



**PERENCANAAN *PLASTIC CONCRETE CUT OFF WALL*  
PADA BENDUNGAN SEMANTOK  
KABUPATEN NGANJUK**

**SKRIPSI**

Oleh

**Sholeh Huda Taufiqurohman  
NIM 161910301019**

**PROGRAM STUDI STRARA 1 TEKNIK SIPIL  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2020**



**PERENCANAAN *PLASTIC CONCRETE CUT OFF WALL*  
PADA BENDUNGAN SEMANTOK  
KABUPATEN NGANJUK**

**SKRIPSI**

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

Oleh

**Sholeh Huda Taufiqurohman  
NIM 161910301019**

**PROGRAM STUDI STRARA 1 TEKNIK SIPIL  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2020**

## PERSEMBAHAN

Puji syukur kepada Allah Subhannahu Wata'alla dengan rahmat, nikmat, hidayah dan karunia-Nya, Saya dapat menyelesaikan skripsi ini tepat waktu sesuai yang telah saya rencanakan. Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua yang saya sayangi Ibu Karsiyah dan Bapak Suparman, adik saya Muhammad Hafid Arrohman serta seluruh keluarga besar saya atas doa, dukungan moril, serta pengorbanan yang tidak dapat diucapkan dalam kata.
2. Almamater Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember
3. Rekan-rekan seperjuangan Mastrip - i2 (Hary Subagio, Alfian Nasril Bahariansyah, serta Andreas Peruzzi) yang selalu menjadi sahabat saya saat di bangku kuliah ini.
4. Tim Pengendali Tanah (Fahmi Ibrahim, Tariska, Shofana, Rian, Bagus, Fahir, Endah) yang telah membantu dalam proses koordinasi dan komunikasi selama pengerjaan tugas akhir ini.
5. Teman-teman Semantok University (Faca, Wibi, Siska, Rizal, Galih, Fajar, Anjaya, Khuzaimi, Alifa, kholifa) yang telah membantu memberi masukan serta kemudahan pengambilan data dalam pengerjaan tugas akhir ini.
6. Teman – teman Biji Besi Teknik Sipil 2016 yang selalu memberikan semangat dan dukungan selama perkuliahan.

**MOTTO**

“Saya hanya percaya pada satu hal, kekuatan dari keyakinan manusia.”

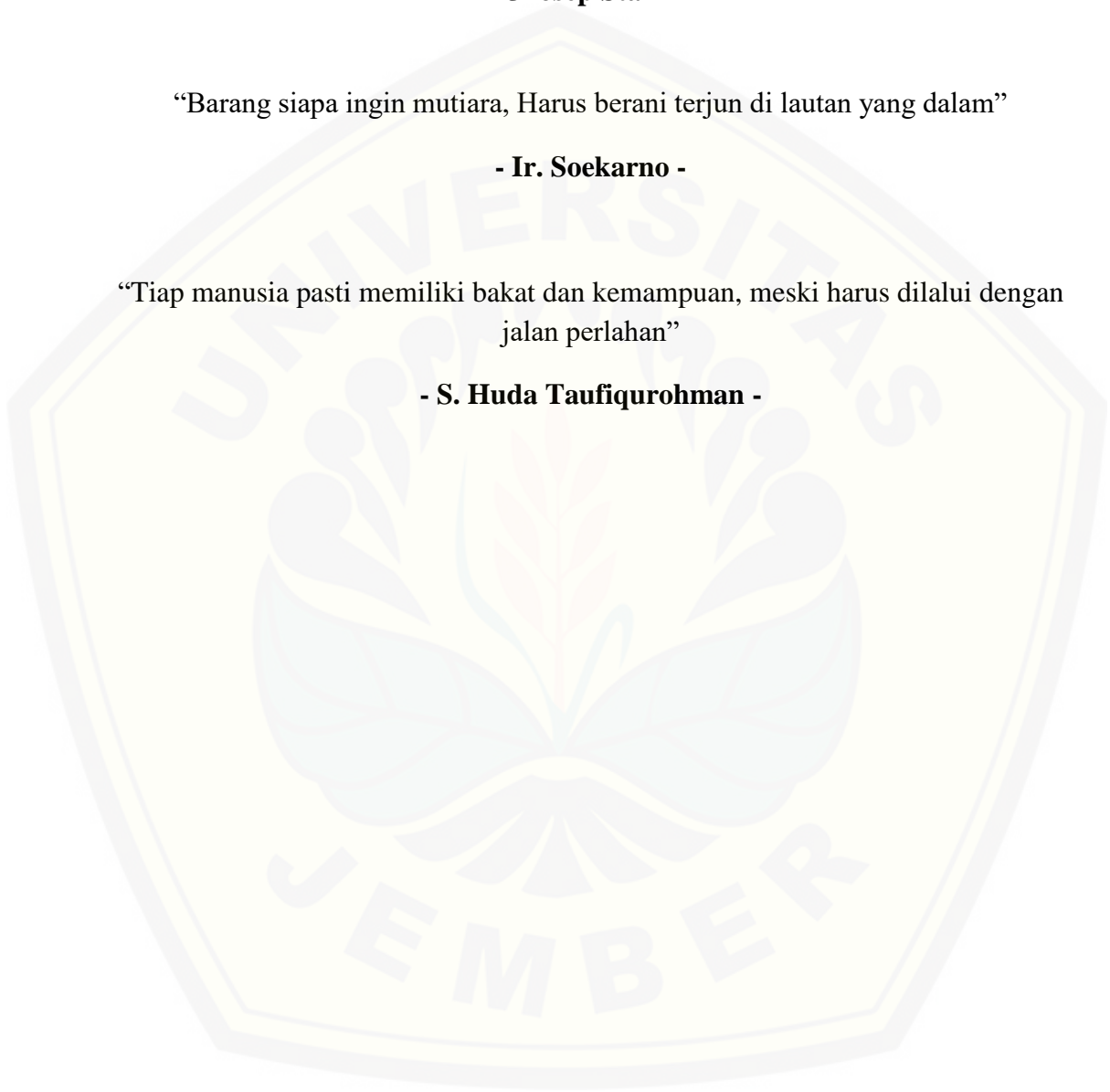
**- Jhosep Stalin -**

“Barang siapa ingin mutiara, Harus berani terjun di lautan yang dalam”

**- Ir. Soekarno -**

“Tiap manusia pasti memiliki bakat dan kemampuan, meski harus dilalui dengan jalan perlahan”

**- S. Huda Taufiqurohman -**



**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Sholeh Huda Taufiqurohman

NIM : 161910301019

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Perencanaan *Plastic Concrete Cut Off Wall* Pada Bendungan Semantok Kabupaten Nganjuk” adalah benar – benar hasil karya saya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik apabila dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 17 Juni 2020

Yang Menyatakan,

Sholeh Huda Taufiqurohman  
NIM 161910301031

**SKRIPSI**

**PERENCANAAN *PLASTIC CONCRETE CUT OFF WALL*  
PADA BENDUNGAN SEMANTOK  
KABUPATEN NGANJUK**

Oleh

Sholeh Huda Taufiqurohman  
NIM 161910301019

Pembimbing,

Dosen Pembimbing Utama : Indra Nurtjahjaningtyas, S.T.,M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Paksitya Purnama Putra, S.T., M.T.

PENGESAHAN

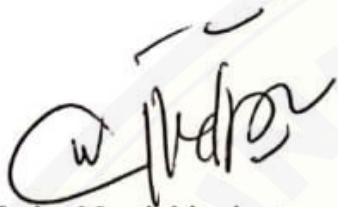
Skripsi berjudul "Perencanaan *Plastic Concrete Cut Off Wall* Pada Bendungan Semantok Kabupaten Nganjuk, Sholeh Huda Taufiqurohman, 161910301019" telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal : Rabu, 17 Juni 2020

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

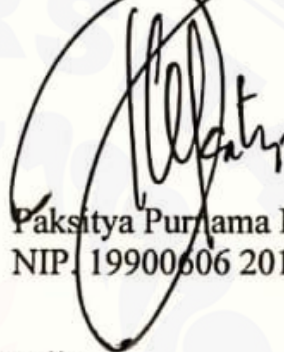
Tim Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama,



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

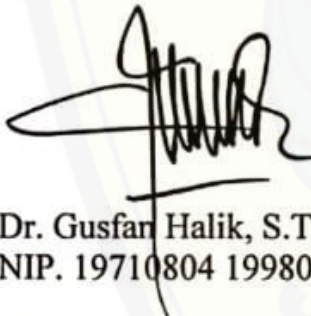
Dosen Pembimbing Anggota,



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

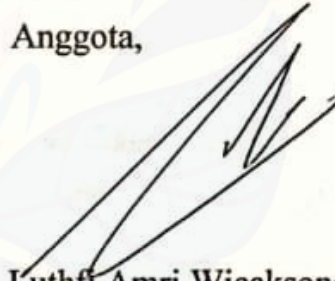
Tim Penguji :

Ketua,



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

Anggota,



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

Mengesahkan  
Dekan,



Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.  
NIP. 19700826 199702 1 001

## RINGKASAN

**Perencanaan *Plastic Concrete Cut Off Wall* Pada Bendungan Semantok Kabupaten Nganjuk;** Sholeh Huda Taufiqurohman; 161910301019; 2020; 116 halaman; Jurusan Teknik Sipil; Fakultas Teknik; Universitas Jember.

Hasil investigasi lokasi Bendungan Semantok yang tidak diuntungkan dengan kondisi geologi yang kurang baik, dikawatirkan akan mengurangi kemampuan pondasi dalam menahan laju aliran air serta ketahanan terhadap aliran filtrasi. Hal tersebut disebabkan lokasi Bendungan Semantok berada pada formasi kabuh yang didominasi oleh batu pasir dan lanau dengan karakteristik tanah berbutir pasir yang lepas dan belum tersementasi dengan baik. Kondisi tersebut dapat menimbulkan rembesan yang berlebih sehingga menyebabkan terjadinya *piping*, dan *boiling* (sembulan). Upaya perbaikan dilakukan dengan memasang *plastic concrete cut off wall* pada pondasi bendungan. Metode tersebut diharapkan mampu memperpanjang garis rembesan sehingga syarat pondasi bendungan dapat tercapai.

Analisis awal pada Bendungan Semantok diketahui bendungan menumpu pada pondasi dengan kelas batuan D dan CL sesuai klasifikasi CRIEPI. Sedangkan jenis batuan didominasi oleh kerikil, pasir, batu pasir dan batu lanau yang memiliki permeabilitas tinggi ( $K \geq 1 \times 10^{-4}$  cm/dt). Berdasarkan perhitungan tegangan vertikal, diperoleh tegangan terbesar yaitu  $2350 \text{ kN/m}^2$  pada STA 1+900. Sedangkan STA 1+900 diketahui menumpu terhadap kelas batuan D dengan kapasitas dukung ( $Q_u$ ) sebesar  $3500 \text{ kN/m}^2$ . Sehingga pondasi Bendungan Semantok aman terhadap syarat daya dukung.

Penggunaan *plastic concrete cut off wall* yang direncanakan mempunyai kedalaman antara 4 – 17 m diperoleh debit rembesan menggunakan pemodelan  $SEEP/W$  sebesar  $1,7 \times 10^{-5}$  m/dt pada kondisi muka air banjir, sedangkan tanpa perbaikan diperoleh  $4,6 \times 10^{-4}$  m/dt. Adapun debit rembesan izin yang diisyaratkan



sebesar 0,0113 m/dt, sehingga menggunakan metode *plastic concrete cut off wall* aman terhadap bahaya rembesan serta efektif menurunkan debit rembesan pada pondasi. Kemudian hasil analisis terhadap bahaya *piping* sebelum perbaikan pada bagian hilir bendungan diperoleh FS  $0,37 < 4$ , sedangkan setelah dilakukan perbaikan diperoleh FS  $6,728 > 4$ .

Pemodelan deformasi menggunakan *SIGMA/W* diperoleh hasil deformasi terbesar pada tubuh bendungan sebesar 0,2163 m, sedangkan pada *plastic concrete cut off wall* sebesar 0,125 m. Deformasi pada *plastic concrete cut off wall* menyebabkan regangan tersesar sebesar  $0,98\% < 2,68\%$  (regangan izin). Kemudian hasil penyelidikan stabilitas lereng menggunakan *SLOPE/W* diperoleh FS kritis sebesar  $2,5 > 1,5$  pada sisi hulu, serta FS kritis sebesar  $1,699 > 1,5$  pada sisi hilir. Sedangkan bidang gelicir tidak memotong *plastic concrete cut off wall*.

## SUMMARY

*Plastic Concrete Cut Off Wall Planning At Semantok Dam Nganjuk Regency;* Sholeh Huda Taufiqurohman; 161910301019; 2020; 116 pages; Departement of Civil Engineering; Faculty of engineering; Univercity of Jember.

The results of the investigation of the location of the Semantok Dam, which is disadvantaged by poor geological conditions, are feared that it will reduce the foundation's ability to withstand the flow of water and its resistance to filtration flow. This is due to the location of the Semantok Dam in the Kabuh formation which is dominated by sandstone and silt with the characteristics of loose grained sand and has not been well cemented. These conditions can cause excessive seepage, causing piping and boiling. Improvement efforts are made by installing a plastic concrete cut-off wall on the dam foundation. The method is expected to be able to extend the seepage line so that the dam foundation requirements can be achieved. Semantok Dam locations are not benefited from poor geological conditions, it is feared that it will reduce the ability of the foundation to withstand the flow rate of water and resistance to flow filtration. That is because the location of Semantok Dam is in the Kabuh formation which is dominated by sandstone and silt with soil characteristics grained loose sand and has not been properly cemented. These conditions can because excessive seepage, causing piping, and boiling. The repair effort is done by installing a plastic concrete cut-off wall on dam foundation. The method is expected to be able to extend the line seepage so that the dam foundation requirements can be achieved.

Preliminary analysis of the Semantok Dam revealed that the dam rests on the foundation with rock class D and CL according to CRIEPI classification. While the type of rock is dominated by gravel, sand, sandstone and silt that have high permeability ( $K \geq 1 \times 10^{-4}$  cm/sec). Based on the calculation of the vertical stress, the greatest stress is obtained, which is 2350 kN/m<sup>2</sup> at STA 1 + 900. While

STA 1 + 900 is support rock class D with a bearing capacity ( $Q_u$ ) of  $3500 \text{ kN/m}^2$ . So that the Semantok Dam foundation meets the bearing capacity requirements.

The use of plastic concrete cut-off wall which is planned to have a depth between 4-17 m obtained seepage discharge using SEEP/W modeling of  $1.7 \times 10^{-5} \text{ m / sec}$  in floodwater conditions, while without improvement obtained  $4.6 \times 10^{-4} \text{ m/sec}$ . The required permits discharge seepage is  $0.0113 \text{ m/sec}$ , so that the use of the plastic concrete cut-off wall method is safe from the danger of seepage and effectively reduces seepage flow on the foundation. Then the results of the analysis of the dangers of piping before repairs to the downstream parts of the dam obtained  $FS \ 0.37 < 4$ , while after repairs obtained  $FS \ 6.728 > 4$ .

Deformation modeling using SIGMA/W obtained the largest deformation results on the dam body of  $0.2163 \text{ m}$ , while on the plastic concrete cut-off wall of  $0.125 \text{ m}$ . Deformation of the plastic concrete cut off wall causes the greatest strain of  $0.98\% < 2.68\%$  (strain permits). Then the slope stability investigation results using SLOPE/W obtained a critical FS of  $2.5 > 1.5$  on the upstream side, and a critical FS of  $1.699 > 1.5$  on the downstream side. While the surfaces do not cut plastic concrete cut-off walls.

## PRAKATA

Puji syukur saya panjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir saya tepat waktu sesuai dengan rencana. Atas terselesaikannya tugas akhir ini, saya sampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T.,M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Dr. Gusfan Halik, S.T.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Dr. Anik Ratnaningsih, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Jember.
3. Indra Nurtjahjaningtyas, S.T.,M.T. dan Paksitya Purnama Putra, S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Anggota Tugas Akhir.
4. Dr. Gusfan Halik, S.T.,M.T. dan Luthfi Amri Wicaksono, S.T.,M.T. selaku Dosen Penguji 1 dan 2 yang telah memberikan arahan yang membangun.
5. Nanin Meyfa Utami,S.T.,M.T. selaku Dosen Perwalian Akademik yang telah memberikan arahan selama perkuliahan.
6. Seluruh Civitas Akademika Teknik Sipil Universitas Jember yang telah memberi dukungan.
7. Seluruh pihak yang terlibat baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini seperti halnya peribahasa tiada gading yang tak retak. Untuk itu, diharapkan adanya kritik dan saran yang membangun untuk penulisan karya ilmiah selanjutnya yang lebih baik. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat.

