan lokasi pekerjaan dan memperhatikan ketentuan pemasangan *Ekstensometer / Inclinometer* yang ada, Proyek Bendungan Jragung melakukan pemasangan pada STA 0+499, 0+945, dan 1+225 yang dianggap berpotensi untuk mengalami penurunan. Pemasangan instrumentasi dilakukan secara bertahap mengikuti progres pekerjaan timbunan yang berlangsung. Selama masa konstruksi lokasi pemasangan instrumen perlu diberikan tanda khusus agar tidak rusak atau tertabrak dengan alat berat yang melintas pada timbunan. Pipa *Inclinometer* tidak boleh patah atau rusak, karena akan mempengaruhi hasil bacaan monitoring instrumentasi.

Berikut gambar detail tipikal pemasangan *Prove Extensometer/Inclinometer*:



Gambar 4. 6 Skema Pemasangan Prove Extensometer/Inclinometer
(Sumber : Data Proyek Bendungan Jragung, 2023)



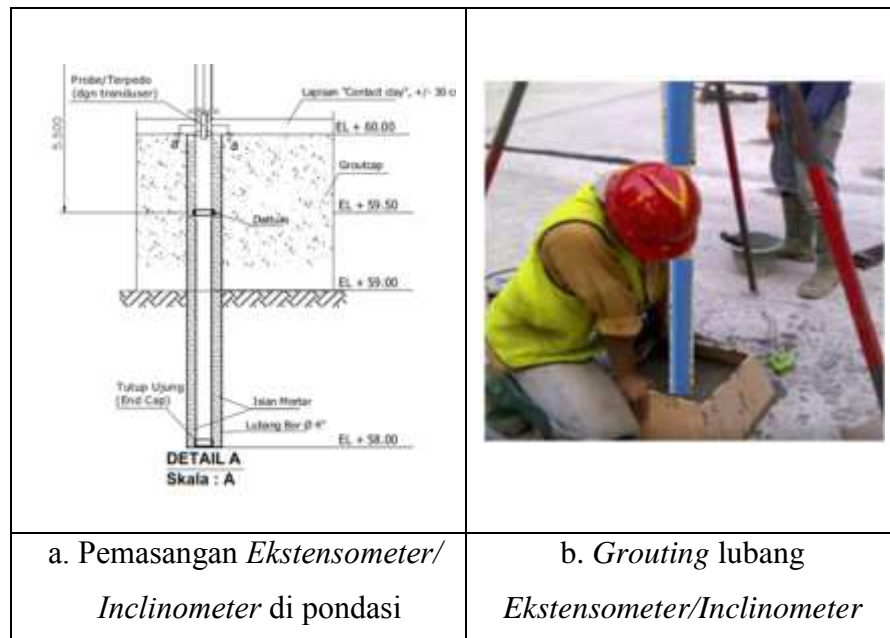
Gambar 4. 7 Detail Pemasangan Prove Ekstensometer/Inclinometer
 (Sumber : Data Proyek Bendungan Jragung, 2023)

4.3.2 Metode Pelaksanaan Pemasangan Ekstensometer

Dalam proses pelaksanaannya, metode kerja pemasangan *Ekstensometer* berbarengan dengan pemasangan tiang *Inclinometer*, namun pemasangan plat magnet *Ekstensometer* dilakukan bertahap mengikuti progres pekerjaan timbunan yang berlangsung. Berikut adalah metode kerja pemasangan *Ekstensometer / Inclinometer*:

1. Pengajuan gambar kerja, metode kerja, persetujuan material dan izin kerja kepada direksi teknis dan direksi lapangan.

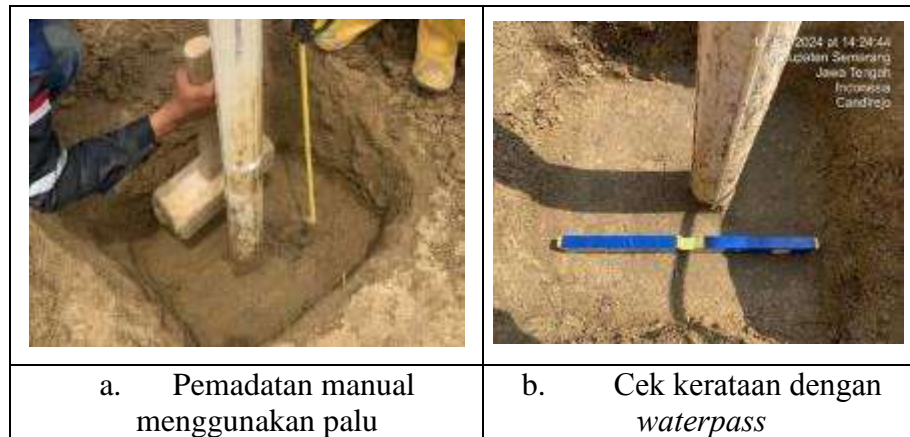
2. *Join inspection* dan *join survey* lokasi pemasangan instrumen *Ekstensometer / Inclinometer*.
3. Pengeboran lokasi pemasangan pada *grout cap* dengan diameter lubang dengan diameter dan kedalaman sesuai dengan gambar kerja atau sesuai arahan direksi.
4. Masukkan pipa *Inclinometer* dan *datum magnet* dengan bagian bawah yang telah ditutup dengan alat penutup secara hati – hati ke dalam lubang sampai ujung bawah pipa terletak di dasar lubang dan ukur elevasi ujung bawah pipa.



Gambar 4. 8 Pemasangan *Ekstensometer/Inclinometer* pada Fondasi Bendungan

(Sumber : Data Proyek Bendungan Jragung, 2023)

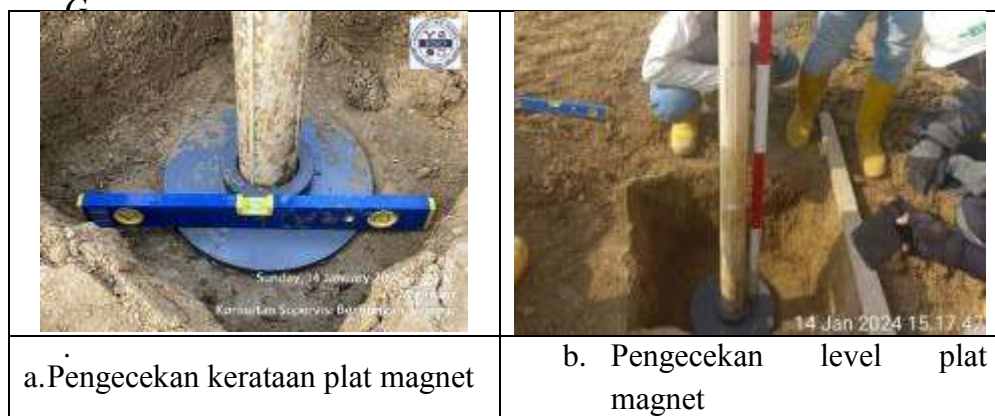
5. Timbun dengan material timbunan *contact clay* dan inti di sekeliling pipa dan padatkan sampai merata dengan pemadatan manual. Kemudian cek kerataan dan elevasi sesuai Gambar Kerja area sekitar pemasangan pipa *Inclinometer* yang telah dipadatkan. Apabila sudah dipastikan rata, maka selanjutnya dapat dilakukan pemasangan plat magnet.