Jember, 17 Juni 2020

Penulis

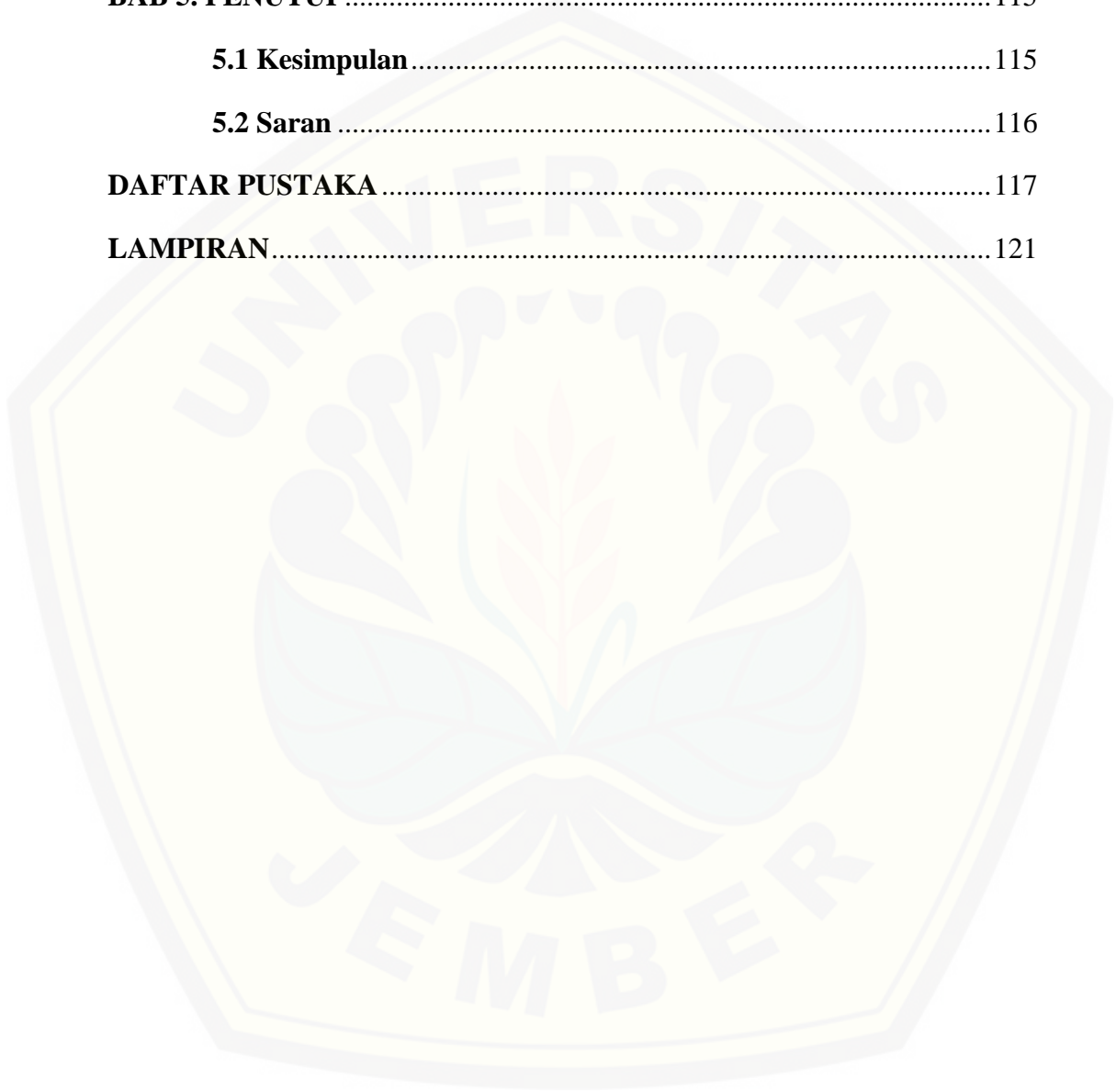
**DAFRTAR ISI**

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	i
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>MOTO</b> .....	iv
<b>PERNYATAAN</b> .....	v
<b>PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>SUMMARY</b> .....	x
<b>PRAKATA</b> .....	xii
<b>DAFRTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xxi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xxvi
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Tujuan Penelitian</b> .....	3
<b>1.4 Manfaat Penelitian</b> .....	4
<b>1.5 Batasan Masalah</b> .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
<b>2.1 Penelitian Terkait</b> .....	5
<b>2.2 Perbaikan Pondasi Bendungan</b> .....	8

<b>2.3 Dinding Halang Beton</b> .....	16
2.3.1 Efektifitas Dinding Halang .....	17
2.3.2 Jenis-jenis Dan Karakteristik Utama Dinding Halang ..	17
2.3.3 Dinding Halang Beton Plastis .....	19
2.3.4 Karakteristik Material Beton Plastis.....	20
2.3.5 Perancangan Beton Plastis.....	21
<b>2.4 Daya Dukung Batuan Pondasi</b> .....	23
<b>2.5 Kedalaman Dinding Halang</b> .....	26
<b>2.6 Rembesan</b> .....	28
<b>2.7 Deformasi</b> .....	31
<b>2.8 Tinggi Jagaan</b> .....	32
<b>2.9 Stabilitas Lereng</b> .....	33
<b>2.10 Geostudio</b> .....	35
2.10.1 Geostudio <i>SEEP/W</i> .....	35
2.10.2 Geostudio <i>SIGMA/W</i> .....	36
2.10.3 Geostudio <i>SLOPE/W</i> .....	37
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	38
<b>3.1 Lokasi Penelitian</b> .....	38
<b>3.2 Pengumpulan Data</b> .....	39
<b>3.3 Metode Analisis</b> .....	39
3.3.1 Perhitungan Manual.....	39
3.3.2 Program Bantu <i>Software</i> .....	40
<b>3.4 Kerangka Penelitian</b> .....	40
3.4.1 Diagram Alir Penelitian.....	40
3.4.2 Pemodelan <i>Geostudio SEEP/W</i> .....	43

3.4.3	Pemodelan <i>Geostudio SIGMA/W</i> .....	44
3.4.4	Pemodelan <i>Geostudio SLOPE/W</i> .....	45
<b>3.5</b>	<b>Langkah – Langkah Penelitian</b> .....	<b>46</b>
3.5.1	Data Penelitian.....	46
3.5.2	Analisis Tegangan Vertikal Pondasi .....	46
3.5.3	Analisis Kedalaman Pondasi .....	47
3.5.4	Analisis Lubang Pengeboran .....	47
3.5.5	Analisis Rembesan .....	47
3.5.6	Analisis Deformasi .....	48
3.5.7	Analisis Kelongsoran.....	48
<b>3.6</b>	<b>Penjadwalan</b> .....	<b>48</b>
<b>BAB 4.</b>	<b>HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>50</b>
<b>4.1</b>	<b>Parameter Material Pondasi</b> .....	<b>50</b>
<b>4.2</b>	<b>Parameter Desain Bendungan</b> .....	<b>55</b>
<b>4.3</b>	<b>Analisis Daya Dukung Batuan Pondasi</b> .....	<b>57</b>
<b>4.4</b>	<b>Analisis Kedalaman <i>Cut Off Wall</i></b> .....	<b>63</b>
<b>4.5</b>	<b>Analisis Stabilitas Lubang Pengeboran</b> .....	<b>64</b>
<b>4.6</b>	<b>Pemodelan dan Analisis Rembesan</b> .....	<b>68</b>
4.6.1	Pemodelan <i>Geoseep/w</i> 2012.....	68
4.6.2	Analisis Debit Rembesan .....	75
4.6.3	Analisis Bahaya <i>Piping</i> .....	84
<b>4.7</b>	<b>Pemodelan dan Analisis Deformasi</b> .....	<b>92</b>
4.7.1	Pemodelan <i>Geosigma/w</i> 2012 .....	92
4.7.2	Analisis Deformasi Tubuh Bendungan .....	98
4.7.3	Analisis Deformasi <i>Plastic Concrete Cut Off Wall</i> .....	103

<b>4.8 Pemodelan dan Analisis Stabilitas Lereng .....</b>	<b>107</b>
4.8.1 Pemodelan <i>Geoslope/w</i> 2012 .....	108
4.8.2 Stabilitas Lereng Tubuh Bendungan .....	111
<b>BAB 5. PENUTUP.....</b>	<b>115</b>
<b>5.1 Kesimpulan.....</b>	<b>115</b>
<b>5.2 Saran .....</b>	<b>116</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>117</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>121</b>





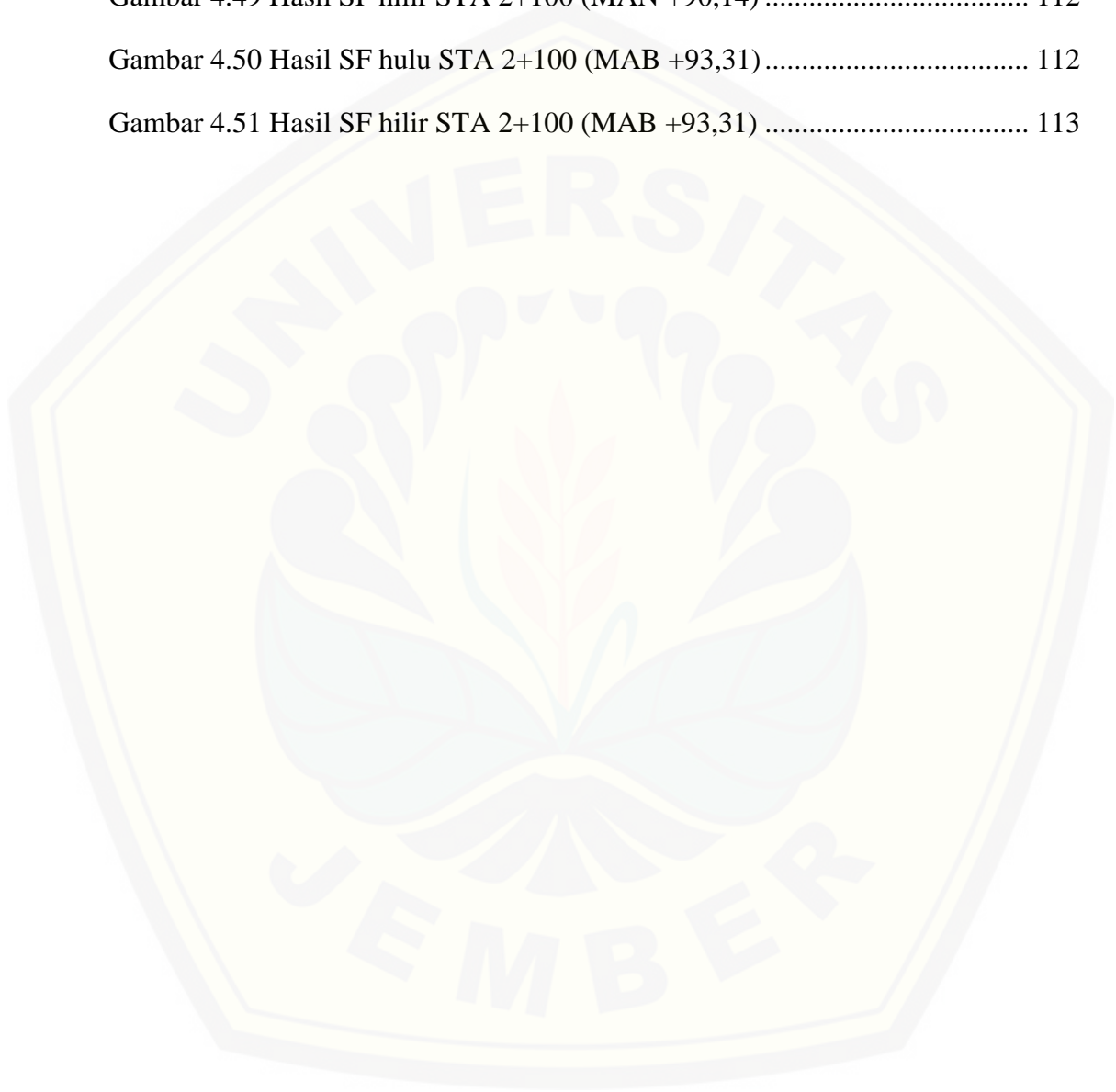
DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2.1 Injeksi (grouting).....	9
Gambar 2.2 Dinding penyekat beton dangkal.....	9
Gambar 2.3 Dinding penyekat baja pancang .....	10
Gambar 2.4 Dinding beton ICOS.....	10
Gambar 2.5 Skema dinding beton BW .....	11
Gambar 2.6 Skema <i>jet grouting</i> .....	11
Gambar 2.7 Hydrofracture drilling equipmen .....	12
Gambar 2.8 Crawler crane .....	13
Gambar 2.9 Skema <i>secant piles</i> .....	13
Gambar 2.10 Cut off trench .....	14
Gambar 2.11 Gambar 2.11 Drainage wells.....	14
Gambar 2.12 Relief wells.....	15
Gambar 2.13 Upstream <i>Blanket</i> .....	16
Gambar 2.14 Counter weight .....	16
Gambar 2.15 Pengujian <i>triaxial</i> beton plastis .....	21
Gambar 2.16 <i>Lay out</i> penerapan dinding halang .....	22
Gambar 2.17 Teknik Pengeboran.....	22
Gambar 2.18 Tegangan vertikal beban timbunan .....	23
Gambar 2.19 Stabilitas lubang galian .....	27
Gambar 2.20 <i>SEEP/W</i> 2012 .....	36
Gambar 2.21 <i>SIGMA/W</i> 2012 .....	36
Gambar 2.22 <i>SLOPE/W</i> 2012 .....	37

Gambar 3.1 Lokasi proyek Bendungan Semantok.....	38
Gambar 3.2 Diagram alir penelitian.....	43
Gambar 3.3 Diagram pemodelan <i>geostudio seep/w</i> .....	44
Gambar 3.4 Diagram pemodelan <i>geostudio sigma/w</i> .....	45
Gambar 3.5 Diagram pemodelan <i>geostudio slope/w</i> .....	46
Gambar 4.1 Peta stratigrafi geologi.....	51
Gambar 4.2 Peta stratigrafi geoteknik .....	52
Gambar 4.3 Peta stratigrafi permeabilitas .....	53
Gambar 4.4 Parameter desain Bendungan Semantok .....	55
Gambar 4.5 Ilustrasi pembagi faktor pengaruh.....	57
Gambar 4.6 Tampilan muka <i>geostudio 2012</i> .....	68
Gambar 4.7 Tampilan jendela <i>keyin analyses</i> .....	69
Gambar 4.8 Tampilan jendela <i>set units and scale</i> .....	69
Gambar 4.9 Tampilan jendela <i>sketch picture</i> .....	70
Gambar 4.10 Penggambaran region.....	70
Gambar 4.11 Tampilan jendela.....	71
Gambar 4.12 Tampilan jendela.....	71
Gambar 4.13 Tampilan jendela.....	72
Gambar 4.14 Tampilan jendela.....	72
Gambar 4.15 Tampilan jendela <i>keyin materials</i> .....	73
Gambar 4.16 Tampilan jendela <i>keyin boundary conditions</i> .....	73
Gambar 4.17 Input draw material .....	73
Gambar 4.18 <i>Input draw boundary condition</i> .....	74
Gambar 4.19 <i>Draw flux section</i> .....	74
Gambar 4.20 Hasil <i>solve analysis geoseep/w</i> .....	75

Gambar 4.21 Debit rembesan <i>flux section</i> .....	76
Gambar 4.22 Analisis kondisi MAB +93,31 .....	77
Gambar 4.23 Analisis kondisi MAN +90,14 .....	77
Gambar 4.24 Perbandingan debit rembesan tubuh bendungan .....	83
Gambar 4.25 Perbandingan debit rembesan pondasi bendungan .....	83
Gambar 4.26 Tampilan jendela <i>view result information</i> .....	85
Gambar 4.27 Lokasi titik tinjau pembacaan <i>geoseep/w</i> .....	89
Gambar 4.28 Tampilan <i>keyin analysis insitu SIGMA/W</i> .....	93
Gambar 4.29 Tampilan jendela <i>keyin material SIGMA/W</i> .....	94
Gambar 4.30 Tampilan jendela <i>keyin boundary condition SIGMA/W</i> .....	94
Gambar 4.31 <i>Draw material SIGMA/W</i> .....	95
Gambar 4.32 <i>Draw boundary condition SIGMA/W</i> .....	95
Gambar 4.33 Tampilan <i>solve analysis insitu SIGMA/W</i> .....	96
Gambar 4.34 Tampilan <i>keyin analysis load/deformation SIGMA/W</i> .....	96
Gambar 4.35 <i>Draw material load/deformation analysis SIGMA/W</i> .....	97
Gambar 4.36 Tampilan <i>solve analysis load/deformation SIGMA/W</i> .....	97
Gambar 4.37 Tampilan <i>solve analysis SIGMA/W STA 1 + 900</i> .....	98
Gambar 4.38 Deformasi tubuh bendungan STA 1 + 900 .....	99
Gambar 4.39 kontrol tinggi ambang batas jagaan.....	103
Gambar 4.40 Deformasi <i>plastic concrete cut off wall STA 1 + 900</i> .....	105
Gambar 4.41 Deformasi <i>plastic concrete cut off wall STA 1 + 900</i> .....	107
Gambar 4.42 Tampilan <i>setting keyin analysis SLOPE/W</i> .....	108
Gambar 4.43 Tampilan <i>slip surface keyin analysis SLOPE/W</i> .....	109
Gambar 4.44 Tampilan jendela <i>keyin material SLOPE/W</i> .....	109
Gambar 4.45 <i>Draw material SLOPE/W</i> .....	110