Gambar 4. 9 Pematatan dan Pengecekan Kerataan Area Sekitar Pipa Incino yang Telah Dipadatkan
(Sumber : Data Proyek Bendungan Jragung, 2024)



Gambar 4. 10 Pengecekan Koordinat dan Elevasi Sebelum Pemasangan Plat Magnet
(Sumber : Data Proyek Bendungan Jragung, 2024)



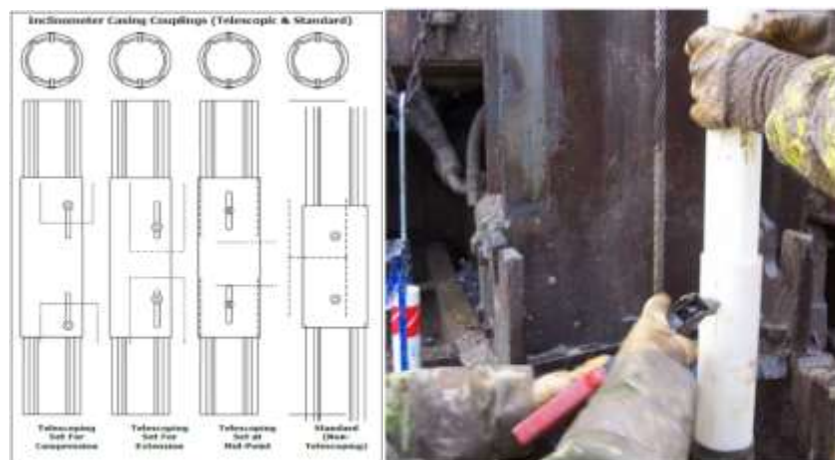
1 Pengecekan Kerataan dan Elevasi Plat Magnet
(Sumber : Data Proyek Bendungan Jragung, 2024)

6. Periksa kemiringan pipa dan tentukan ketepatan alur pada pipa *Inclinometer* pada posisi yang dikehendaki.



Gambar 4. 12 Pengecekan Ketegakan Pipa Inclinometer
(Sumber : Data Proyek Bendungan Jragung, 2024)

7. Setelah diperiksa kemiringan pipa, lakukan penyambungan pipa dan pemasangan pipa sesuai dengan elevasi pemasangan. Pemasangan posisi *telescopic coupling* sesuai dengan gambar kerja atau arahan Direksi Pekerjaan.



Gambar 4. 13 Pemasangan Pipa Telescopic Coupling

(Sumber : Data Proyek Bendungan Jragung, 2023)

8. Tutup bagian atas pipa *Inclinometer* selama menunggu pekerjaan penimbunan dan pemaatan tanah yang sedang berlangsung, hindari kerusakan pipa *Inclinometer* terhadap benturan dari alat berat yang sedang bekerja dengan memasang rangka pengaman.
9. Lakukan pengukuran awal, data ini sangat penting sebagai pembandingan di dalam melakukan analisis dan evaluasi data. Apabila diperlukan, lakukan pembacaan dan pengukuran dengan memakai torpedo pada beberapa elevasi kemajuan penimbunan untuk memantau pergerakan urugan selama pelaksanaan.

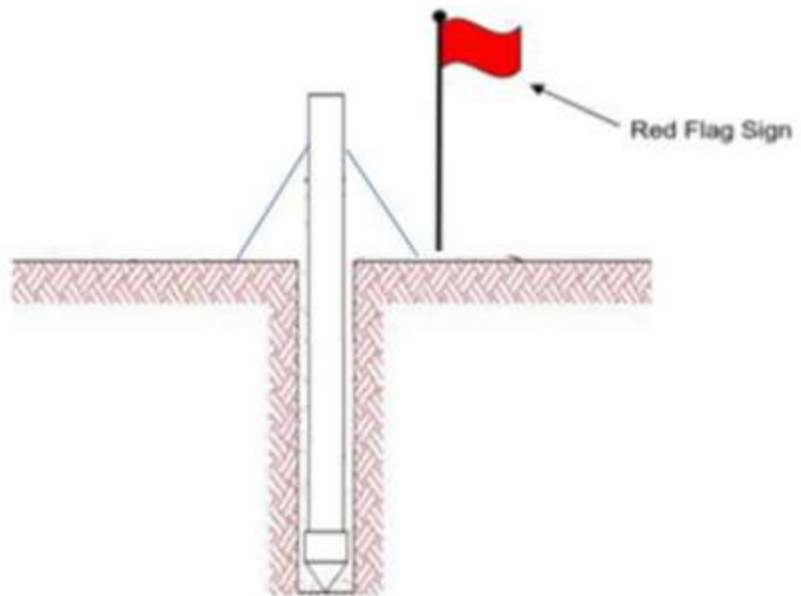


Gambar 4. 14 Pengecekan Ekstensometer/Inclinometer Selama Pekerjaan Timbunan

(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

10. Apabila terdapat pipa *inclinometer* rusak akibat benturan atau tertabrak alat berat yang sedang bekerja, potong dan segera sambung dengan pipa yang baru/baik dan catat elevasi penyambung tersebut.
11. Apabila telah memungkinkan, sambung pipa yang telah tertanam dengan pipa berikutnya dengan pipa penyambung dan catat elevasi pipa penyambung.

12. Lakukan langkah pemasangan plat magnet dan pipa sampai timbunan mencapai elevasi yang dikehendaki.
13. Tutup bagian atas pipa dengan penutup yang telah disediakan untuk menghindari kerusakan atau gangguan luar. Dan amanakan dengan memberikan bendera atau *safety line* sebagai tanda. Buat pengaman pipa apabila seluruh pipa terpasang.



*Gambar 4. 15 Pengamanan Lokasi Pemasangan Selama Pekerjaan Timbunan
(Sumber : Data Proyek Bendungan Jragung, 2023)*



Gambar 4. 16 Box Pelindung Ujung Pipa

(Sumber : Data Proyek Bendungan Jragung, 2023)

4.3.3 Monitoring Pembacaan Alat Intrumentasi

Penelitian ini dilaksanakan selama 6 (enam) bulan terhitung mulai pada tanggal 01 Oktober 2023 hingga 31 Maret 2024. Pemasangan *Ekstensometer / Inclinometer* dilakukan secara bertahap sesuai dengan progres pekerjaan timbunan di lapangan. Berikut adalah periode waktu pembacaan monitoring intrumentasi *Plat Magnet* :

1. STA 0+499 = 20 Oktober 2023 s/d 31 Maret 2024
2. STA 0+945 = 10 Desember 2023 s/d 31 Maret 2024
3. STA 1+225 = belum dilakukan pemasangan pada saat periode penelitian.

Jadi pada penelitian ini hanya melakukan pemantauan pada *Ekstensometer / Inclinometer* STA 0+499 dan STA 0+945. Elevasi pemasangan *plat magnet* seperti pada tabel berikut :

Tabel 4.2 Elevasi Pemasangan Plat Magnet

STA	Elevasi (m)	
	PM 1	PM 2
0+499	64.922	
0+945	64.62	69.671

(Sumber : Data Proyek Bendungan Jragung, 2024)

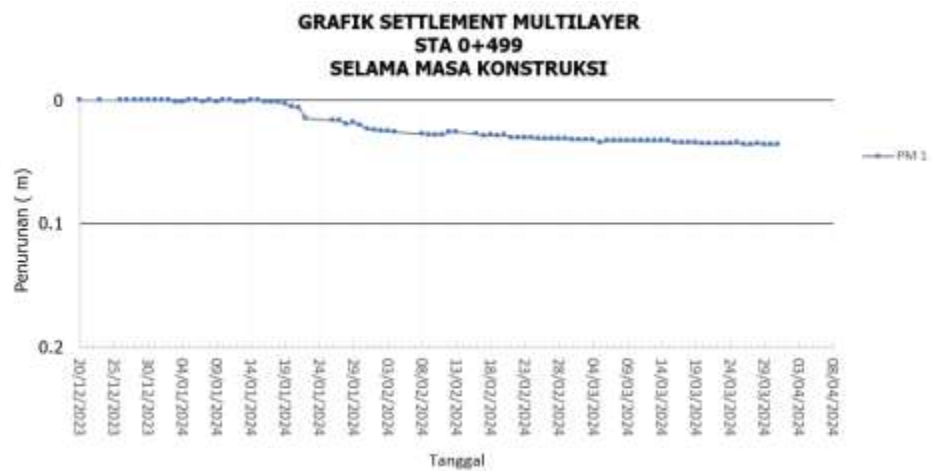
Pada **Tabel 4.2** merupakan elevasi awal pemasangan plat magnet yang selanjutnya akan dilakukan monitoring penurunannya, sebagai bahan evaluasi terjadinya *Multi Settlement Layer* selama masa konstruksi. Monitoring terhadap elevasi Plat Magnet dilakukan rutin setiap hari sesuai permintaan Konsultan Supervisi. Hal tersebut dilakukan agar penurunan timbunan dapat terus terpantau. Terutama pada saat terjadi kejadian khusus seperti gempa bumi atau cuaca yang cukup ekstrim. Karena hal tersebut sangatlah mempengaruhi proses konsolidasi tanah pada saat masa konstruksi berlangsung. Pada proyek Bendungan Jragung paket 1, pekerjaan Intrumentasi dikerjakan oleh

Sub Kontraktor PT. Cahaya Indo Prima sekaligus yang bertanggung jawab pada hasil dan monitoring pekerjaan instrumentasi.



Gambar 4. 17 Grafik Kenaikan Elevasi Timbunan
(Sumber : Data Proyek Bendungan Jragung, 2024)

Pada **Gambar 4.17** menunjukkan bahwa Plat Magnet dilakukan pemasangan pada saat posisi timbunan di elevasi +67.25. Seperti penjelasan metode kerja sebelumnya, sebelum pemasangan plat magnet dilakukan pengeboran titik untuk pemasangan tiang *Inclinometer* terlebih dahulu dan dilanjutkan dengan pemasangan datum. Kemudian dilanjutkan dengan pemasangan plat magnet yang menyesuaikan dengan kenaikan elevasi timbunan.



Gambar 4. 18 Grafik Settlement Multilayer STA 0+499 Selama Masa Konstruksi

(Sumber : Data Proyek Bendungan Jragung, 2024)

Berdasarkan grafik pada **Gambar 4.18** menunjukkan bahwa besar penurunan yang terjadi pada saat masa konstruksi di STA 0+499 sampai tanggal 31 Maret 2024 adalah 0,036 m. Dimana penurunan tersebut terjadi ketika elevasi timbunan masih berada di +69.00.



Gambar 4. 19 Grafik Kenaikan Elevasi Timbunan

(Sumber : Data Proyek Bendungan Jragung, 2024)

Timbunan pada STA 0+945 sampai dengan tanggal 31 Maret 2024 telah mencapai elevasi +74.75 seperti yang terlihat pada grafik di **Gambar 4.19**. Pada awal proses pemasangan Plat Magnet timbunan masih berada di elevasi +69.25.



Gambar 4. 20 Grafik Settlement Multilayer STA 0+945 Selama Masa Konstruksi

(Sumber : Data Proyek Bendungan Jragung, 2024)

Selama periode penelitian telah ada 2 buah plat magnet yang terpasang. Berdasarkan pemantauan kedua plat magnet tersebut seperti yang terlihat pada **Gambar 4.20** menunjukkan penurunan yang terjadi hingga tanggal 31 Maret 2024 pada masing-masing plat magnet adalah 0,139 m dan 0,156 m.

Berikut adalah rangkuman elevasi plat magnet pada saat awal pemasangan dan pada akhir periode penelitian :

Tabel 4.3 Rangkuman Elevasi Plat Magnet

STA	Elevasi Awal		Elevasi s/d 31 Maret 2024	
	PM 1	PM 2	PM 1	PM 2
0+499	64.922		64.886	
0+945	64.62	69.671	64.481	69.515

(Sumber : Data Proyek Bendungan Jragung, 2024)

4.4 Analisa Geo Studio

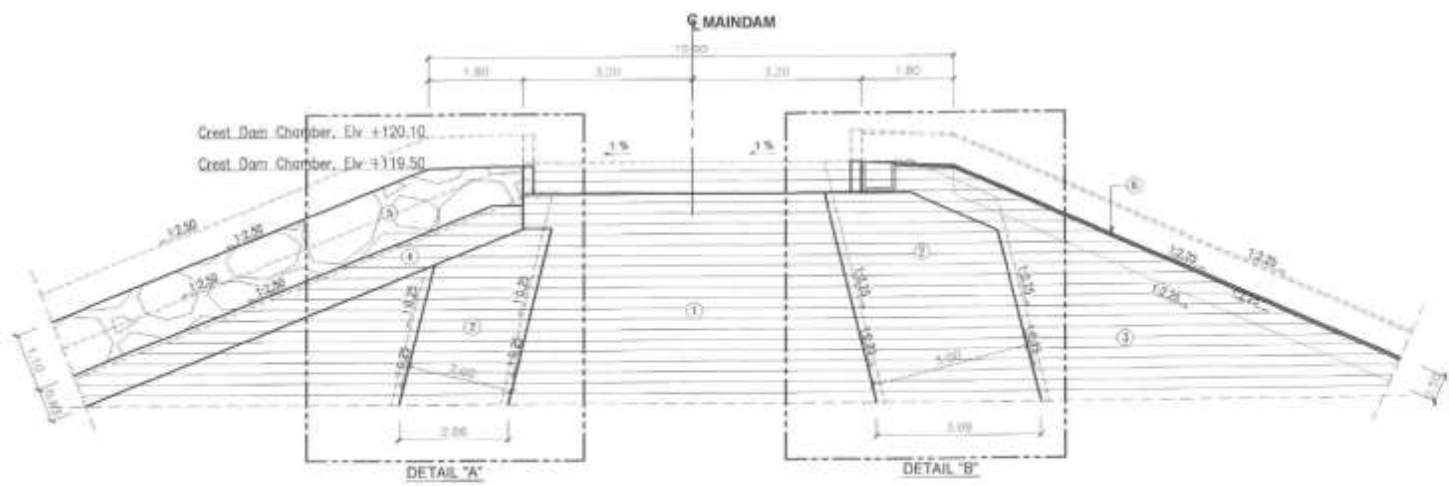
Analisa dengan software Geo Studio dilakukan untuk membandingkan nilai Settlement Multilayers dengan hasil pengamatan instrumentasi *Ekstensometer / Inclinator* melalui plat magnet yang telah terpasang. Pada penelitian ini akan menggunakan permodelan pada cross section STA 0+499 untuk menganalisa beberapa jenis penurunan yaitu sebagai berikut :

- a. Analisa penurunan tanah sebelum konstruksi atau analisa pada pondasi timbunan *maindam*.
- b. Analisa penurunan tanah selama masa konstruksi berlangsung. Analisa ini akan menyesuaikan progres tinggi timbunan pada saat periode penelitian berlangsung.

- c. Analisa penurunan tanah saat *impounding* atau pada saat selesai konstruksi dan masa tunggu pengisian air bendungan.
- d. Analisa penurunan tanah setelah 10 tahun konsolidasi.
- e. Analisa penurunan tanah setelah 30 tahun konsolidasi.