Gambar 4.46 <i>Keyin slip surface SLOPE/W</i> .....	110
Gambar 4.47 Tampilan <i>solve analysis SLOPE/W</i> .....	111
Gambar 4.48 Hasil SF hulu STA 2+100 (MAN +90,14).....	111
Gambar 4.49 Hasil SF hilir STA 2+100 (MAN +90,14) .....	112
Gambar 4.50 Hasil SF hulu STA 2+100 (MAB +93,31).....	112
Gambar 4.51 Hasil SF hilir STA 2+100 (MAB +93,31) .....	113



**DAFTAR TABEL**

	<b>HALAMAN</b>
2.1 Penelitian terdahulu .....	5
2.2 Karakteristik utama dinding halang .....	18
2.3 Karakteristik material dinding halang.....	19
2.4 Klasifikasi batuan Tanaka dan CRIEPI .....	24
2.5 <i>Estimated physico – mechanical property of each rock class</i> .....	26
2.6 Metode analisis rembesan air .....	28
2.7 Faktor waktu derajat konsolidasi .....	32
2.8 Tinggi jagaan dan lebar bendungan .....	33
2.9 Faktor keamanan minimum .....	34
3.1 Jadwal penelitian.....	49
4.1a Parameter material pondasi STA 1 + 700 .....	53
4.1b Parameter material pondasi STA 1 + 800 .....	141
4.1c Parameter material pondasi STA 1 + 900 .....	142
4.1d Parameter material pondasi STA 2 + 000 .....	143
4.1e Parameter material pondasi STA 2 + 100 .....	144
4.1f Parameter material pondasi STA 2 + 200 .....	145
4.1g Parameter material pondasi STA 2 + 300 .....	146
4.1h Parameter material pondasi STA 2 + 400 .....	147
4.1i Parameter material pondasi STA 2 + 500 .....	148
4.1j Parameter material pondasi STA 2 + 600 .....	149
4.1k Parameter material pondasi STA 2 + 700 .....	150
4.1l Parameter material pondasi STA 2 + 800 .....	151

4.1m	Parameter material pondasi STA 2 + 900 .....	152
4.1n	Parameter material pondasi STA 3 + 000 .....	153
4.1o	Parameter material pondasi STA 3 + 075 .....	154
4.2	Parameter desain Bendungan Semantok .....	56
4.3a	Perhitungan tegangan vertikal STA 1 + 700 .....	61
4.3b	Perhitungan tegangan vertikal STA 1 + 800 .....	178
4.3c	Perhitungan tegangan vertikal STA 1 + 900 .....	179
4.3d	Perhitungan tegangan vertikal STA 2 + 000 .....	180
4.3e	Perhitungan tegangan vertikal STA 2 + 100 .....	181
4.3f	Perhitungan tegangan vertikal STA 2 + 200 .....	182
4.3g	Perhitungan tegangan vertikal STA 2 + 300 .....	183
4.3h	Perhitungan tegangan vertikal STA 2 + 400 .....	184
4.3i	Perhitungan tegangan vertikal STA 2 + 500 .....	185
4.3j	Perhitungan tegangan vertikal STA 2 + 600 .....	186
4.3k	Perhitungan tegangan vertikal STA 2 + 700 .....	187
4.3l	Perhitungan tegangan vertikal STA 2 + 800 .....	188
4.3m	Perhitungan tegangan vertikal STA 2 + 900 .....	189
4.3n	Perhitungan tegangan vertikal STA 3 + 000 .....	190
4.3o	Perhitungan tegangan vertikal STA 3 + 075 .....	191
4.4	Kontrol daya dukung batuan pondasi .....	62
4.5	Kedalaman rencana <i>cut off wall</i> .....	63
4.6a	Parameter stabilitas lubang pengeboran .....	192
4.6b	Stabilitas lubang pengeboran STA 1 + 700 .....	66
4.6c	Stabilitas lubang pengeboran STA 1 + 800 .....	193
4.6d	Stabilitas lubang pengeboran STA 1 + 900 .....	194

4.6e	Stabilitas lubang pengeboran STA 2 + 000 .....	195
4.6f	Stabilitas lubang pengeboran STA 2 + 100 .....	196
4.6g	Stabilitas lubang pengeboran STA 2 + 200 .....	197
4.6h	Stabilitas lubang pengeboran STA 2 + 300 .....	198
4.6i	Stabilitas lubang pengeboran STA 2 + 400 .....	199
4.6j	Stabilitas lubang pengeboran STA 2 + 500 .....	200
4.6k	Stabilitas lubang pengeboran STA 2 + 600 .....	201
4.6l	Stabilitas lubang pengeboran STA 2 + 700 .....	202
4.6m	Stabilitas lubang pengeboran STA 2 + 800 .....	203
4.6n	Stabilitas lubang pengeboran STA 2 + 900 .....	204
4.6o	Stabilitas lubang pengeboran STA 3 + 000 .....	205
4.6p	Stabilitas lubang pengeboran STA 2 + 500 .....	206
4.7	Hasil stabilitas lubang pengeboran .....	67
4.8	Kontrol Q rembesan < 1% Q rata-rata sungai (MAB +93,31).....	78
4.9	Kontrol Q rembesan < 1% Q rata-rata sungai (MAN +90,14) .....	79
4.10	Kontrol Q rembesan < 0,05% Q rata-rata kapasitas tampungan (MAB +93,31).....	81
4.11	Kontrol Q rembesan < 0,05% Q rata-rata kapasitas tampungan (MAN +90,14).....	82
4.12a	Perhitungan gradien hidraulik kritis.....	207
4.12b	Perhitungan kecepatan kritis material inti.....	208
4.12c	Perhitungan kecepatan kritis material filter .....	209
4.12d	Perhitungan kecepatan kritis material pondasi .....	210
4.13a	Kontrol keamanan gradien hidraulik terhadap <i>piping</i> (STA 1 + 700).....	90
4.13b	Kontrol keamanan kecepatan kritis terhadap <i>piping</i> (STA 1 + 700).....	91
4.13c	Kontrol keamanan gradien hidraulik terhadap <i>piping</i> (STA 1 + 800)....	211

4.13d	Kontrol keamanan kecepatan kritis terhadap <i>piping</i> (STA 1 + 800) .....	212
4.13e	Kontrol keamanan gradien hidraulik terhadap <i>piping</i> (STA 1 + 900) ...	213
4.13f	Kontrol keamanan kecepatan kritis terhadap <i>piping</i> (STA 1 + 900) .....	214
4.13g	Kontrol keamanan gradien hidraulik terhadap <i>piping</i> (STA 2 + 000) ...	215
4.13h	Kontrol keamanan kecepatan kritis terhadap <i>piping</i> (STA 2 + 000) .....	216
4.13i	Kontrol keamanan gradien hidraulik terhadap <i>piping</i> (STA 2 + 100) ...	217
4.13j	Kontrol keamanan kecepatan kritis terhadap <i>piping</i> (STA 2 + 100) .....	218
4.13k	Kontrol keamanan gradien hidraulik terhadap <i>piping</i> (STA 2 + 200) ...	219
4.13l	Kontrol keamanan kecepatan kritis terhadap <i>piping</i> (STA 2 + 200) .....	220
4.13m	Kontrol keamanan gradien hidraulik terhadap <i>piping</i> (STA 2 + 300) ...	221
4.13n	Kontrol keamanan kecepatan kritis terhadap <i>piping</i> (STA 2 + 300) .....	222
4.13o	Kontrol keamanan gradien hidraulik terhadap <i>piping</i> (STA 2 + 400) ...	223
4.13p	Kontrol keamanan kecepatan kritis terhadap <i>piping</i> (STA 2 + 400) .....	224
4.13q	Kontrol keamanan gradien hidraulik terhadap <i>piping</i> (STA 2 + 500) ...	225
4.13r	Kontrol keamanan kecepatan kritis terhadap <i>piping</i> (STA 2 + 500) .....	226
4.13s	Kontrol keamanan gradien hidraulik terhadap <i>piping</i> (STA 2 + 600) ...	227
4.13t	Kontrol keamanan kecepatan kritis terhadap <i>piping</i> (STA 2 + 600) .....	228
4.13u	Kontrol keamanan gradien hidraulik terhadap <i>piping</i> (STA 2 + 700) ...	229
4.13v	Kontrol keamanan kecepatan kritis terhadap <i>piping</i> (STA 2 + 700) .....	230
4.13w	Kontrol keamanan gradien hidraulik terhadap <i>piping</i> (STA 2 + 800) ...	231
4.13x	Kontrol keamanan kecepatan kritis terhadap <i>piping</i> (STA 2 + 800) .....	232
4.13y	Kontrol keamanan gradien hidraulik terhadap <i>piping</i> (STA 2 + 900) ...	233
4.13z	Kontrol keamanan kecepatan kritis terhadap <i>piping</i> (STA 2 + 900) .....	234
4.13aa	Kontrol keamanan gradien hidraulik terhadap <i>piping</i> (STA 3 + 000) ...	235
4.13ab	Kontrol keamanan kecepatan kritis terhadap <i>piping</i> (STA 3 + 000) .....	236



4.13ac	Kontrol keamanan gradien hidraulik terhadap <i>piping</i> (STA 3 + 075)...	237
4.13ad	Kontrol keamanan kecepatan kritis terhadap <i>piping</i> (STA 3 + 075) .....	238
4.14a	Waktu deformasi STA 1 + 700 .....	239
4.14b	Waktu deformasi STA 1 + 800 .....	239
4.14c	Waktu deformasi STA 1 + 900 .....	100
4.14d	Waktu deformasi STA 2 + 000 .....	239
4.14e	Waktu deformasi STA 2 + 100 .....	240
4.14f	Waktu deformasi STA 2 + 200 .....	240
4.14g	Waktu deformasi STA 2 + 300 .....	240
4.14h	Waktu deformasi STA 2 + 400 .....	241
4.14i	Waktu deformasi STA 2 + 500 .....	241
4.14j	Waktu deformasi STA 2 + 600 .....	241
4.14k	Waktu deformasi STA 2 + 700 .....	242
4.14l	Waktu deformasi STA 2 + 800 .....	242
4.14m	Waktu deformasi STA 2 + 900 .....	242
4.14n	Waktu deformasi STA 3 + 000 .....	243
4.14o	Waktu deformasi STA 3 + 075 .....	243
4.15	Rekapitulasi waktu deformasi.....	100
4.16	Kontrol tinggi ambang batas jagaan .....	102
4.17	Kontrol modulus elastisitas <i>plastic concrete cut off wall</i> .....	104
4.18	Kontrol keruntuhan <i>plastic concrete cut off wall</i> .....	106
4.19	Hasil pemeriksaan stabilitas lereng.....	114

**DAFTAR LAMPIRAN**

	<b>HALAMAN</b>
LAMPIRAN 1. Peta Bendungan Semantok.....	121
LAMPIRAN 2. Pembagian Pekerjaan Bendungan Semantok.....	122
LAMPIRAN 3. Peta Fisiografi Zona Antiklinorium Kendeng Van Bemmellen 1949.....	123
LAMPIRAN 4. Statigrafi Umum Zona Antiklinorium Kendeng Pringgoprawiro 1983.....	124
LAMPIRAN 5. Formasi Batuan Kabuh.....	125
LAMPIRAN 6. Peta Statigrafi Geologi.....	126
LAMPIRAN 7. Peta Statigrafi Geoteknik.....	131
LAMPIRAN 8. Peta Statigrafi Permeabilitas.....	136
LAMPIRAN 9. Parameter Material Pondasi.....	141
LAMPIRAN 10. Potongan Melintang Tubuh Bendungan.....	155
LAMPIRAN 11. Pengujian Material.....	170
LAMPIRAN 12. Perhitungan Tegangan Vertikal.....	178
LAMPIRAN 13. Perhitungan Stabilitas Lubang Galian.....	192
LAMPIRAN 14. Perhitungan Gradien kritis dan Kecepatan Kritis.....	207
LAMPIRAN 15. Kontrol Gradien kritis dan Kecepatan Kritis.....	211
LAMPIRAN 16. Perhitungan Waktu Penurunan.....	239
LAMPIRAN 17. Hasil Pengujian Beton Plastis.....	244

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pondasi merupakan bagian terpenting dalam bangunan yang berfungsi sebagai penyalur beban dari bangunan ke permukaan tanah sebagai pijakan (Hardiyatmo, 2002). Pondasi pada bendungan selain berfungsi sebagai penyalur beban juga harus dapat menahan laju air di bawah tubuh bendungan (Sosrodarsono, 1977). Sehingga penerapannya harus memperhatikan struktur atas bendungan sebagai beban dan juga dari segi geologi tanah sebagai pijakan.

Sering kali kondisi geologi pada lapangan menjadi permasalahan dikarenakan adanya pelapukan batuan yang tidak merata, retakan, kekar, dan jalur sesar (Soediby, 2003). Kondisi tersebut dapat menimbulkan adanya rembesan di bawah tubuh bendungan sehingga menyebabkan terjadinya *piping*, *boiling* (sembulan), dan deformasi apabila diberi beban (Setiawan, 2018). Permasalahan tersebut kini tengah dialami dalam proses pembangunan Bendungan Semantok di Kabupaten Nganjuk, Jawa Timur.

Bendungan Semantok merupakan salah satu bendungan besar yang di bangun dengan bentang tubuh bendungan sepanjang 3.050 m (Lampiran 1). Mengingat bentang Bendungan Semantok yang sangat panjang, pembangunannya di bagi menjadi dua paket. Pada paket 1 (satu) yang dimulai pada STA 0+000 sampai STA 1+700 mengerjakan: pekerjaan persiapan, pekerjaan jalan masuk inspeksi jalan dan jalan lainnya, pekerjaan bendungan utama sebelah kiri, pekerjaan bangunan pengambilan (*intake* Ngomben sebelah kiri), pekerjaan hidromekanikal dan elektrikal (*intake* Ngomben), dan fasilitas proyek. Sedangkan pekerjaan yang dilakukan pada paket 2 (dua) yang dimulai pada STA 1+700 sampai STA 3+100 meliputi: pekerjaan persiapan, pekerjaan bangunan pengelak, pekerjaan bendungan utama sebelah kanan, pekerjaan bangunan pelimpah, pekerjaan bangunan pengambilan (*intake* utama sebelah kanan), pekerjaan hidromekanikal dan elektrikal (*intake* utama), dan pekerjaan lain-lain (Lampiran 2). Dengan rancangan bendungan yang besar serta kondisi geologi yang

kompleks, pembangunan Bendungan Semantok tak lepas dari permasalahan. Bendungan Semantok mengalami hambatan dalam proses pembangunannya karena permasalahan pada geologi batuan dan struktur tanahnya.

Berdasarkan Laporan Akhir Pekerjaan Survey Geolistrik (2018), investigasi geologi yang mengacu pada peta fisiografi dan tektonik Jawa bagian timur terbitan Van Bemmelen 1949, lokasi Bendungan Semantok berada pada zona Antiklinorium Kendeng (Lampiran 3). Didalam zona antiklinorium Kendeng, stratigrafi umum zona Kendeng di bagi menjadi tujuh formasi yang meliputi: formasi Pelang, formasi Kerek, formasi Kalibeng, formasi Sonde, formasi Pucangan, formasi Kabuh, dan formasi Notopuro (Lampiran 4).

Mengacu Kajian Teknis (2018), lokasi Bendungan Semantok berada pada formasi Kabuh yang terdiri dari batuan konglomerat, batu pasir, setempat sisipan, lempung, dan napal (Lampiran 5). Pada lokasi tersebut didominasi dengan batu pasir dan lanau dengan karakteristik tanah berbutir pasir yang lepas dan belum tersementasi dengan baik sehingga dapat mengurangi kemampuan dalam menahan laju aliran air. Berdasarkan kondisi geologi diatas maka, perlu dilakukan perbaikan pondasi dengan metode yang tepat.

Upaya perbaikan pondasi di Bendungan Semantok telah dilakukan dengan percobaan metode *grouting* pada STA 1+200, STA 1+615, STA 1+800, dan STA 2+175. Akan tetapi, hasil percobaan metode *grouting* yang dilakukan pada lokasi tersebut kurang efektif dikarenakan letak lapisan kedap air yang dalam dan kombinasi batuan batu pasir diatasnya (Laporan Akhir Pekerjaan Grouting Test, 2018). Sehingga alternatif lain perbaikan pondasi pada Bendungan Semantok salah satunya ialah *plastic concrete cut off wall*.

*Plastic concrete cut off wall* merupakan salah satu metode perbaikan pondasi guna menangani rembesan yang terjadi pada pondasi dan tubuh bendungan dengan efektifitas yang tinggi (Yuli Astuti *et al.*, 2012). Keuntungan penggunaan metode tersebut ialah dapat dikonstruksi dengan berbagai cara, tidak memerlukan pengeringan (*dewatering*), dan volume galian yang lebih kecil daripada metode yang lain seperti metode *cut off trench* (Pedoman Pembuatan Dinding Halang pada Bendungan Urugan, 2005). Disamping itu, penggunaan

metode *plastic concrete cut off wall* akan lebih efisien dibandingkan metode *horizontal blanked* serta *geo clay liner* karena penggunaan bahan material inti kedap air yang lebih sedikit, tingkat keberhasilan tinggi serta penggunaan metode tersebut telah dilaksanakan di Indonesia.