POTONGAN MEMANJANG CHAMBER
Skala : A



POTONGAN MELINTANG CHAMBER
Skala : A

Gambar 4. 21 Desain Timbunan Ekstra (Camber) Bendungan Jragung

(Sumber : Data Proyek Bendungan Jragung, 2023)

Tabel 4.4 Paramter Material Timbunan Bendungan Jragung

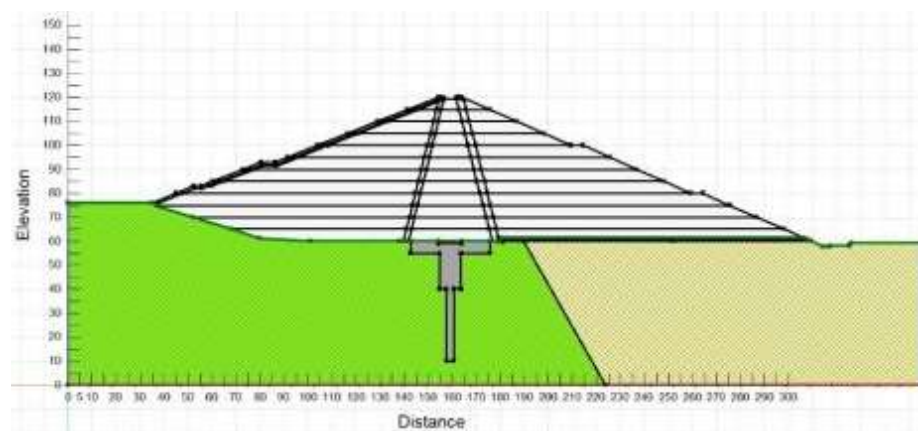
No.	Material	γ wet	γ Sat	C	ϕ	C'	ϕ'	e	E	K (permeability)	Remark
		gr/cm ³	gr/cm ³	kg/cm ²	°	kg/cm ²	°		Kpa	cm/det	
1	Zona 1 (Inti)	1.87	1.82	17	18.6	0.05	28	1.16	11,147.00	1.74E-06	PT Konas Tunggal
2	Zona 2 (Filter)	1.89	2.18	0	36			0.487		3.86E-03	IKA 18
3	Zona 3 (Random)	1.88	1.99			0.36	29°59'9"	0.772		1.02E-03	INDRA KARYA
4	Zona 4 (Draine)	2.18	2.01	0.15	36.0			0.75			4.18E-03
5	Zona 5 (Rip rap)	2.48	2.36	0	40.0					1.00E-02	
6	Beton	2.45	2.32	0	40					1.50E-10	
7	Curtain Grouting		1.8	0	0					1.52E-05	WPT
8	Pondasi Batupasir		2.24	11.79	48.7			0.681	8.37E+03	2.57E-05	PUSAIR
9	Pondasi Batu lempung		1.87	1.32	42.06			0.778		4.41E-05	PUSAIR

(Sumber : Data Proyek Bendungan Jragung, 2022)

Pada Tabel 4.4 di atas merupakan parameter yang digunakan untuk melakukan analisa pada *software Geo Studio SIGMA/W*.

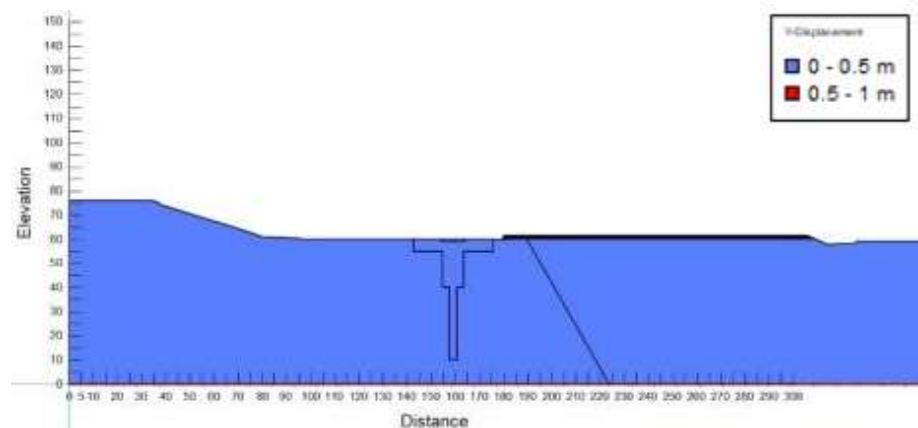
4.4.1 Analisa Penurunan Tanah Sebelum Konstruksi (*In situ*)

Berdasarkan hasil *running* dari SIGMA/W didapatkan kondisi tanah pada saat sebelum dilakukan penimbunan, dimana kondisi tanah telah dilakukan pekerjaan *Drilling Grouting* dan *Groutcap*. Kondisi tanah eksisting cukup stabil dan dapat dijadikan sebagai pondasi timbunan. Berikut adalah kondisi awal pondasi *maindam* sebelum *running* dapat dilihat pada **Gambar 4.22**



Gambar 4. 22 Kondisi Eksisting
(Sumber : Dokumen Penulis, 2024)

Hasil *running* permodelan SIGMA/W sebelum tahap konstruksi dapat dilihat pada **Gambar 4.23**.



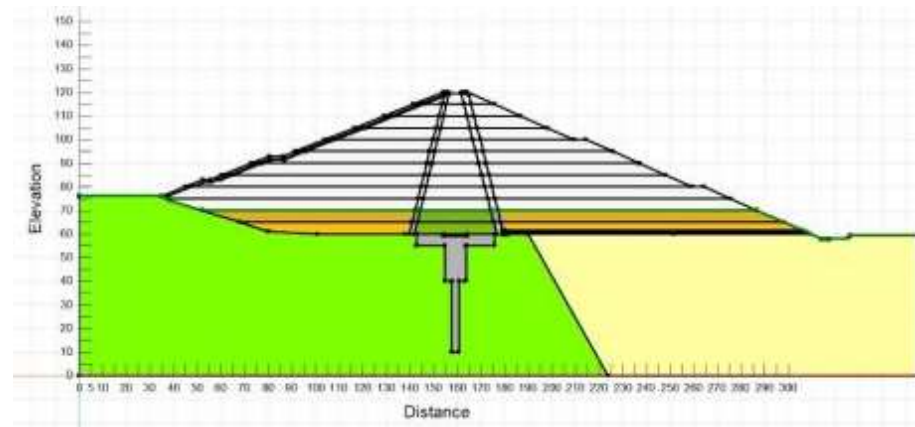
Gambar 4. 23 Hasil Running Kondisi Eksisting
(Sumber : Dokumen Penulis, 2024)

Berdasarkan hasil analisa pondasi *maindam* tidak terdapat adanya penurunan, diakarenakan tanah eksisting telah mengalami konsolidasi bertahun-tahun dan belum mendapatkan beban timbunan. Selain itu kondisi tanah eksisting adalah kondisi tanah yang keras dan dinyatakan layak sebagai pondasi timbunan sebagaimana hasil dari Join Inspection yang telah dilakukan antara Kontraktor, Konsultan Supervisi, dan Direksi Lapangan.

4.4.2 Analisa Penurunan Tanah Saat Masa Konstruksi

Penurunan selama masa konstruksi timbunan dimodelkan bahwa pekerjaan dilakukan melalui beberapa tahapan dan dibuat berlayer secara horizontal. Pada analisa ini setiap layer timbunan dibuat setinggi 5 meter.

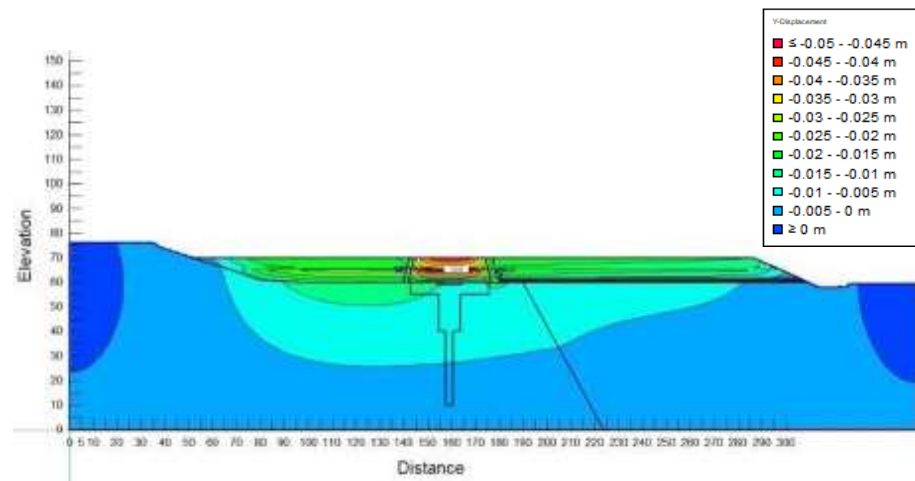
Pada permodelan timbunan masa konstruksi diasumsikan timbunan telah mencapai elevasi +70.00 sesuai dengan progres timbunan saat penelitian berlangsung. Berikut adalah permodelan kondisi timbunan pada saat masa konstruksi pada STA 0+499 dapat dilihat pada **Gambar 4.24**.



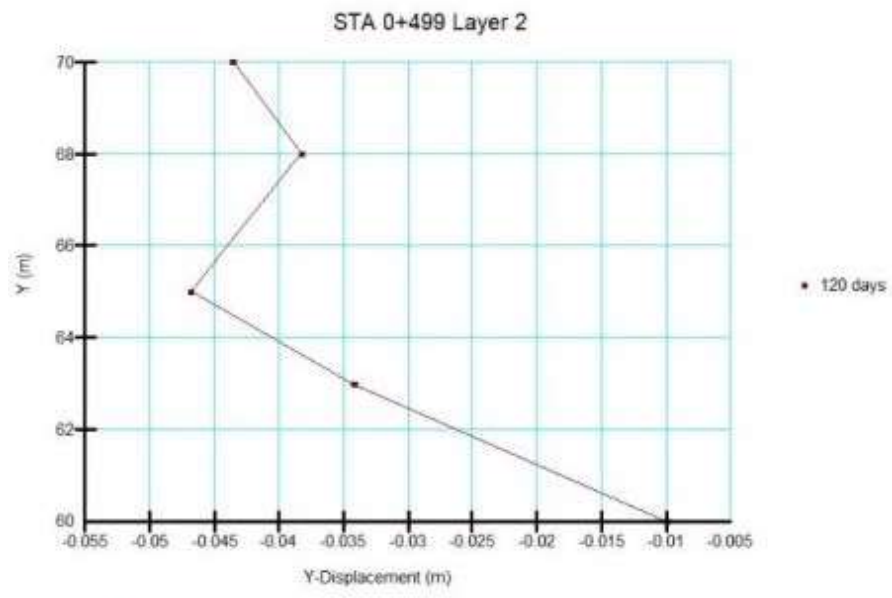
Gambar 4. 24 Permodelan Timbunan Masa Konstruksi

(Sumber : Dokumen Penulis, 2024)

Berdasarkan hasil analisis *SIGMA/W Geo Studio* pada saat masa konstruksi timbunan mengalami penurunan sebesar **0.046 m**. Terjadinya penurunan disebabkan karena pondasi dan timbunan telah menerima pembebanan dari material timbunan itu sendiri dan material timbunan yang berada di atasnya. Hasil *running* proses timbunan pada masa konstruksi dapat dilihat pada **Gambar 4.25**.



Gambar 4. 25 Hasil Running Proses Timbunan Elevasi +70.00
(Sumber : Dokumen Penulis, 2024)

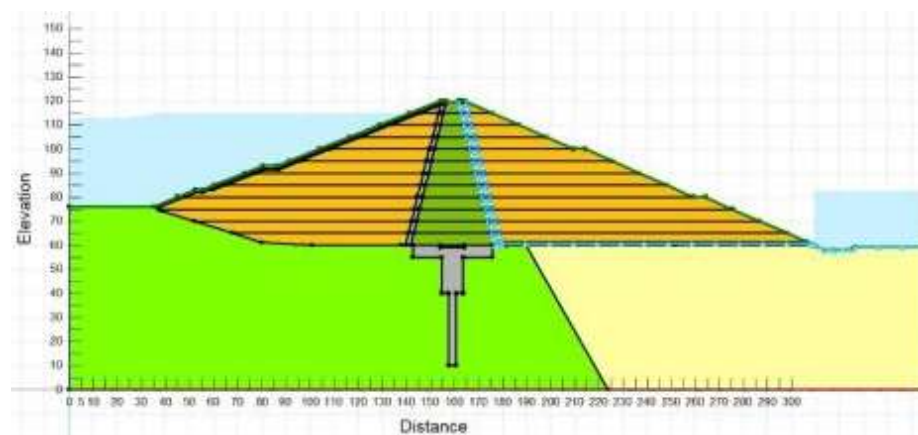


Gambar 4. 26 Grafik Penurunan Setiap Elevasi Timbunan
(Sumber : Dokumen Penulis, 2024)

Berdasarkan grafik pada **Gambar 4.26**, pada saat masa konstruksi dimana timbunan mencapai elevasi +70.00 penurunan terbesar berada di elevasi +65.00. Kemudian nilai penurunan terlihat berkurang dan bertambah lagi ketika di elevasi +70.00. Penurunan tersebut terjadi karena terdapat beban yang bekerja di atas timbunan, seperti beban timbunan itu sendiri dan aktivitas penimbunan dan pemadatan yang tengah berlangsung.

4.4.3 Analisa Penurunan Tanah Saat Masa Impounding

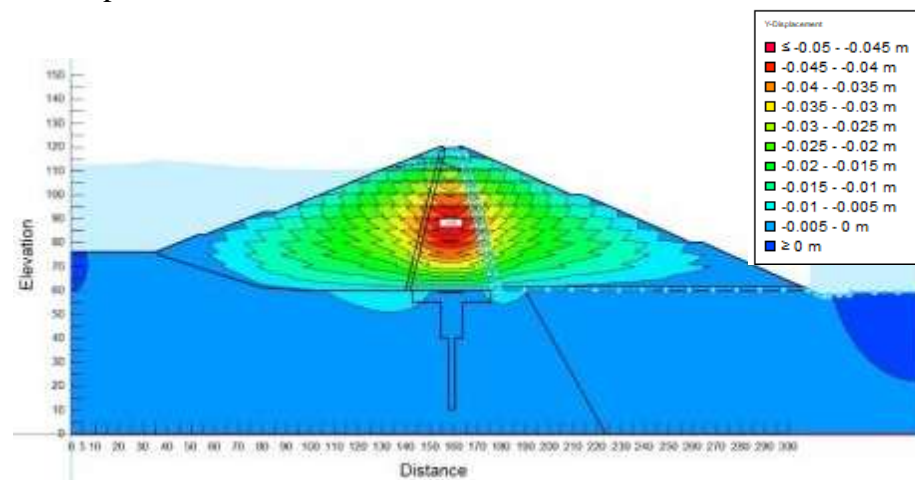
Selanjutnya adalah analisa tubuh bendungan atau *maindam* setelah tahap konstruksi selesai. Setelah masa konstruksi selesai, dan bendungan telah diizinkan untuk mulai dioperasikan, maka dilanjutkan dengan proses pengisian bendungan (*Impounding*). Proses konstruksi dan *impounding* diasumsikan selama 2 (dua) tahun dimana penyelesaian penimbunan puncak bendungan yaitu +119.50. Meskipun selama proses penimbunan terjadi penurunan, namun penyelesaian timbunan harus tetap mencapai elevasi puncak tersebut. **Gambar 4.27** adalah permodelan kondisi timbunan dengan 12 tahap layer konstruksi pada STA 0+499.