Berdasarkan topik di atas, penelitian ini mengambil topik mengenai analisa kedalaman, rembesan, deformasi serta stabilitas penggunaan metode *plastic concrete cut off wall* dengan program bantu *Geostudio 2012* pada perbaikan pondasi Bendungan Semantok, Kabupaten Nganjuk, Jawa Timur.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang disampaikan pada latar belakang di atas maka, adapun rumusan masalah yang akan di bahas pada penelitian ini:

1. Bagaimana kondisi awal karakteristik tanah pada lokasi pondasi bendungan?
2. Bagaimana desain dan perencanaan perbaikan pondasi bendungan menggunakan metode *plastic concrete cut off wall*?
3. Bagaimana faktor keamanan desain dan perencanaan perbaikan pondasi bendungan menggunakan metode *plastic concrete cut off wall*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan adanya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kondisi eksisting karakteristik tanah pada lokasi pondasi bendungan.
2. Mengetahui desain dan perhitungan perencanaan perbaikan pondasi bendungan menggunakan metode *plastic concrete cut off wall*.
3. Mengetahui angka faktor keamanan desain dan perencanaan perbaikan pondasi bendungan menggunakan metode *plastic concrete cut off wall*.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapat dari penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut:

1. Memodelkan penanganan yang tepat, terhadap permasalahan laju aliran air pada pondasi Bendungan Semantok.
2. Rekomendasi kepada SNVT Pembangunan Bendungan BBWS Brantas Kegiatan Pembangunan Bendungan II, kontraktor, dan konsultan supervisi dalam perencanaan perbaikan pondasi Bendungan Semantok, Kabupaten Nganjuk, Jawa Timur.

#### 1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengingat panjangnya bentang Bendungan Semantok sepanjang 3.050m. Dalam penelitian ini direncanakan perbaikan pondasi hanya pada area paket 2 (dua) Bendungan Semantok mulai dari STA 1+700 hingga STA 3+100.
2. Perencanaan perbaikan metode *plastic concrete cut off wall* program bantu *Geostudio SEEP/W*, *SIGMA/W*, serta *SLOPE/W* guna memudahkan dalam penelitian ini.
3. Dalam penelitian ini, dilakukan analisis deformasi dengan program bantu *SIGMA/W*. Analisis deformasi yang dilakukan guna mengetahui besarnya penurunan yang terjadi pada tubuh bendungan serta *plastic concrete cut off wall* tanpa memasukkan beban gempa.
4. Dilakukan analisis kelongsoran pada hulu dan hilir bendungan menggunakan program bantu *SLOPE/W* untuk kontrol keamanan *plastic concrete cut off wall* dari kemungkinan terkena bidang longsor. Pemodelan *SLOPE/W* dilakukan menggunakan metode *Morgenstren-price* tanpa memperhitungkan beban gempa serta kondisi surut tiba-tiba.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terkait

Dalam penyusunan penelitian ini, guna membantu mengatasi permasalahan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya digunakan penelitian terdahulu sebagai sumber referensi. Penggunaan metode *plastic concrete cut off wall* untuk mengatasi rembesan mengacu pada hasil penelitian terdahulu yang saling berkaitan.

Berikut merupakan hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini:

Tabel 2.1 Penelitian terdahulu

No	Nama Penelitian	Judul Penelitian	Metode	Hasil
1	Yahya Eko Maryanto Setiawan dan Runi Asmaranto, 2018	Kajian Perbaikan Pondasi Kombinasi <i>Plastic Concrete Cut Off Wall</i> dan <i>Grouting</i> Pada Pembangunan Bendungan Tugu Kabupaten Trenggalek	Analisis keamanan terhadap debit rembean, <i>piping</i> dan deformasi	Penggunaan kombinasi <i>plastic concre cut off wall</i> dan <i>grouting</i> mampu menurunkan debit rembesan serta tidak terjadinya peristiwa <i>piping</i>
2	Ali Imron, Dianah Sarah, Siti Hardiyati, dan Kresno	Analisa Geoteknik Bendungan Gongseng Terhadap	Simulasi pemodelan <i>Plaxis</i> 8.2 dan <i>Geostudio</i> 2007 dengan metode perbaikan	Hasil pengamatan pemodelan <i>plaxis</i> 8.2 dan <i>seep/w</i> pada keamanan terhadap bahaya

	Wikan Sadono, 2017	Keamanan Rembesan, Stabilitas Lereng, dan Beban Gempa	<i>grouting</i>	rembesan meliputi: debit rembesan, pengamatan garis freatik, dan bahaya <i>boiling</i> , menunjukkan hasil yang beragam
3	Yuli Astuti, Aniek Masrevaniah, dan Suwanto Marsudi, 2012	Analisa Rembesan Bendungan Bajulmati Terhadap Bahaya <i>Piping</i> Untuk Perencanaan Perbaikan Pondasi	Simulasi analisis rembesan terhadap debit rembesan dan bahaya <i>piping</i> menggunakan <i>SEEP/W</i>	1. Perlu dilakukan perbaikan pondasi pada bendungan bajulmati dengan alternatif metode <i>grouting</i> , <i>cut off</i> <i>wall</i> , dan <i>upstream blanket</i> 2. Metode <i>cut off</i> <i>wall</i> merupakan alternatif perbaikan pondasi paling efektif
4	I gusti Ngurah Putu Dharmayasa, 2018	Analisis Rembesan Di Bawah Tubuh Bendungan Urugan (Bendungan Benel Kabupaten Jembrana, Bali)	Perhitungan debit rembesan dengan program bantu <i>SEEP/W</i> serta <i>flownet</i>	Penggunaan <i>cut</i> <i>off</i> mampu menurunkan debit rembesan secara signifikan.



5	Moch. Sholeh, Suhartanto, dan Nur Anisfi Choirini, 2019	Analisis Stabilitas Tubuh Bendungan Pada Bendungan Utama Proyek Waduk Bendo Ponorogo	Simulasi analisis rembesan terhadap debit rembesan dan bahaya <i>piping</i> menggunakan <i>SEEP/W</i> serta stabilitas lereng bendungan menggunakan <i>SLOPE/W</i>	1. Perbaikan <i>grouting</i> dapat menurunkan kapasitas rembesan serta bahaya <i>piping</i> 2. Lereng tubuh bendungan aman terhadap bahaya kelongsoran
6	Runi Asmaranto, Prima Hadi Wicaksono, dan Ghea Wedya Rangga Dewa, 2014	Analisa Stabilitas Tubuh Bendungan (Studi Kasus Bendungan Lolak Sulawesi Utara)	Analisis kapasitas rembesan dan <i>piping</i> menggunakan <i>SEEP/W</i> serta stabilitas lereng metode <i>Fellenius</i> dan <i>Bishop</i>	1. Grouting efektif menurunkan kapasitas debit rembesan serta kemungkinan <i>piping</i> 2. Bendungan lolak terhadap kemanan stabilitas lereng 3. metode <i>fellenius</i> mempunyai nilai angka keamanan lebih kecil daripada metode <i>bishop</i>
7	Guntarto Achmadi, 2015	Studi Kestabilan Bendungan Marangkayu	Perbandingan <i>safety factor</i> sebelum dan	Penggunaan <i>cut off trench</i> pada hulu

Dengan <i>Cut off</i>	sesudah	meningkatkan
<i>Trench</i> di Hulu	penggunaan <i>cut off</i>	stabilitas lereng
Tubuh	<i>trench</i>	
Bendungan		

---

## 2.2 Perbaikan Pondasi Bendungan

Menurut Sosrodarsono (1977), Pemilihan pondasi suatu bendungan harus memenuhi suatu syarat sebagai berikut:

1. Mempunyai daya dukung yang dapat menahan berat tubuh bendungan sendiri.
2. Mempunyai kemampuan menghambat aliran filtrasi
3. Mempunyai ketahanan terhadap bahaya *piping*, serta sembulan (*boiling*) akibat dari aliran filtrasi.

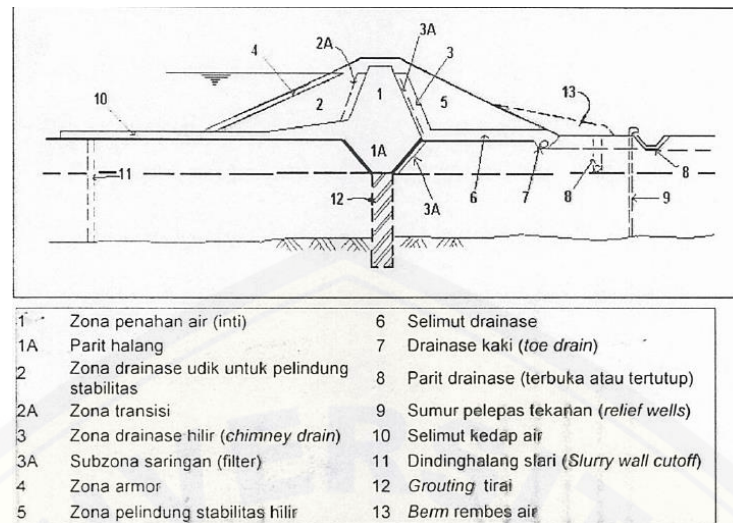
Sehingga apabila pemilihan lokasi pondasi bendungan tidak memenuhi kriteria tersebut, maka perlu dilakukan adanya perbaikan pondasi.

Perbaikan pondasi yang diperuntukkan untuk meningkatkan kemampuan menghambat aliran filtrasi perlu adanya perlakuan khusus. Perlakuan tersebut dipertimbangkan berdasarkan karakteristik pondasi yang meliputi: Pondasi batuan, pondasi pasir atau kerikil, serta pondasi tanah (Sosrodarsono, 1977).

Secara keseluruhan perbaikan pondasi bendungan guna mengatasi rembesan pada pondasi menurut Soediby (2003), meliputi:

1. Injeksi (*grouting*)

*Grouting* berfungsi untuk menurunkan permeabilitas, kuat geser, kompresibilitas, serta potensi erosi internal, terutama pondasi alluvia. Berikut merupakan pelaksanaan *grouting* pada bendungan.

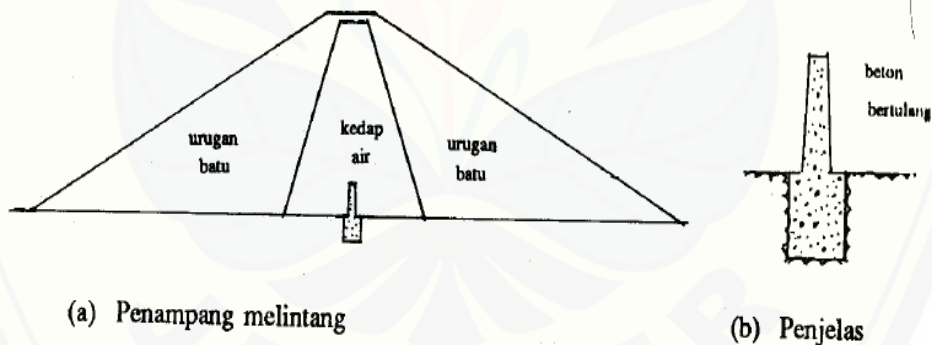


Gambar 2.1 Injeksi (grouting)

Sumber : Pedoman Pengendalian Rembesan Pada Bendungan Urugan, 2005

2. Dinding penyekat beton dangkal (*shallow concrete cut off wall*)

Biasa digunakan untuk memperpanjang aliran air yang merembes di bawah pondasi sehingga dapat mengurangi rembesan air.

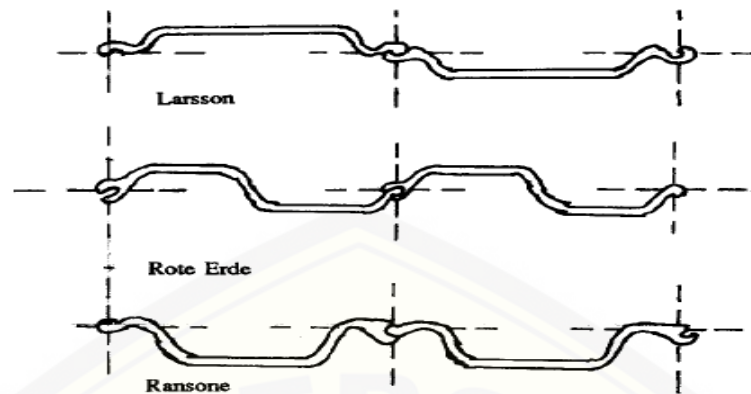


Gambar 2.2 Dinding penyekat beton dangkal

Sumber : Soedibyo, 2003

3. Dinding penyekat baja pancang (*steel sheet piling cut off*)

Keunggulan penggunaan metode ini meliputi: mudah dalam pelaksanaan, serta dapat menahan rembesan air dengan efektif. Sedangkan kekurangannya relatif mahal dibandingkan dinding penyekat beton, mengalami kesulitan apabila banyak batu besar, serta memerlukan peralatan pancang yang memadai.



Gambar 2.3 Dinding penyekat baja pancang

Sumber : Soedibyo, 2003

4. Dinding beton sistem ICOS (*ICOS wall cut off*, Milan Italia)

Penggunaan metode ini dilakukan dengan membuat lubang bor secara berselang seling kemudian dilakukan pengecoran beton setempat. Metode ini mudah dalam pelaksanaan serta relatif murah dalam biaya.



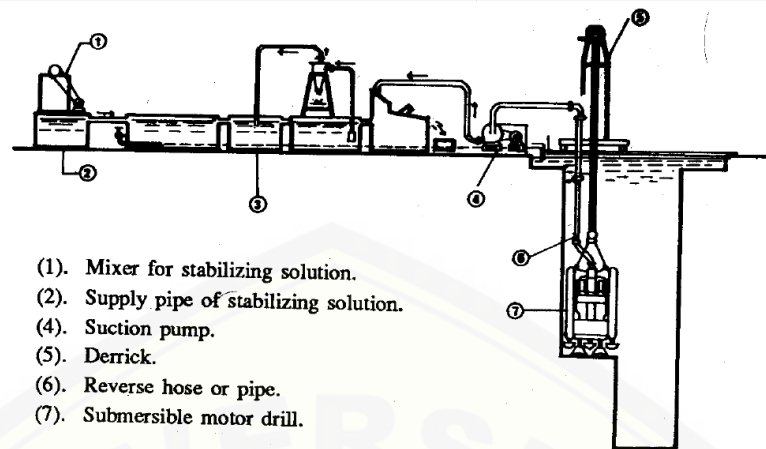
Gambar 2.4 Dinding beton ICOS

Sumber : Soedibyo, 2003

Agar terhindar dari bahaya kelongsoran setelah pengeboran, dapat diperkuat dengan cara diberi campuran pasir, kerikil, rendaman bentonit (*slurry cut off trench*).

5. Dinding beton sistem BW (*BW long wall cut off*, Jepang)

Skema penggunaan dinding beton sistem BW diawali dengan pengeboran kemudian, pembersihan lubang dari lumpur, kemudian memasukkan campuran pasir, kerikil, rendaman bentonit, selanjutnya dilakukan pengecoran setempat. Penggunaan dinding beton sistem BW mampu digunakan untuk kedalaman 50 m.



Gambar 2.5 Skema dinding beton BW

Sumber : Soedibyo, 2003

#### 6. *Jet grouting*

Penggunaan *jet grouting* mempunyai fungsi yang sama seperti penggunaan injeksi (*grouting*). Hal yang membedakan dalam *jet grouting* yaitu alat yang digunakan. Alat yang digunakan yaitu pipa yang mempunyai lubang kecil (*nozzle*) dibagian ujung bawah. Lubang kecil (*nozzle*) tersebut berfungsi untuk menyembrotkan air bertekanan tinggi, sehingga membuat lapisan tanah disekitar pipa akan mengalami keruntuhan. Berikut merupakan gambar skema *jet grouting*.

Gambar 2.6 Skema *jet grouting*

Sumber : Soedibyo, 2003

#### 7. Dinding diafragma (*diaphragm wall*) sistem *cassagrande* Italia

Dinding diafragma sering juga disebut sebagai dinding penyekat beton (*concreet cut off wall*). Skema penggunaan dinding diafragma seperti halnya

dengan metode dinding penyekat dinding beton yang lain. Alat yang digunakan untuk dinding diafragma mampu digunakan untuk pengeboran hingga sedalam 30 m. Keunggulan dinding diafragma dibanding metode dinding penyekat beton yang lain relatif lebih kecil dalam hal ketebalan pelaksanaan.

8. Dinding diafragma sistem *Soletance*, Perancis

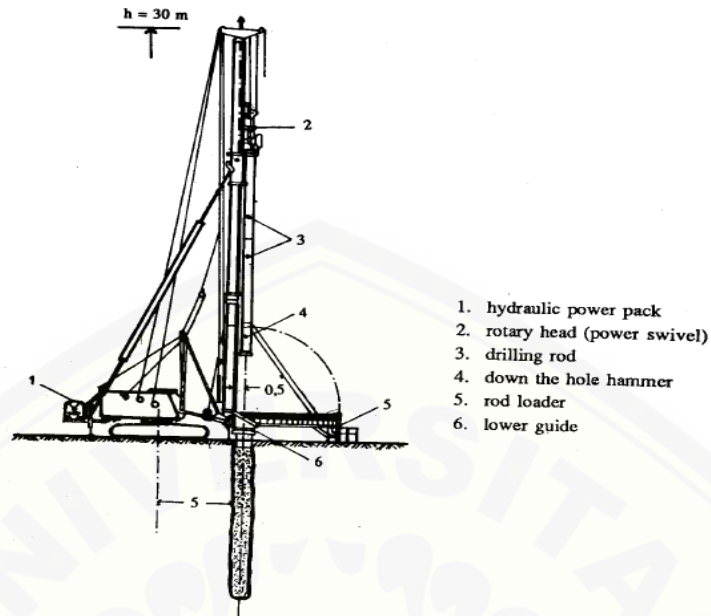
Metode ini dikembangkan oleh *Soletance* dengan menggunakan alat *hydrofraise drilling equipmen* sehingga mampu digunakan untuk pengeboran dinding diafragma sedalam 30 m.