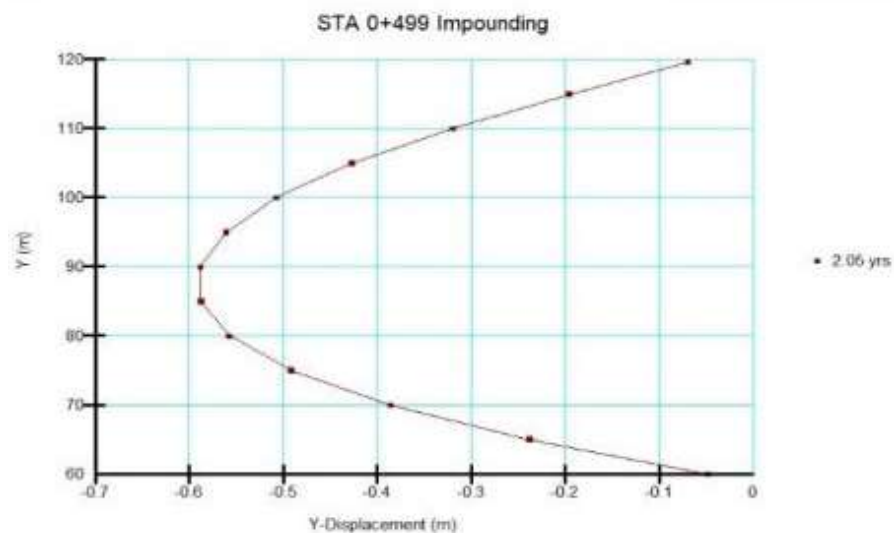
Gambar 4. 27 Permodelan Timbunan Selesai Konstruksi

(Sumber : Dokumen Penulis, 2024)

Hasil *running* dari permodelan timbunan STA 0+499 didapatkan penurunan terbesar pada Elevasi +90.00 yaitu sebesar **0,588 m**. Penurunan terbesar berada pada timbunan inti yang berada pada elevasi tengah *maindam*. Hal tersebut terjadi karena tubuh bendungan mengalami beban centris dan terpusat pada timbunan inti. Berikut adalah hasil *running* timbunan setelah 2 tahun masa konstruksi dapat dilihat pada **Gambar 4.28**.



Gambar 4. 28 Hasil Running Timbunan Saat Masa Impounding
(Sumber : Dokumen Penulis, 2024)

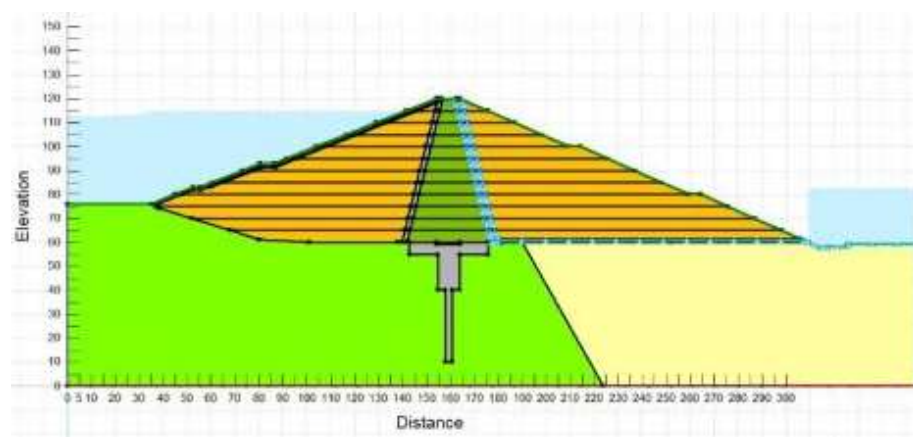


Gambar 4. 29 Grafik Penurunan Saat Masa Impounding
(Sumber : Dokumen Penulis, 2024)

Berdasarkan grafik pada **Gambar 4.29** penurunan yang terjadi selama masa Impounding penurunan yang terjadi pada elevasi dasar +60.00 menuju ke setengah tinggi bendungan yaitu elevasi +85.00 terus mengalami kenaikan nilai penurunan tanah. Kemudian pada elevasi +85.00 menuju ke elevasi +90.00 terdapat peningkatan nilai penurunan meskipun kecil, hingga kemudian nilainya kembali mendekati nilai 0 pada posisi puncak bendungan. Oleh karena itu perlu adanya timbunan ekstra (*camber*) setinggi 60 cm yang berfungsi untuk memberikan tinggi jagaan terhadap timbunan dan mencegah air limpas melewati atas timbunan.

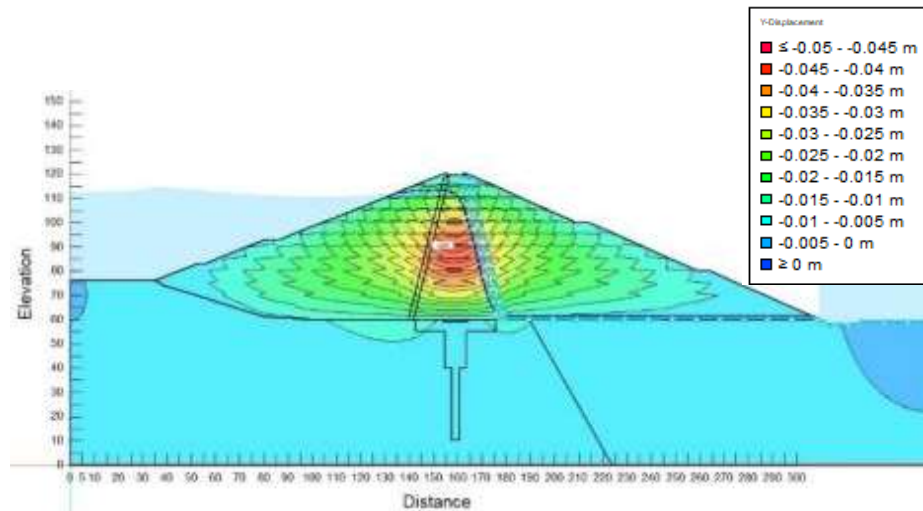
4.4.4 Analisa Penurunan Tanah Konsolidasi 10 Tahun

Pada penelitian ini melakukan analisa terhadap timbunan maindam setelah melewati waktu 10 tahun beroperasi. Waktu 10 tahun adalah kala ulang 2 (dua) kali pengecekan kondisi bendungan yang biasanya dilakukan dalam periode 5 tahun sekali. Dalam kurun waktu 10 tahun tanah dianggap telah mengalami konsolidasi primer, salah satunya untuk mengevaluasi kondisi timbunan ekstra (*camber*). Permodelan kondisi awal timbunan pada STA 0+499 sebelum *running* dapat dilihat pada **Gambar 4.30** di bawah ini.