Gambar 2.7 Hydrofraise drilling equipmen  
Sumber : Soedibyo, 2003

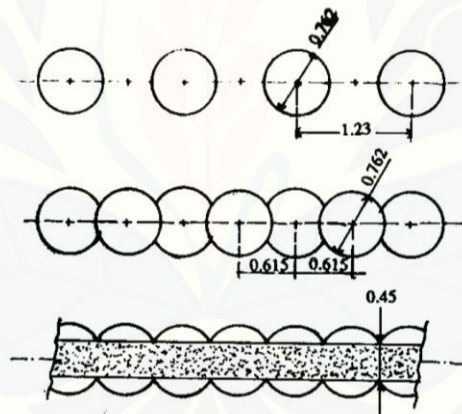
9. Dinding diafragma sistem *secant piles*

Penggunaan metode ini diawali dengan pengeboran menggunakan *crawler crane* (gambar 2.7), agar tidak runtuh kemudian diberikan rendaman bentonit, selanjutnya dilakukan pengecoran beton setempat sebagai tiang pertama (*primary piles*). Disela-sela tiang pertama (*primary piles*) dilakukan pengeboran dan pengecoran untuk tiang kedua (*secondary piles*). Sehingga terjadi *overlap* untuk mencegah terjadinya rembesan air.



Gambar 2.8 Crawler crane

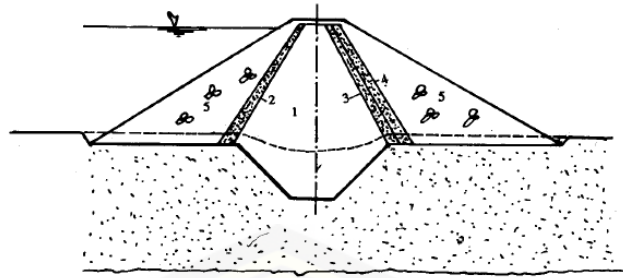
Sumber : Soedibyo, 2003

Gambar 2.9 Skema *secant piles*

Sumber : Soedibyo, 2003

#### 10. Dinding penyekat dari tanah (*cut off trench*)

Sekama ini dilakukan dengan menggali tanah lurus air yang terdapat pada pondasi bendungan. Galian tersebut kemudian diisi kembali menggunakan tanah kedap air, dapat digunakan tanah lempung. Pengisian tanah kedalam lubang harus dilakukan dengan cara dipadatkan dengan baik dengan kadar air optimum. Berikut merupakan gambar dinding penyekat tanah (*cut off trench*).



Gambar 2.10 Cut off trench

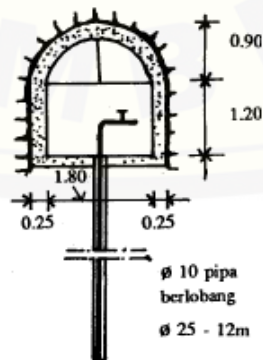
Sumber : Soedibyo, 2003

11. Dinding penyekat campuran pasir, kerikil, rendaman bentonit (*slurry cut off trench*)

Digunakan untuk penggalian tanah yang sangat dalam. Dinding penyekat ini mampu digunakan hingga kedalaman mencapai 24 m. Campuran ini juga dapat digunakan agar menjaga lubang galian stabil dari longsor. Hal ini karena kekentalan (*viskositas*) lebih tinggi dari pada air tanah. Sehingga menjaga lereng galian tetap stabil.

12. Sumur pengering (*drainage wells*)

Digunakan untuk mengatur debit rembesan yang lewat tidak melebihi batas yang diizinkan. Sumur pengering berupa lubang yang dibor ke dalam tanah pada sisi hulu bendungan, kemudian diisi pipa baja tahan karat yang berlubang-lubang. Diantara pipa tahan karat dengan lubang diisi dengan pasir serta batu kerikil dengan gradasi tertentu dan dibungkus dengan ijuk sebagai filter.



Gambar 2.11 Gambar 2.11 Drainage wells

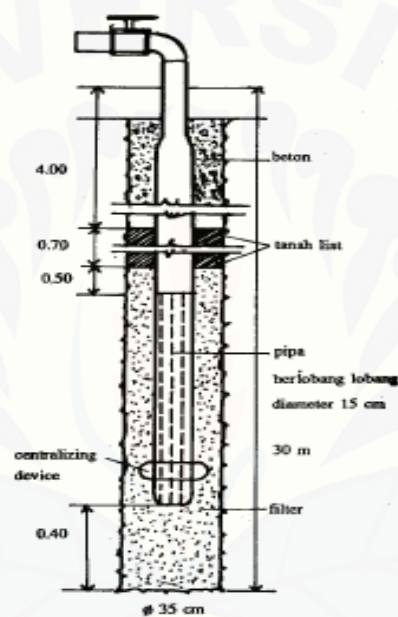
Sumber : Soedibyo, 2003



### 13. Sumur pelepas tekanan (*relief wells*)

Sumur pelepas tekanan digunakan untuk mengurangi gaya tekan ke atas pada bendungan. Biasanya sumur pelepas tekanan dipasang pada ujung hilir bendungan. Dalam hal pemasangan, dilakukan upaya serupa seperti pemasangan sumur pengering.

Dibandingkan dengan sumur pengering, sumur pelepas tekanan dapat dipasang lebih dalam. Kedalaman yang dapat digunakan ialah sedalam 30 m. Berikut contoh sumur pelepas tekanan.

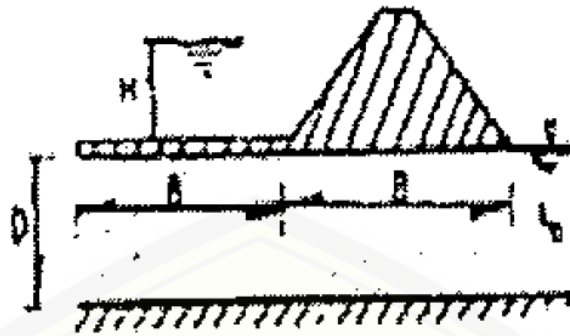


Gambar 2.12 Relief wells

Sumber : Soedibyo, 2003

### 14. Penutup permukaan dengan bahan kedap air (*blanket*)

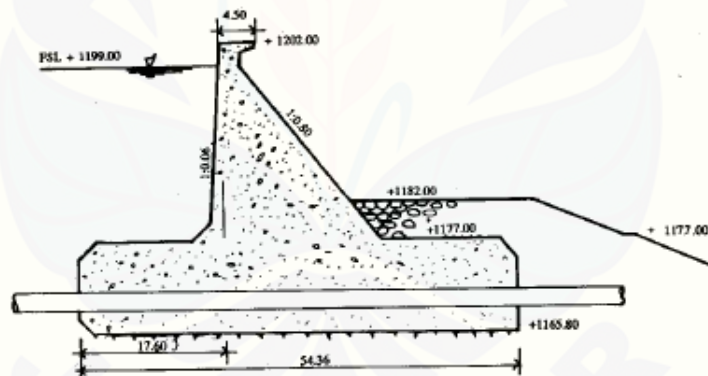
Metode ini digunakan untuk menutupi lapisan tanah yang lolos air dengan material kedap air. Material yang dapat digunakan meliputi: pasangan, bata, batu, beton, tanah lempung, ataupun material kedap air. Biasanya metode ini dilakukan dengan digelar pada ujung hulu maupun ujung hilir bendungan.

Gambar 2.13 Upstream *Blanket*

Sumber : Pedoman pengendalian rembesan pada bendungan urugan, 2005

#### 15. Beban pelawan gaya tekan ke atas (*counter-weight*)

Guna menanggulangi besarnya gaya tekan ke atas yang berakibat terjadi letupan (*boiling*), maka perlu diletakkan beban untuk melawan gaya angkat tersebut. Gaya angkat biasanya terjadi pada hilir bendungan. Pemberat yang digunakan dapat berupa urugan batu yang diletakkan di kaki bendungan.



Gambar 2.14 Counter weight

Sumber : Soedibyo, 2003

### 2.3 Dinding Halang Beton

Berdasarkan KNI-BB INACOLD buletin edisi november (2008), perbaikan pondasi dengan dinding halang (*cut off wall*) memiliki fungsi sebagai upaya untuk memperkecil *permeabilitas* yang melewati lapisan tanah yang lolos air serta berguna untuk menambah panjang aliran equipotensial air rembesan dari waduk.

### 2.3.1 Efektifitas Dinding Halang

Penggunaan dinding halang dapat efektif apabila dipasang menerus menembus lapisan lolos air sampai masuk kedalam lapisan kedap air. Dinding halang yang sepenggal (*partial cut off wall*) yang hanya menembus 50% lapisan lolos air hanya akan mampu mengurangi debit rembesan sebesar 20% (Pedoman Pembuatan Dinding Halang pada Bendungan Urugan, 2005).

Sosrodarsono (1977), dalam bukunya berjudul “Bendungan Type Urugan” mengklasifikasikan kelompok bahan tanah berdasarkan angka koefisien filtrasi. Adapun klasifikasi tersebut dituangkan dalam butir-butir berikut:

1. Lapisan tanah air (*permeable*) apabila nilai permeabilitas  $K > 1 \times 10^{-4}$  cm/dt.
2. Lapisan tanah semi lulus air (*semi-permeable*) apabila nilai permeabilitas  $K = 1 \times 10^{-4}$  cm/dt.
3. Lapisan tanah kedap air (*impermeable*) apabila nilai permeabilitas  $K < 1 \times 10^{-4}$  cm/dt.

### 2.3.2 Jenis-jenis Dan Karakteristik Utama Dinding Halang

Jenis-jenis dinding halang yang sering digunakan untuk mengatasi upaya rembesan pada pondasi bendungan khususnya terhadap bendungan urugan, yaitu:

1. Dinding halang paritan slari tanah-bentonit,
2. Dinding halang beton,
3. Dinding halang paritan slari semen-bentonit,
4. Dinding halang tiang, galerin beton tersusun, dan dinding halang tipis.

Karakteristik-karakteristik utama dari dinding halang dijelaskan pada tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Karakteristik utama dinding halang

Karakteristik	Dinding diafragma	Dinding diafragma	Dinding diafragma	Dinding diafragma	Dinding diafragma	Dinding slari	Dinding tiang
Cara pengendalian dan atau pemasangan	<i>Clamshells</i> mekanis	<i>Clamshells</i> mekanis	<i>Clamshells</i> mekanis ( <i>kelly grabs</i> )	Mesin pemotong (teknik pemotonga dengan sirkulasi balik)	Mesin pemotong (teknik pemotonga dengan sirkulasi balik)	<i>Draglines, shovel</i> mekanis	<i>Downhole hammer drilling</i>
Material pengisi	Bentonit	Beton konvensional atau plastis	Bentonit/semen atau benton (konvensional atau plastis)	Slari bentonit/semen	Beton konvensional atau plastis	Bentonit tanah atau bentonit semen	Beton
Sambungan ( <i>joints</i> )	Tidak ada sambungan	Sambungan keliling, sambungan cetakan	Sambungan keliling, sambungan cetakan	Beton/beton tanpa sambungan	Beton/beton tanpa sambungan	Tidak ada sambungan	Dengan sambungan
Kedalaman maksimum (m)	50	120	50-60	50	150	15-20	50
Jenis tanah/batuan	Tanah penutup ( <i>over burden</i> )	Tanah penutup ( <i>over burden</i> )	Tanah penutup	Tanah penutup batuan berlapuk, batuan sampai 100 MPa (dengan alat khusus)	Tanah penutup batuan berlapuk, batuan sampai 100 MPa (dengan alat khusus)	Tanah penutup	Batuan keras ( <i>over burden</i> )
Keterangan	-	-	-	Untuk kedalaman > 10 m	Untuk kedalaman > 10 m	Gradien hidraulik $\leq 10$ m	Mahal

Sumber: ICOLD buletin 129, 2005

Adapun karakteristik masing-masing dari jenis dinding halang dijelaskan dalam tabel berikut.

Tabel 2.3 Karakteristik material dinding halang

Jenis Material	Kekuatan (Mpa)	Permeabilitas K (m/dtk)	Deformasi	Sifat Retakan	Komposisi
Beton tremi	30-50	$10^{-12}$	Kaku	Mudah retak	Semen + agregat, slump 20 cm, w/c = 0,5-0,7
Beton plastis	1,0-3,0	$10^{-9}$	Tinggi	Tahan terhadap regangan sampai 10% tanpa retak	Semen + agregat + lempung + bentonit, w/c = 0,5
Slari semen/bentonit	0,1-1,0	$10^{-6}$	Sangat tinggi	Tahan terhadap deformasi dan tekanan lateral	Semen + bentonit, w/c = 0,5

Sumber: ICOLD buletin 129, 2005

### 2.3.3 Dinding Halang Beton Plastis

Berdasarkan Pedoman Pembuatan Dinding Halang Pada Bendungan Urugan (2005), dinding halang beton atau sering dikenal sebagai dinding diafragma, dapat digunakan sebagai penghalang rembesan positif pada tubuh bendungan atau pada pondasi batuan atau tanah. Penggunaan dinding halang beton plastis pada bagian bawah dinding halang harus tertanam ke dalam lapisan kedap air. Dinding halang jenis ini dapat berupa suatu seri panel beton yang di cor langsung kedalam paritan atau lubang bor.

Sebelum dituangkan beton plastis penggunaan slari berfungsi sebagai peningkatan stabilitas galian paritan atau lubang bor sebelum panel beton plastis dituangkan kedalamnya.

#### 2.3.4 Karakteristik Material Beton Plastis

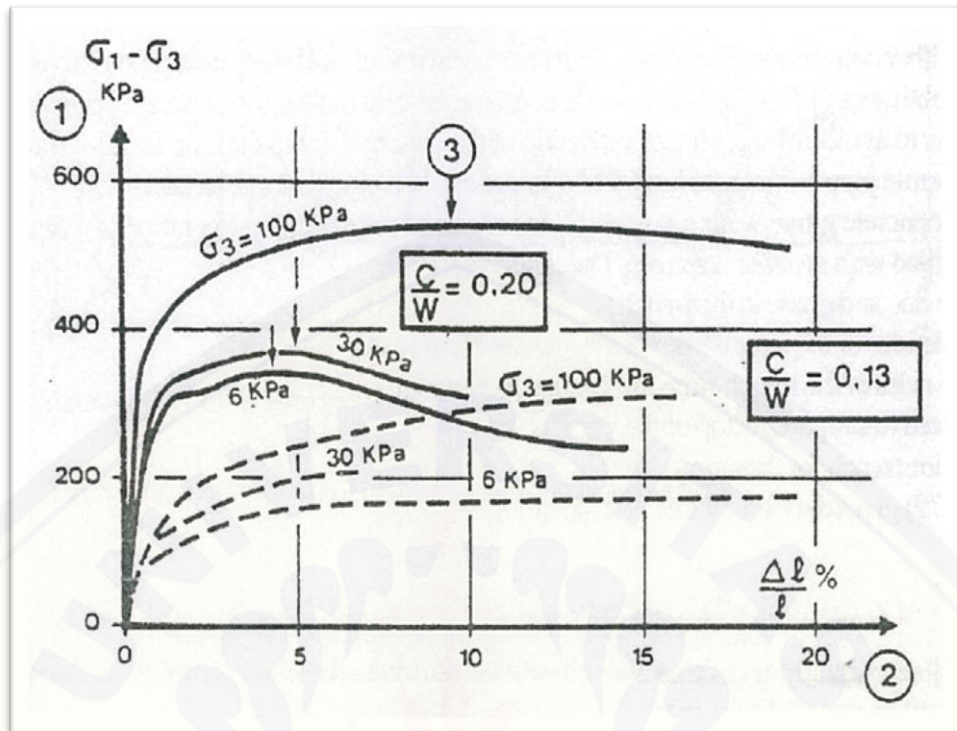
(Pedoman Pembuatan Dinding Halang Pada Bendungan Urugan, 2005) mengatakan beton merupakan bahan konstruksi bangunan yang harus memiliki tingkat kemudahan air dan kemudahan pengerjaan yang tinggi, agar bubur beton yang dituang melalui pipa penyalur (*tremi*) dapat mendesak keatas bubur beton yang telah dituang terlebih dahulu. Penggunaan beton plastis sebagai dinding halang harus mudah dalam pengerjaan dan tidak diperbolehkan mengalami segregasi. Desain campuran beton plastis harus sesuai dengan standar yang berlaku, antara lain:

1. Nilai uji *slump* berkisar antara 150 sampai 225 mm,
2. Perbandingan berat maksimum air-semen (WCR) 0,5 sampai 0,6,
3. Kuat tekan (*compressive strength*) pada umur 28 hari berkisar antara 1 sampai 2 Mpa.