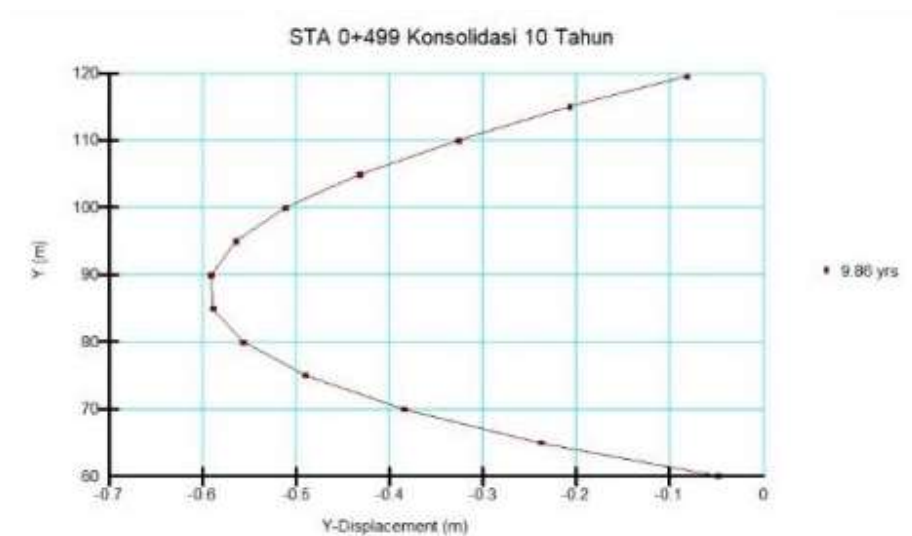
Gambar 4. 30 Permodelan Timbunan Sebelum Running

(Sumber : Dokumen Penulis, 2024)



Gambar 4. 31 Hasil Running Timbunan Konsolidasi 10 Tahun
(Sumber : Dokumen Penulis, 2024)

Pada **Gambar 4.31** menunjukkan hasil *running* timbunan setelah mengalami konsolidasi 10 tahun. Kondisi pola penurunan tidak jauh berbeda dengan hasil *running* pada masa *impounding* yang terlihat pada **Gambar 4.27**. Puncak bendungan ditambah timbunan ekstra (*camber*) menjadi +120.10. Namun ternyata setelah sepuluh tahun beroperasi dan mengalami penurunan sebesar **0,590 m**, sehingga tinggi jagaan sudah menjadi rata tinggi normal puncak bendungan. Grafik penurunan timbunan dapat dilihat pada **Gambar 4.32** berikut ini.

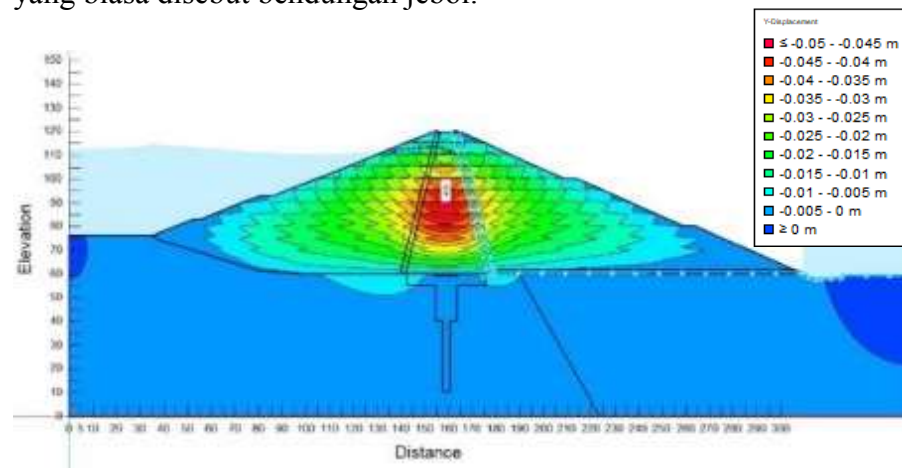


Gambar 4. 32 Grafik Penurunan Setelah 10 Tahun Konsolidasi

(Sumber : Dokumen Penulis, 2024)

4.4.5 Analisa Penurunan Tanah Konsolidasi 30 Tahun

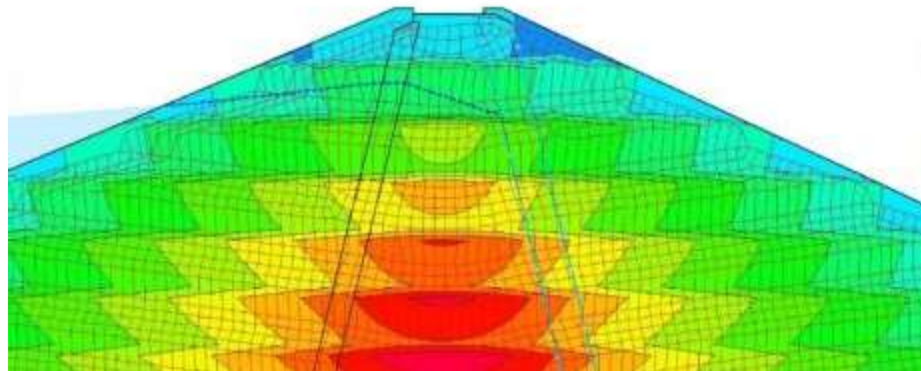
Apabila pada saat masa konsolidasi 10 tahun kondisi timbunan ekstra (*camber*) sudah hampir sama dengan tinggi puncak normal puncak bendungan. Maka perlu dilakukan analisa lanjutan terhadap puncak bendungan setelah 30 tahun beroperasi. Karena bendungan merupakan suatu infrastuktur yang *high risk* dan memiliki dampak yang sangat besar bagi lingkungan apabila mengalami kerusakan atau yang biasa disebut bendungan jebol.



Gambar 4. 33 Hasil Running Setelah 30 Tahun Konsolidasi

(Sumber : Dokumen Penulis, 2024)

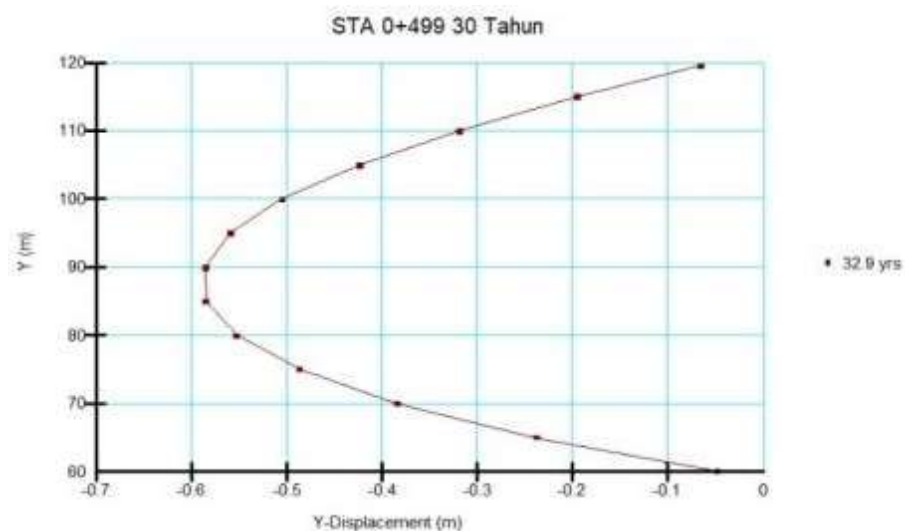
Pada **Gambar 4.33** menunjukkan hasil *running* timbunan setelah 30 tahun mengalami konsolidasi. Permodelan timbunan yang digunakan masih sama, hanya mengganti periode waktu menjadi 30 tahun. Seperti yang terlihat pada gambar, penurunan terbesar yang terjadi sama yaitu di elevasi +90.00. Hanya saja kondisi permukaan puncak dan lereng timbunan banyak mengalami deformasi atau perubahan bentuk. Hal tersebut sangat wajar terjadi karena timbunan sudah dipengaruhi oleh kondisi alam dan terkonsolidasi sempurna. Sehingga perawatan puncak dan lereng timbunan memang diperlukan. Kondisi puncak dan lereng timbunan dapat dilihat pada **Gambar 4.34**.



Gambar 4. 34 Kondisi Puncak Bendungan Setelah 30 Tahun Konsolidasi

(Sumber : Dokume Penulis, 2024)

Hasil analisa penurunan timbunan *maindam* setelah mengalami konsolidasi 30 tahun dapat dilihat dari grafik pada **Gambar 4.35**. Dalam kurun waktu 30 tahun pengoperasian, penurunan yang terjadi yaitu **0,585 m**. Hasil analisa ini tidak berbeda jauh dengan masa konsolidasi yang terjadi selama 10 tahun dan lebih kecil. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan kondisi timbunan mengalami muai dan susut karena sudah terkonsolidasi dalam waktu yang sangat lama.