Mengacu ICOLD buletin 51 (1985), menyarankan pembuatan dinding halang beton plastis harus mempunyai sifat yang meliputi:

1. Perbandingan antara modulus *young* antara dinding halang dengan tanah disekelilingnya ialah:  $E_{\text{dinding halang}} \leq 5 E_{\text{tanah}}$ ,
2. Tegangan runtuh (*failure strain*) harus tinggi, lihat contoh gambar 2.1
3. Kuat tekan beton pada umur 28 hari antara 1 sampai 2 Mpa.

Berdasarkan ICOLD buletin 129 (2005), dinding halang jenis *plastic concrete cut-off wall* memiliki karakteristik kuat tekan antara 1,0 – 3,0 Mpa, permeabilitas (k)  $10^{-7} - 10^{-8}$  m/dt, serta memiliki deformasi yang tinggi dengan sifat mampu menahan regangan sampai 10% tanpa retak. Berikut merupakan hasil pengujian *triaxial* pada beton plastis.

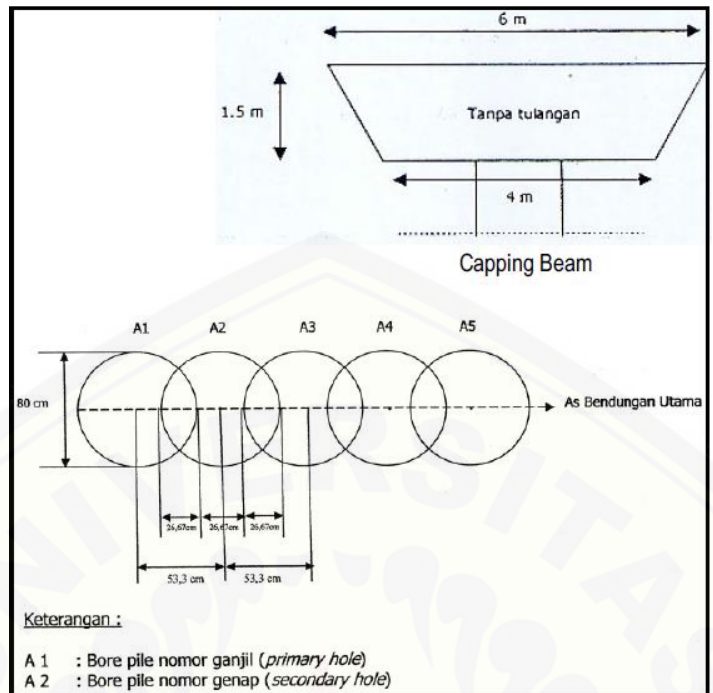


Gambar 2.15 Pengujian *triaxial* beton plastis

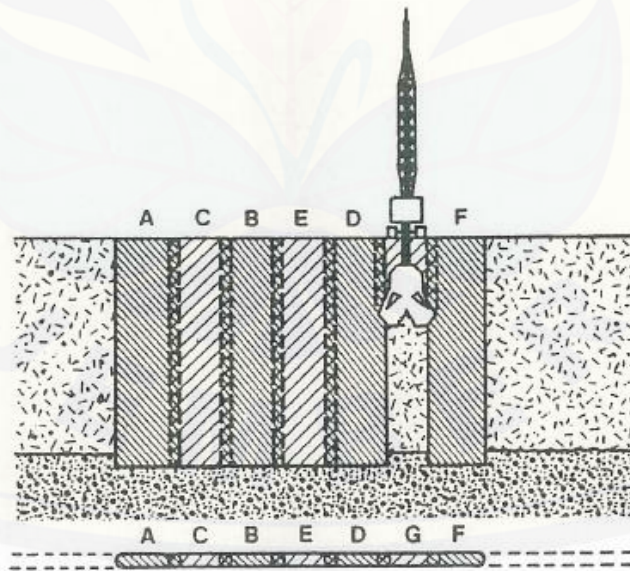
Sumber : ICOLD buletin 51, 1985

### 2.3.5 Perancangan Beton Plastis

Perencanaan dinding halang beton plastis menggunakan dimensi yang disesuaikan dengan mata bor yang ada pada alat penggali. Pada umumnya penggunaan dimensi pada dinding halang menggunakan diameter  $\varnothing 76$  cm. Penggunaan dinding halang direncanakan saling beririsan satu sama lain agar antara sambungan satu sama lain dipastikan tidak ada celah yang dapat menimbulkan adanya ruang untuk lolosnya air. Berdasarkan Pedoman Pembuatan Dinding Halang pada Bendungan Urugan (2005) penggalian lubang yang saling beririsan umumnya membuang sekitar 10 sampai 15 cm beton pada bagian ujung-ujung panel primer, setelah kedua sisi panel primer terbuka, kemudian dilakukan pengecoran panel sekunder dan sambungan diantara panel primer dan panel sekunder akan terisi oleh beton. Irisan pengeboran beton sebagai dinding halang diilustrasikan pada gambar berikut:



Gambar 2.16 Lay out penerapan dinding halang  
 Sumber : KNI-BB INACOLD buletin edisi november, 2008



Gambar 2.17 Teknik Pengeboran  
 Sumber : ICOLD buletin 51, 1985

dimana: lubang A, B, D, dan F adalah lubang primer serta lubang C, E, dan G adalah lubang sekunder).



## 2.4 Daya Dukung Batuan Pondasi

Kapasitas dukung ultimit (*ultimate bearing capacity*) atau disimbolkan  $Q_u$  didefinisikan sebagai beban maksimum persatuan luas dimana tanah masih dapat mendukung beban dengan tanpa mengalami keruntuhan (Hardiyatmo, 2002). Menurut M. Das (1993), tanah yang mendukung pondasi dengan berbagai bentuk akan mengalami kenaikan tegangan. Kenaikan tegangan diakibatkan oleh beban persatuan luas pada pondasi berada. Guna menanggulangi penurunan akibat pembebanan yang mengakibatkan keruntuhan lapisan tanah, dapat diperkirakan dengan menghitung tegangan vertikal yang terjadi pada tanah.

Tegangan vertikal yang terjadi pada pondasi bendungan dapat dihitung menggunakan metode Osterberg dalam Hardiyatmo, 2002. Tegangan vertikal dihitung dengan rumus berikut:

$$\sigma_z = (i_1 + i_2) q \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana:

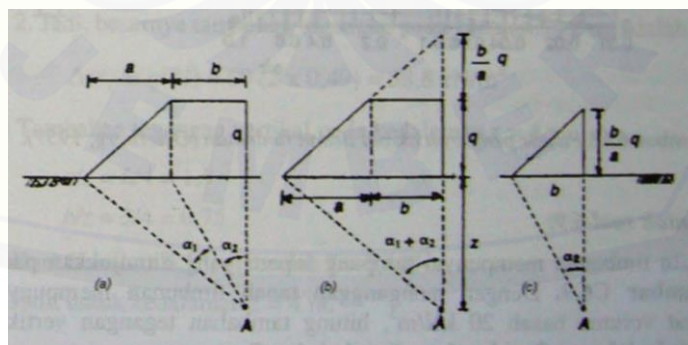
$\sigma_z$  = Tegangan vertikal yang terjadi pada kedalaman  $z$  ( $\text{kN/m}^2$ )

$i$  = Faktor pengaruh (tanpa dimensi)

$$\frac{1}{\pi} \left[ \left( \frac{a+b}{a} \right) (\alpha_1 + \alpha_2) - \frac{b}{a} \alpha_2 \right] \dots\dots\dots(2.2)$$

$q$  = Beban tubuh bendungan ( $\text{kN/m}^2$ )

berikut merupakan penjelasan parameter  $a$ ,  $b$ ,  $z$ ,  $\alpha_1$ , serta  $\alpha_2$  dijelaskan dalam gambar 2.18 berikut.



Gambar 2.18 Tegangan vertikal beban timbunan

Sumber : Hardiyatmo, 2002

Sedangkan perhitungan beban timbunan yang diperoleh dari material tubuh bendungan dengan rumus:

$$q = H \times \gamma_{\text{sat}} \dots \dots \dots (2.3)$$

dengan:

$H$  = Tinggi bendungan (m)

$\gamma_{\text{sat}}$  = Berat material terbesar dalam keadaan jenuh ( $\text{kN/m}^2$ )

Sedangkan  $\alpha_1$  serta  $\alpha_2$  diperoleh dengan persamaan berikut:

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 \text{ atau dapat digunakan} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$= \tan \frac{a+b}{z} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$\alpha_1 = \tan \frac{a}{z} \dots \dots \dots (2.6)$$

Berdasarkan persamaan 2.4,  $\alpha_2$  diperoleh dari pengurangan persamaan 2.6 dan 2.4

$$\alpha_2 = \alpha - \alpha_1 \dots \dots \dots (2.7)$$

dengan:

$\alpha_1$  = Sudut pengaruh kedalaman berdasarkan panjang a (radian)

$\alpha_2$  = Sudut pengaruh kedalaman berdasarkan panjang b (radian)

a = Panjang lengan pada bidang datar tubuh bendungan (m)

b = Panjang lengan pada bidang miring tubuh bendungan (m)

z = Kedalaman tegangan vertikal pada pondasi (m)

Kapasitas dukung ultimit (*ultimate bearing capacity*) pada lapisan tanah pondasi bendungan diperoleh dari hasil klasifikasi batuan yang dikeluarkan oleh Tanaka dan CRIEPI sebagai tabel berikut.

Tabel 2.4 Klasifikasi batuan Tanaka dan CRIEPI

Kategori	Karakteristik
A	Batuan sangat segar, tanpa pelapukan atau tidak nampak adanya perubahan pada mineralnya. Rekahan dan kekar-kekar yang tertutup rapat dan bidangnya tidak mengalami pelapukan. Pada waktu "hammering" suaranya metalik (nyaring).
B	Batuan sangat keras, retakan dan kekar tertutup rapat (walaupun hanya 1 mm). Namun sebagian telah mengalami

	<p>pelapukan ringan, juga perubahan dalam mineral-mineralnya. Suaranya pada waktu "<i>hammering</i>" metalik (nyaring).</p>
H	<p>Relatif keras walaupun mineral-mineral dan partikelnya mengalami pelapukan, kecuali mineral kwarsa. Pada umumnya secara kimiawi mengandung limonit, dan lain-lain. Kuat tarik pada bidang kekar dan retakan sedikit berkurang. Pecahan-pecahan batu dapat dijumpai pada bidang kekar sewaktu "<i>hammering</i>" dan material lempung kadang-kadang nampak pada permukaannya. Suara yang ditimbulkan pada saat "<i>hammering</i>" adalah sedikit gedug (dull).</p>
C M	<p>Baik batuan, mineral-mineral dan partikel-partikelnya, kecuali mineral kwarsa sedikit melunak akibat pelapukan. Kuat tarik pada bidang-bidang kekar sedikit berkurang. Dengan pukulan biasa sewaktu "<i>hammering</i>" menimbulkan pecahan-pecahan batu pada bidang-bidang kekar. Material lempung nampak pada bidang-bidang kekar. Suaran yang timbul sewaktu "<i>hammering</i>" sedikit gedug (dull).</p>
L	<p>Batuan, mineral-mineral dan partikel-partikel melunak. Kuat tarik pada kekar berkurang. Pecahan-pecahan batu timbul pada bidang-bidang kekar walaupun hanya sedikit pukulan ringan sewaktu "<i>hammering</i>", juga material lempung dijumpai pada bidang-bidang kekar. Sewaktu dipukul suaranya gedug (dull).</p>
D	<p>Batuan, mineral-mineral dan partikel-partikel lunak karena lapuk. Tidak ada kuat tarik diantara bidang-bidang kekar. Batuan mudah pecah apabila dipukul dengan palu sedikit saja serta dijumpai material lempung pada bidang-bidang kekar. Suaranya sewaktu dipalu "<i>hammering</i>" adalah gedug (dull).</p>

Dari hasil klasifikasi batuan kemudian dikorelasikan dengan *estimated physico – mechanical property of each rock class* guna memperoleh nilai  $Q_u$  (*ultimate bearing capacity*). Berikut merupakan tabel *estimated physico – mechanical property of each rock class* yang dikeluarkan oleh Dr. K. Kikuchi, Mr. K. Saito dan Mr. K. Kusuniko.

Tabel 2.5 *Estimated physico – mechanical property of each rock class*

Kategori	Modulus Deformasi (kgf/cm <sup>2</sup> )	Modulus Elastisitas (kgf/cm <sup>2</sup> )	Kuat Geser		$Q_u$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
			Kohesi (kgf/cm <sup>2</sup> )	Sudut Geser (°)	
CH	20000	60000	20	45	> 500
CM	8000	24000	10	35	100 - 500
CL	4000	12000	8	30	40 - 100
D	2000	6000	5	28	20 - 40

Sumber: KNI-BB INACOLD buletin edisi januari, 2013

## 2.5 Kedalaman Dinding Halang

Perencanaan dinding halang *plastic concrete cut-off wall* harus dipasang menembus lapisan lolos air sampai masuk ke dalam lapisan kedap air. Kondisi tersebut, dimaksudkan agar dinding halang dapat memotong semua zona lolos air sehingga upaya pengendalian rembesan berfungsi efektif (Pedoman Pembuatan Dinding Halang pada Bendungan Urugan, 2005).

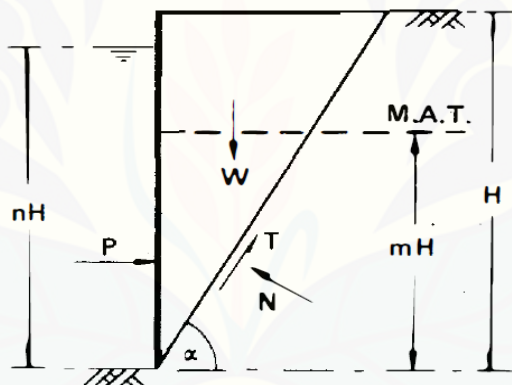
Sedangkan parameter lapisan kedap air mengacu klasifikasi Sosrodarsono, 1977. Dalam bukunya berjudul “Bendungan Type Urugan” mengklasifikasikan kelompok bahan tanah berdasarkan angka koefisien filtrasi. Adapun klasifikasi tersebut dituangkan dalam butir-butir berikut:

1. Lapisan tanah air (*permeable*) apabila nilai permeabilitas  $K > 1 \times 10^{-4}$  cm/dt.
2. Lapisan tanah semi lulus air (*semi-permeable*) apabila nilai permeabilitas  $K = 1 \times 10^{-4}$  cm/dt.
3. Lapisan tanah kedap air (*impermeable*) apabila nilai permeabilitas  $K < 1 \times 10^{-4}$  cm/dt.

## 2.1 Stabilitas Lubang Pengeboran

Guna menanggulangi bahaya kelongsoran akibat lubang pengeboran untuk pembuatan dinding halang. Sehingga dituangkan campuran larutan bentonit untuk menstabilkan lubang galian. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh campuran larutan bentonit yang dituangkan kedalam lubang, maka perlu dilakukan analisis stabilitas lubang galian.

Dalam analisis ini Craig (1989), mengasumsikan tekanan hidrostatik dari campuran bekerja sepenuhnya pada sisi-sisi parit atau galian, dimana bentonit akan membentuk suatu lapisan tipis serta tidak lolos air pada permukaan tanah. Sehingga menghalangi masuknya muka air tanah ke dalam parit atau lubang galian agar lubang menjadi stabil dari bahaya kelongsoran. Berikut merupakan gambaran stabilitas lubang dapat dilihat pada gambar 2.17 berikut.



Gambar 2.19 Stabilitas lubang galian

Sumber : Craig, 1989

Berikut merupakan persamaan stabilitas lubang dihitung dengan rumus:

(Craig, 1989)

$$P = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{\text{bentonite}} \cdot (nH)^2 \dots \dots \dots (2.8)$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{\text{soil}} \cdot H^2 \cdot \cos \alpha \dots \dots \dots (2.9)$$

$$U = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot (mH)^2 \cdot \text{cosec } \alpha \text{ (tekanan air tanah)} \dots \dots \dots (2.10)$$

dimana :

$nH$  = Kedalaman campuran bentonite (m)

$mH$  = Muka air tanah (m)

$$\begin{aligned}
 H &= \text{Kealaman parit atau galian (H)} \\
 \gamma_s &= \text{Berat jenis campuran (Kg/cm}^3\text{)} \\
 \gamma &= \text{Berat jenis air (Kg/cm}^3\text{)} \\
 \gamma_{\text{bentonite}} &= \text{Berat jenis bentonite (Kg/cm}^3\text{)} \\
 N \ \& \ T &= \text{Gaya resultan bidang runtuh} \\
 \alpha &= 45 + \frac{\varphi}{2} \dots\dots\dots(2.11)
 \end{aligned}$$

## 2.6 Rembesan

Desain bendungan tipe urugan harus mempertimbangkan faktor keamanan terhadap pengaruh rembesan. Terjadinya keruntuhan bendungan urugan di dunia, 38 % disebabkan oleh pengaruh rembesan (SNI 8065:2016).

Rembesan pada bendungan tipe urugan merupakan kejadian yang tidak dapat dihindarkan, akan tetapi rembesan yang berlebihan berpotensi membahayakan bendungan. Rembesan yang berlebihan akan menyebabkan terjadinya erosi buluh (*piping*) yang semakin lama semakin meluas, sehingga akan menyebabkan kelongsoran atau keruntuhan. Sehingga agar rembesan tidak menyebabkan keruntuhan pada bendungan, maka rembesan harus di kontrol berdasarkan kegagalan hidraulik serta kegagalan terhadap dibit rembesan. (Pedoman Pengendalian Rembesan Pada Bendungan Urugan, 2005).

Dalam hal ini SNI 8065:2016 telah mengatur metode yang digunakan untuk analisis rembesan air. Adapun metode tersebut dijelaskan dalam tabel berikut:

Tabel 2.6 Metode analisis rembesan air

No	Situasi	Penyelidikan Tipikal	Metode Dianjurkan
1	Urugan homogen dengan pondasi kedap air, aliran langgeng 2D	Garis freatik, tekanan air pori, gaya perembesan air (stabilitas)	Grafis atau garis freatik
2	Urugan zonal dengan pondasi kedap air, aliran langgeng 2D	Garis freatik, tekanan air pori, gaya perembesan air (stabilitas)	Jaring alir atau model numerik (SEEP2D, PLAXIS, PC-SEEP, SEEP/W)

3	Urugan homogen dengan pondasi porus yang seragam, aliran langgeng 2D	1. Garis freatik, tekanan air pori, gaya perembesan air (stabilitas) 2. Gradien keluaran dan debit rembesan 3. Alternatif sistem pengendalian dan variasi parameter material	Jaring alir atau model numerik ( <i>SEEP2D</i> , <i>PLAXIS</i> , <i>PC-SEEP</i> , <i>SEEP/W</i> )
4	Urugan zonal dengan pondasi porus, aliran langgeng 2D	1. Garis freatik, tekanan air pori, gaya perembesan air (stabilitas) 2. Gradien keluaran dan debit rembesan 3. Alternatif sistem pengendalian dan variasi parameter material	Model numerik ( <i>SEEP2D</i> , <i>PC-SEEP</i> , <i>SEEP/W</i> )
5	Aliran transien 2D, kondisi batas tetap	Proses penjenahan dan waktu sampai terjadi aliran tetap	Model numerik ( <i>PC-SEEP</i> , <i>SEEP/W</i> )
6	Situasi termasuk aliran 2D tidak langgeng, jenuh - tidak jenuh, urugan zonal dan homogen, pondasi heterogen, kondisi batas transien	Pengisian pertama, operasi waduk, perubahan kadar air dan tekanan air pori, pengaruh presipitasi dan evaporasi	Model numerik ( <i>PC-SEEP</i> , <i>SEEP/W</i> )

Sumber: SNI 8065: 2016

Dengan anjuran tersebut, maka dalam penelitian ini digunakan metode numerik menggunakan *SEEP/W* serta penyelidikan yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. Debit rembesan

Mengacu Pedoman *Grouting* Bendungan (2005), besarnya angka kebocoran yang diizinkan adalah sebagai berikut:

- 1) Banyaknya total rembesan dari waduk yang melewati pondasi dan tubuh bendungan yang terukur tidak boleh lebih dari 0,05 % dari kapasitas tampungan rerata harian bendungan.
- 2) Banyaknya total rembesan dari waduk yang melewati pondasi dan tubuh bendungan yang terukur tidak boleh lebih dari 1 % dari rerata debit sungai yang masuk ke dalam bendungan.

b. Gradien Hidraulik

Gradien hidraulik merupakan perbandingan tinggi potensi hidraulik antara dua titik dibagi jaraknya dalam media tanpa aliran dimensi. Bila gradien keluaran tercatat melampaui batas, maka butiran-butiran tanah akan mengapung dan terlepas dari ikatannya. Sehingga lepasnya butiran tanah dari ikatannya akan menyebabkan timbulnya bahaya *piping* dan boiling. SNI 8065: 2016 mengatur besarnya gradien hidraulik sebagai berikut:

$$FK_{\text{piping}} = \frac{i_{cr}}{i_{cal}} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$i_{cr} = \frac{(Gs-1)}{(1+e)} \dots\dots\dots(2.13)$$

dengan :

$FK_{\text{piping}}$  = Faktor keamanan terhadap piping

$i_{cal}$  = Gradien keluaran hasil analisis rembesan

$i_{cr}$  = Gradien keluaran kritis

$G_s$  = Berat jenis material (*specific gravity*)

$e$  = Angka porositas

Nilai faktor keamanan minimum diambil sebesar lebih dari 4 ( $FK \geq 4$ ), hal ini guna mencegah terjadinya keruntuhan akibat hal-hal yang tidak diperhitungkan dalam tahap desain.

Dalam Pedoman Pengendalian Rembesan Pada Bendungan Urugan (2005), mengatur angka keamanan untuk bendungan yang dilengkapi filter pelindung harus diambil paling tidak lebih dari 2 ( $FK \geq 2$ ) dengan ketentuan diatur menggunakan kecepatan kritis ( $V_c$ ) menggunakan rumus Justin. Akan menimbulkan terjadinya aliran filtrasi apabila kecepatan rembesan ( $V_s > V_c$ ) Hardiyatmo, 2002. Berikut merupakan rumus Justin untuk menghitung kecepatan kritis (Soedibyo, 2003) :

$$V_c = \frac{\sqrt{W1 \times g}}{F \times \gamma_w} \dots\dots\dots(2.14)$$

Sedangkan untuk mencari nilai  $W1$  (Berat efektif) digunakan persamaan dari Hardiyatmo (2002) berikut:

$$W = \frac{(Gs-1)}{(1+e)} \gamma_w \dots\dots\dots(2.15)$$



$$V_{\text{butiran}} = \frac{1}{6} \pi d^3 \dots\dots\dots(2.16)$$

Sehingga didapat  $W1$  diperoleh dari persamaan 2.15 dikalikan persamaan 2.16

$$W1 = \frac{(Gs-1)}{(1+e)} \gamma_w \frac{1}{6} \pi d^3 \dots\dots\dots(2.17)$$

dengan :

$V_c$  = Kecepatan kritis (m/s)

$V_s$  = Kecepatan keluaran hasil analisis rembesan (m/s)

$G_s$  = Berat jenis material (*specific gravity*)

$e$  = Angka porositas

$W1$  = Berat butiran dalam air (kN)

$V_{\text{butiran}}$  = Volume butiran ( $m^3$ )

$W$  = Berat butiran mengapung ( $kN/m^3$ )

$V_{\text{butiran}}$  = Volume butiran ( $m^3$ )

$g$  = Gravitasi

$\gamma_w$  = Berat volume air ( $kN/m^3$ )

## 2.7 Deformasi

Seusai konstruksi tubuh bendungan selesai, proses konsolidasi masih berlangsung untuk beberapa waktu yang lama akibat dari proses alam. Penurunan pada tubuh bendungan yang disebabkan oleh proses konsolidasi biasanya berkisar 1 % dari tingginya (Sosrodarsono, 1977). Sehingga perlu dilakukan penimbunan ekstra agar penurunan yang terjadi mencapai elevasi yang direncanakan. Apabila proses konsolidasi melebihi yang diperkirakan akan membahayakan bendungan dari tinggi ambang jagaan. Sehingga menimbulkan bahaya limpasan air yang melewati tubuh bendungan.

Sedangkan konsolidasi pada pondasi bendungan, besarnya mengacu dari beban tubuh bendungan sendiri. Apabila beban dari tubuh bendungan berlebih, akan terjadi proses konsolidasi yang melampaui batas (*over – consolidation*).

Dalam penelitian ini, untuk mempermudah mengetahui besarnya penurunan yang terjadi digunakan metode numerik dengan program bantu

*SIGMA/W*. Sedangkan guna mengetahui waktu penurunan, digunakan metode matematis dengan persamaan dari Terzaghi sebagai berikut:

$$t = \frac{T_v \times H_{dr}^2}{C_v} \dots\dots\dots(2.18)$$

dengan:

$t$  = Waktu konsolidasi (dtk)

$T_v$  = Faktor waktu

$C_v$  = Koefisien konsolidasi ( $\text{cm}^2/\text{dtk}$ )

$H_{dr}$  = Panjang aliran terpanjang

Besarnya waktu konsolidasi diperoleh dari tabel berikut:

Tabel 2.7 Faktor waktu derajat konsolidasi

Derajat Konsolidasi U%	Faktor Waktu $T_v$
0	0
10	0,008
20	0,031
30	0,071
50	0,126
50	0,197
60	0,287
70	0,403
80	0,567
90	0,848
100	-

Sumber: M. Das, 1995

## 2.8 Tinggi Jagaan

Tinggi jagaan merupakan jarak vertikal elevasi puncak bendungan sampai elevasi muka air maksimum waduk, dari hasil perhitungan banjir rencana pada pelimpah. Tinggi jagaan harus mencegah terjadinya pelimpasan air melewati tubuh bendungan (*overtopping*). Tinggi jagaan harus mempertimbangkan terhadap gelombang air waduk dan penurunan tubuh serta pondasi bendungan (SNI 8062:2015).

Dalam hal ini SNI 8062:2015, mengatur tinggi jagaan secara umum untuk bentungan tipe urugan dalam tabel berikut.

Tabel 2.8 Tinggi jagaan dan lebar bendungan

Tinggi bendungan (m)	Jarak minimum elevasi air normal dan puncak bendungan (m)	Lebar puncak bendungan (m)
< 30	3,5	7,5
30 - 60	4,5	9
61 - 90	6	10,5
> 91	6	12

Sumber: SNI 8062:2015

## 2.9 Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng dalam penelitian ini dilakukan guna menyelidiki lokasi penempatan *plastic concrete cut off wall* aman terhadap kelongsoran (tidak terpotong oleh bidang longsor). Pada dasarnya Mohr – Coulomb dalam M. Das (1993), menyatakan keruntuhan geser (keruntuhan akibat geser) terjadi apabila tegangan geser pada suatu bidang melebihi syarat batas yang dirumuskan.

Guna mengetahui *plastic concrete cut off wall* aman terhadap bahaya kemungkinan terpotong oleh bidang longsor maka, digunakan metode numerik dengan program bantu *SLOPE/W*. Dengan program bantu *SLOPE/W* dapat diketahui bidang longsor dengan nilai *safety factor* terkritis pada lereng bendungan.

Dalam hal ini Pedoman Kriteria Umum Desain Bendungan (2003), mengatur besaran nilai *safety factor* untuk stabilitas lereng bendungan sebagai tabel 2.9 berikut:

Tabel 2.9 Faktor keamanan minimum

No	Kondisi	Kuat Geser	Tekanan Air Pori	FK Tanpa Gempa	FK Dengan Gempa
1	Selesai pembangunan tergantung: 1. Jadwal pembangunan.	1. Efektif	Peningkatan tekanan air pori pada timbunan dan	1,3	1,2

	2. Hubungan antara tekanan air pori dan waktu lereng hulu dan hilir.		pondasi dihitung menggunakan data laboratorium dan pengawasan instrumen.		
	Dengan gempa tanpakerusakan digunakan 50% koefisien gempa desain		Idem hanya tanpa pengawasan instrumen	1,4	1,2
			Hanya pada timbunan tanpa data laboratorium dan dengan/tanpa pengawasan instrumen	1,3	1,2
		2. Total	Tanpa instrumen	1,3	1,2
2	Rembesan tetap tergantung: 1. Elevasi muka air normal sebelah hulu. 2. Elevasi hulu dan hilir. Dengan gempa tanpa kerusakan digunakan 100% koefisien gempa desain.	1. Efektif	Dari analisis rembesan	1,5	1,2
3	Rembesan waduk tergantung: 1. Elevasi muka air maksimum di hulu.  2. Elevasi muka air minimum di hulu (dead storage).  Lereng hulu harus dianalisis untuk konsisi surut cepat	1. Efektif	Surut cepat dan elevasi muka air normal sampai elevasi muka air maksimum. Lereng hulu dan hilir	1,3	1,1
			Surut cepat dan elevasi muka air maksimum sampai elevasi muka air minimum. Pengaruh gempa diambil 0% dari koefisien gempa	1,3	-
4	Luar biasa tergantung: 1. Pembuntutan pada sistem drainase. 2. Surut cepat karena penggunaan air melebihi kebutuhan. 3. Surut cepat pada kondisi gawat darurat.	1. Efektif	Surut cepat dari elevasi muka air maksimum sampai elevasi terendah bangunan pengeluaran. Pengaruh gempa diabaikan	1,2	-

Sumber: Pedoman Kriteria Umum Desain Bendungan, 2003

## 2.10 Geostudio

*Geostudio* merupakan program bantu komputer yang dikembangkan oleh *Geoslope International Ltd.* *Geostudio* mempunyai kemampuan untuk mendesain, analisis, serta pengambilan keputusan. Adapun kemampuan yang bisa dilakukan meliputi: pemodelan bendungan dan tanggul, dinding dan lereng bertulang, penggalian serta tambang terbuka, jalan dan jembatan, air tanah, pembekuan tanah, deformasi, kegempaan, serta hidrologi zona *vadose* ([geoslope.com](http://geoslope.com)). Produk di dalam *geostudio* meliputi: *SLOPE/W*, *SEEP/W* + *SEEP3D*, *SIGMA/W*, *QUAKE/W*, *TEMP/W*, *AIR/W*, *CTAN/W*, serta *BUILD3D*.

Dalam penelitian ini digunakan *Geo-Studio international version 8.15.1.11236* tahun keluaran 2015. Adapun penggunaan produk *geostudio* guna membantu penelitian ini adalah sebagai berikut:

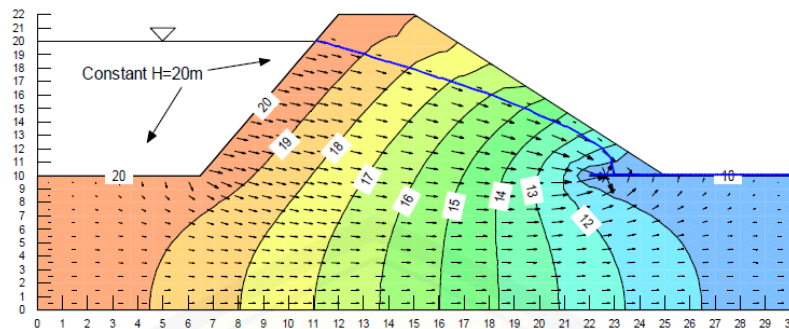
### 2.10.1 Geostudio SEEP/W 2012

*SEEP/W* merupakan produk *Geostudio* yang diperuntukan untuk pemodelan bendungan serta tanggul dengan analisis rembesan dan aliran air tanah. Hasil keluaran dari *SEEP/W* membantu guna mengetahui pola *flow nets*, *seepage force*, dan *exit gradients*. Berdasarkan *Seepage Modeling with SEEP/W* (2012), terdapat fitur yang dapat digunakan dalam *SEEP/W* yaitu:

1. *Steady state*
2. *Transient*
3. *Time stepping – temporal integration*
4. *Stage / Multiple analyses*
5. *Axisymmetric*
6. *Plan view*

Sedangkan jenis-jenis model material yang dapat digunakan meliputi:

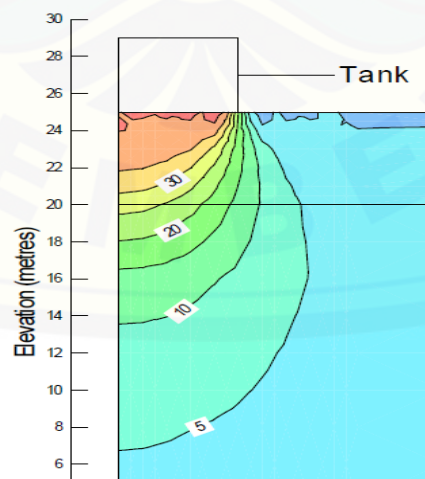
1. *None*
2. *Saturated / Unsaturated model*
3. *Saturated only model*
4. *Interface model*

Gambar 2.20 *SEEP/W* 2012Sumber : Seepage modeling with *SEEP/W*, 2012

### 2.10.2 Geostudio *SIGMA/W*

*SIGMA/W* merupakan produk *Geostudio* yang diperuntukan untuk pemodelan deformasi, tekanan air pori, serta konsolidasi akibat suatu pembebanan. Adapun fitur-fitur analisis yang dapat digunakan dalam *SIGMA/W* meliputi:

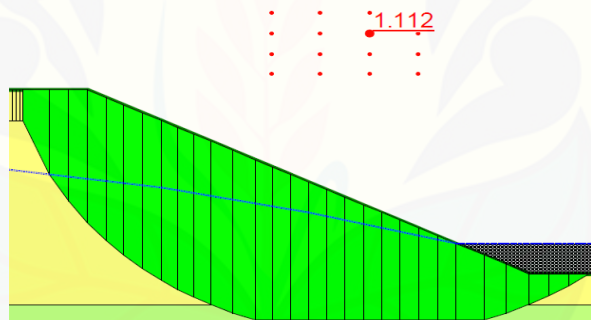
1. *Initial in-situ stresses*
2. *Load / Deformation analysis*
3. *Dynamic deformation analysis*
4. *Stress redistributin*
5. *Stage / Multiple analyses*

Gambar 2.21 *SIGMA/W* 2012Sumber : Stress-deformation modeling with *SIGMA/W*, 2012

### 2.10.3 Geostudio SLOPE/W

*SLOPE/W* merupakan produk *Geostudio* yang diperuntukan untuk membantu analisis stabilitas lereng berbasis *limit equilibrium*. Adapun fitur metode yang dapat digunakan dalam *SLOPE/W* untuk memodelkan lereng meliputi:

1. *Ordinary / Fellenius method*
2. *Bishop's simplified method*
3. *Janbu's simplified method*
4. *Spencer method*
5. *Morgenstern method*
6. *Corps of engineering method*
7. *Lowe-Karafiath method*
8. *Sarma method*



Gambar 2.22 *SLOPE/W* 2012

Sumber : Stability modeling with *SLOPE/W*, 2012

### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian merupakan bagian yang sangat penting dalam rangkaian penelitian. Dalam bagian ini, membahas bagaimana proses penelitian dilakukan dari bagaimana memperoleh data, pengolahan data, melakukan analisis permasalahan, perhitungan analisis, dan hasilnya disajikan dalam bentuk informasi. Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana metode penelitian dalam menguraikan perencanaan *plastic concrete cut off wall* pada Bendungan Semantok yang berada pada Kabupaten Nganjuk, Jawa Timur.