Gambar 4. 35 Grafik Penurunan Setelah 30 Tahun Konsolidasi
(Sumber : Dokume Penulis, 2024)

4.5 Perbandingan Hasil Monitoring Instrumentasi dengan Analisa *Geo*

Studio

Berdasarkan hasil monitoring instrumentasi *Multi Settlement Layer* yang terjadi pada Plat Magnet yang telah terpasang pada tiang *Inclinometer / Ekstensometer* pada STA 0+499 elevasi +70.00 telah diketahui besar penurunan yang ada hingga tanggal 31 Maret 2024.

Besar penurunan yang terjadi pada STA 0+499 elevasi +70.00 memiliki perbedaan terhadap hasil analisa penurunan tanah yang telah dilakukan melalui software *Geo Studio SIGMA/W*. Berikut adalah rekapitulasi perbandingan nilai penurunan tanah pada Plat Magnet dan analisa *Geo Studio*:

Tabel 4.5 Perbandingan Besar Penurunan Plat Magnet dan Analisa *Geo Studio*

STA	Elevasi Timbunan	Besar Penurunan	
		Plat Magnet	<i>Geo Studio</i>
0+499	+70.00	0.036	0.045

(Sumber : Dokumen Penulis, 2024)

Tabel 4.5 menunjukkan perbandingan besar penurunan tanah berdasarkan monitoring Plat Magnet dan Analisa *Geo Studio* terdapat perbedaan. Perbedaan yang terjadi tersebut dapat terjadi karena beberapa faktor antara lain :

- a. *Human eror* atau kesalahan manusia dapat menyebabkan perbedaan hasil bacaan. Perlu diketahui bahwa pembacaan elevasi plat magnet adalah manusia menggunakan pita ukur yang diberi sensor. Hal tersebut memungkinkan terjadinya salah bacaan.
- b. Metode kerja di lapangan dapat mempengaruhi kualitas timbunan yang terpasang. Hasil monitoring tersebut menunjukkan penurunan yang lebih kecil daripada hasil analisa. Hal tersebut berarti timbunan yang terpasang telah terpadatkan dengan baik, sehingga penurunan yang terjadi cukup kecil.

- c. Ketiga adalah material yang digunakan di lapangan adalah material yang heterogen karena bersumber dari berbagai *quarry*. Sedangkan analisa yang dilakukan dengan *Geo Studio* mengasumsikan bahwa material yang digunakan adalah homogen pada setiap zonanya.
- d. Selanjutnya yang keempat adalah faktor cuaca dan kondisi alam. Cuaca yang tidak menentu dan bencana alam seperti gempa yang terjadi di Proyek Bendungan Jragung dapat mempengaruhi besar penurunan yang terjadi pada timbunan.

Besar penurunan antara hasil di lapangan dengan hasil analisa sangatlah memungkinkan terjadi perbedaan. Karena *software* akan melakukan analisa berdasarkan perhitungan dan nilainya pasti. Sedangkan pelaksanaan di lapangan terdapat berbagai faktor yang mempengaruhi.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan latar belakang, tujuan dan hasil analisa data pada pembahasan bab 4 (empat), maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- a. Tubuh bendungan atau *maindam* pada Proyek Bendungan Jragung pada masa konstruksi dalam periode penelitian berdasarkan hasil monitoring instrumentasi plat magnet *Ekstensometer* mengalami penurunan sebesar 0,039 m pada STA 0+499, kemudian pada STA 0+945 PM1 mengalami penurunan sebesar 0,139 m dan PM1 sebesar 0,156. Sedangkan berdasarkan analisa menggunakan *Geo Studio SIGMA/W* penurunan yang terjadi adalah sebesar 0,045 m.

Perbedaan antara monitoring lapangan dan analisa *Geo Studio* dapat dikarenakan faktor metode kerja di lapangan, material yang digunakan tidak homogen, sedangkan pada analisa material dianggap homogen, kemudian faktor *human eror* pada pembacaan monitoring instrumentasi, selain itu faktor cuaca dan kondisi alam juga dapat menyebabkan terjadinya penurunan.

- b. Pada masa konsolidasi 10 tahun, penurunan terbesar terletak pada elevasi +90.00 sebesar 0,590 m dari puncak bendungan. Sehingga penambahan timbunan ekstra (*camber*) sangat diperlukan untuk memberikan tinggi jagaan, agar pada saat tanah mengalami konsolidasi tinggi puncak bendungan menjadi rata dan tidak membentuk cekungan.
- c. Penurunan terbesar yang terjadi pada timbunan *maindam* setelah 30 tahun adalah 0,585 terletak pada elevasi +90.00. Penurunan ini sedikit lebih kecil dibandingkan dengan analisa penurunan konsolidasi selama 10 tahun. Hal tersebut dapat dikarenakan sifat tanah yang mengalami muai susut dalam jangka panjang.

5.2 SARAN

Berdasarkan hasil analisa yang telah penulis lakukan, maka terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk kelanjutan pembangunan Proyek Bendungan Jragung kedepannya yaitu sebagai berikut :

1. Untuk menjaga kualitas timbunan, material yang digunakan harus dipastikan sesuai dengan spesifikasi teknis, metode kerja yang telah disepakati harus diaplikasikan dengan baik. Setiap hasil timbunan harus dilakukan *quality control* dan hasilnya harus sesuai dengan spesifikasi teknis yang disyaratkan.
2. Setelah masa konsolidasi 10 tahun, kondisi puncak bendungan menjadi rata dan tidak ada timbunan jagaan. Oleh karena itu untuk jangka panjang dapat ditambahkan parapet pada puncak bendungan guna mencegah air limpas dari puncak bendungan.
3. Setelah beroperasi 30 tahun, timbunan perlu dilakukan perawatan kondisi puncak bendungan dengan *overlay* aspal. Sedangkan untuk kondisi lereng bendungan dapat dilakukan perapihan *slope*. Selain itu perlu dilakukan adanya perawatan dan pengecekan rutin terhadap alat instrumentasi bendungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, M. 2017. *Modul Instrumentasi Bendungan*. Pusat Pendidikan dan Pelatihan SDA dan Konstruksi. Bandung.
- Balai Bendungan. 2008. *Prinsip Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar*. In Diklat Teknis Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar.
- Balai Bendungan. 2023. *Bimbingan Teknis Instrumentasi Bendungan Urukan*. In Diklat Teknis Interpretasi dan Evaluasi Instrumentasi.
- BBWS Pemali Juana. (2019). *Spesifikasi Teknik Pekerjaan : Pembangunan Bendungan Jragung Paket 1 Kabupaten Semarang*.
- Hardiyatmo, H.C. 2010. *Mekanika Tanah I*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. 2010. *Mekanika Tanah II*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hidayawan, A., Andri K., Bagas W., Beni S., Hayu R. 2022. *Analisis Settlement Puncak Bendungan Akibat Proses Konsolidasi dalam Penentuan Camber*. Jurnal Media Komunikasi Dalam Ilmu Sipil Vol.5.
- Kasiro, I., Isdiana, D. Pangular. CL. Nugroho, Attan M., Hari M., Ruhijat S. 1995. *Bendungan Besar di Indonesia*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengairan. Jakarta.
- PT. Indra Karya. 2018. *Preparation of Jragung Multipurpose Dam Project*
- PT Waskita Karya (Persero) Tbk.. (2022). *Work Method Statement (WMS) : Pekerjaan Instrumentasi Inclinator Proyek Bendungan Jragung Paket 1*.
- Susrodarsono, S., Kensaku Takeda. 1977. *Bendungan Type Urugan*. Jakarta : Padnya Paramita.
- SNI 8460:2017. *Persyaratan Perancangan Geoteknik*.

LAMPIRAN