#### 3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Bendungan Semantok, Kabupaten Nganjuk, Jawa Timur. Bendungan Semantok sendiri tepatnya berada pada Desa Sambi Kerep, Kecamatan Rejoso, Kabupaten Nganjuk, Jawa Timur kurang lebih 18 km dari kota Nganjuk kearah utara melalui jalan provinsi menuju Kabupaten Bojonegoro. Lokasi as Bendungan Semantok yang membentang sepanjang 3.005 m berada kurang lebih 100 m di hilir pertemuan Sungai Semantok dan Sungai Sangon.



Gambar 3.1 Lokasi proyek Bendungan Semantok  
(Sumber : Laporan Studi Pemantapan Proyek Bendungan Semantok, 2018)



### 3.2 Pengumpulan Data

Penelitian perencanaan *plastic concrete cut off wall* menggunakan data sekunder. Data sekunder diperoleh dari hasil investigasi lapangan, pengujian laboratorium, serta parameter desain oleh PT. Virama Karya selaku konsultan supervisi, PT. Caturbina Guna Persada (JO), PT. Arga Pasca Rencana – PT. Wecon selaku konsultan supervisi, PT. Utama Karya – PT. Bahagia Bangunnusa (KSO) selaku kontraktor paket 2. Adapun data yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi :

1. Investigasi geologi  
Data investigasi geologi meliputi data stratigrafi, data geolistrik, serta hasil pekerjaan *grouting*.
2. Investigasi tanah dan mekanika tanah  
Data investigasi tanah meliputi data borlog, pengujian laboratorium dari sampel lokasi pondasi bendungan serta material tubuh bendungan.
3. Desain gambar tubuh bendungan
4. Data pengujian beton plastis

### 3.3 Metode Analisis

Metode analisis dalam penelitian ini dilakukan dengan cara perhitungan manual serta perhitungan dengan program bantu *software*. Penjabaran metode analisis yang dilakukan dijelaskan dalam subbab beriku.

#### 3.3.1 Perhitungan Manual

Perhitungan manual yang digunakan pada kerangka penelitian ini meliputi:

1. Analisis data parameter pondasi dan tubuh bendungan
2. Tegangan vertikal tubuh bendungan untuk kontrol daya dukung batuan pondasi.
3. Analisis kedalaman *plastic concrete cut off wall*.
4. Stabilitas lubang pengeboran

5. Kontrol rembesan dengan parameter debit, gradien hidraulik, serta kecepatan kritis.
6. Kontrol keamanan deformasi tubuh bendungan serta *plastic concrete cut off wall*.
7. Kontrol keamanan stabilitas lereng.

### 3.3.2 Program Bantu Software

Program bantu yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan *software Geo-Studio international version 8.15.1.11236*. Penggunaan program bantu tersebut berfungsi untuk:

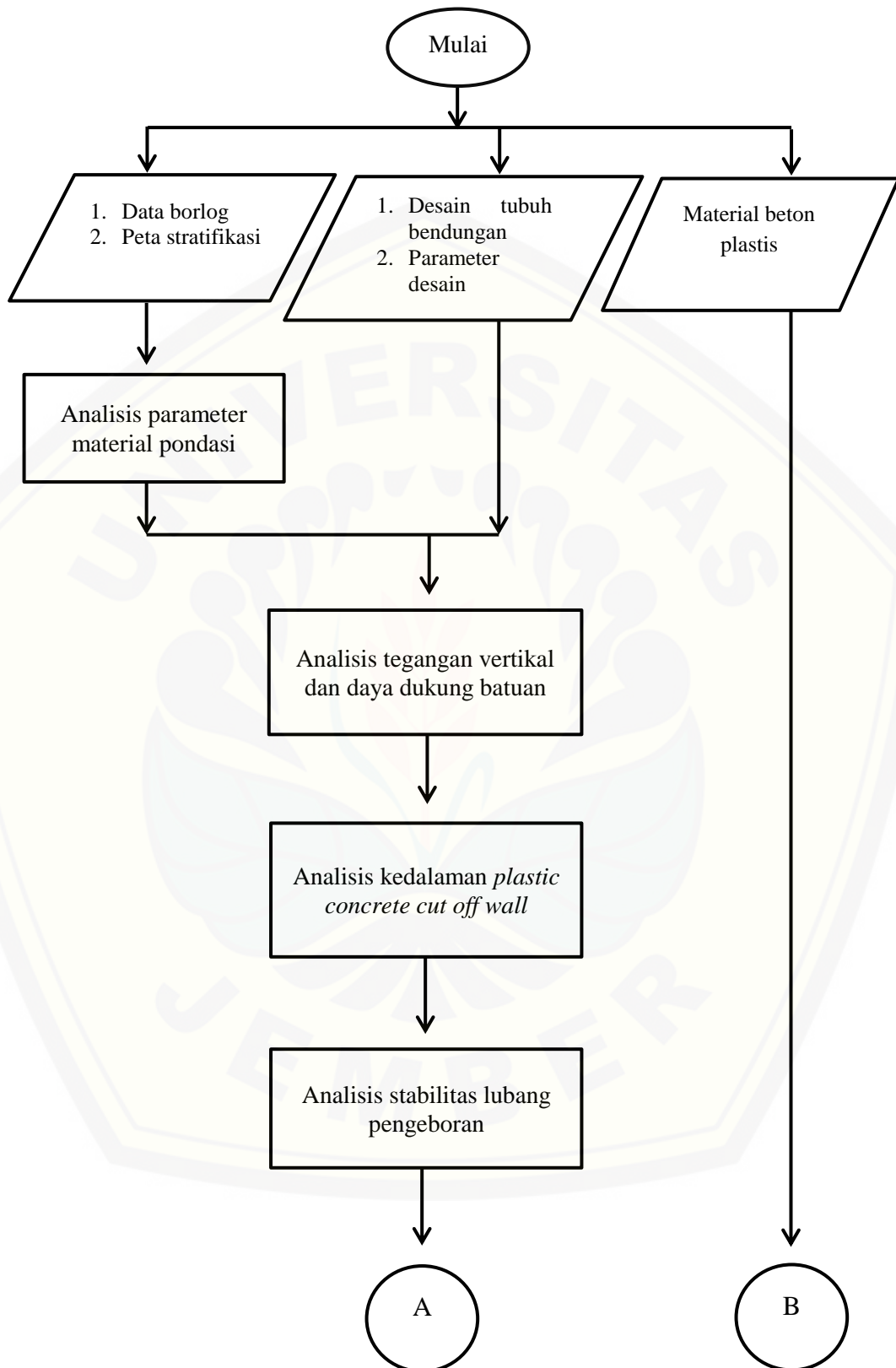
1. Pemodelan analisis rembesan menggunakan *geoseep/w* guna mengetahui hasil parameter debit, gradien hidraulik, serta kecepatan kritis.
2. Pemodelan analisis deformasi menggunakan *geosigma/w* guna mengetahui hasil parameter deformasi pada tubuh bendungan serta *plastic concrete cut off wall*.
3. Pemodelan analisis stabilitas lereng menggunakan *geoslope/w* guna mengetahui bidang longsor lereng serta nilai *safety factor*.

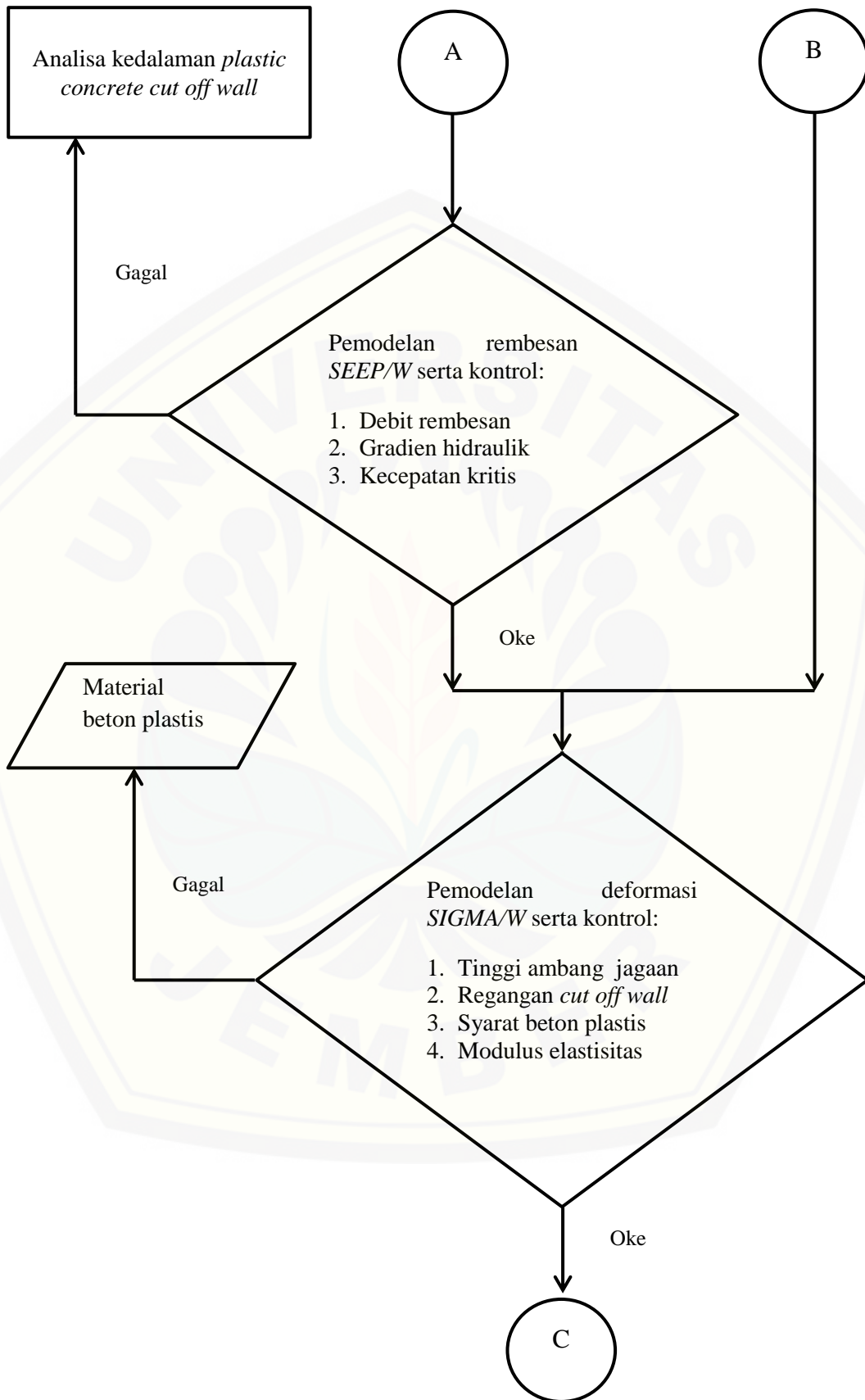
## 3.4 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian ini meliputi langkah-langkah pengerjaan mulai dari pengumpulan data, analisis pengolahan data, pemodelan menggunakan program bantu, analisa hasil, evaluasi hasil, serta kesimpulan dan saran. Langkah-langkah diatas akan disajikan dalam subbab berikut:

### 3.4.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut merupakan diagram alir perencanaan *plastic concrete cut off wall* yang disajikan dalam gambar 3.2.



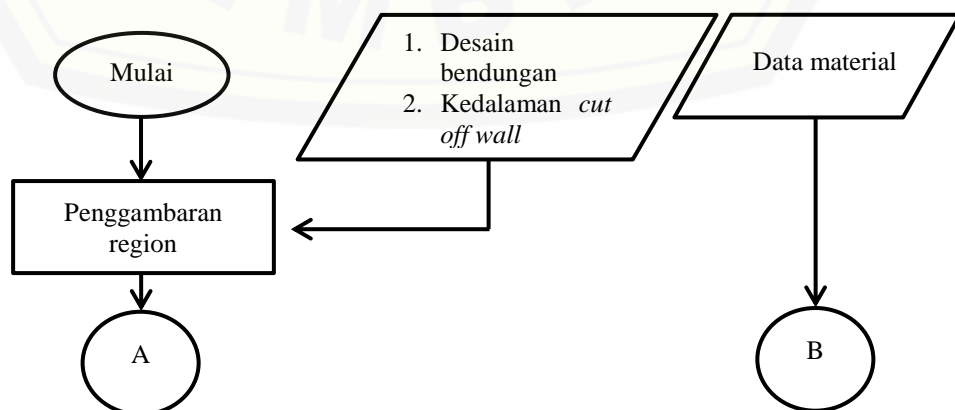


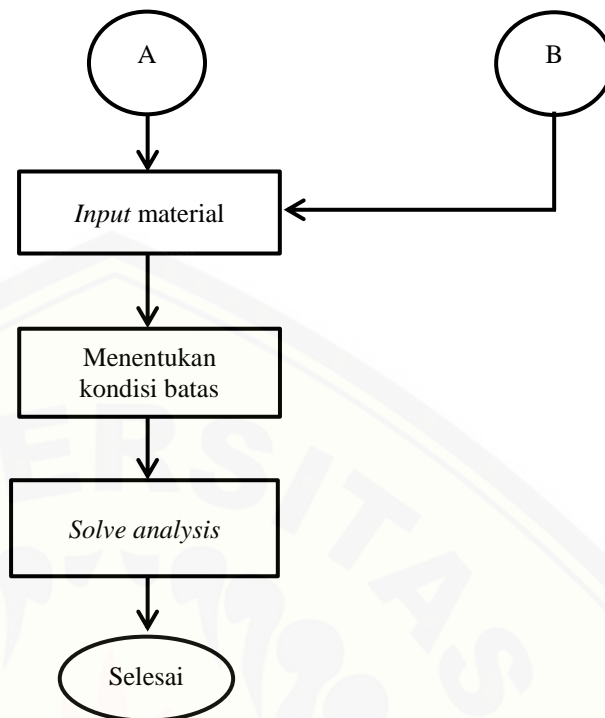


Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

#### 3.4.2 Pemodelan Geostudio *SEEP/W*

Penggunaan program bantu digunakan untuk mempermudah langkah analisis. Penggunaan program bantu *geostudio SEEP/W* ditujukan untuk memperoleh parameter analisis rembesan. Parameter yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu: debit rembesan yang terjadi pada tubuh bendungan dan pondasi, nilai gradien hidraulik, serta kecepatan kritis. Berikut merupakan diagram alir penggunaan *software geostudio SEEP/W* dapat dilihat pada gambar berikut.

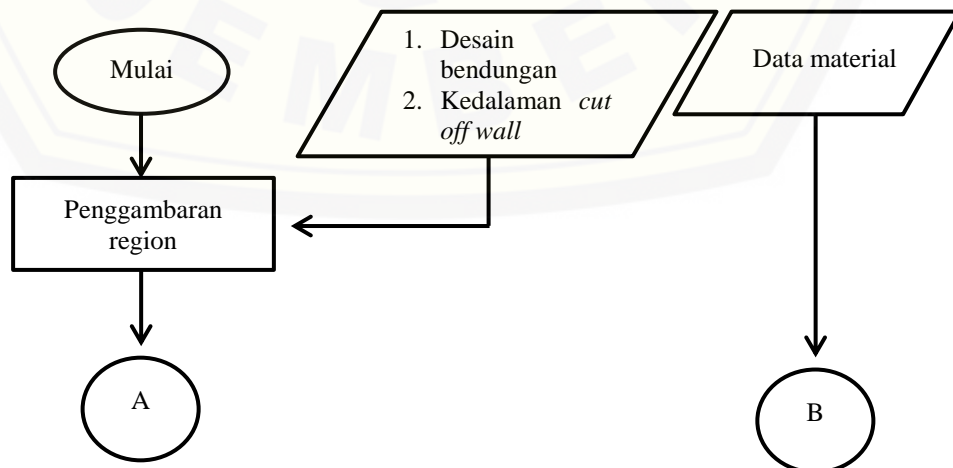


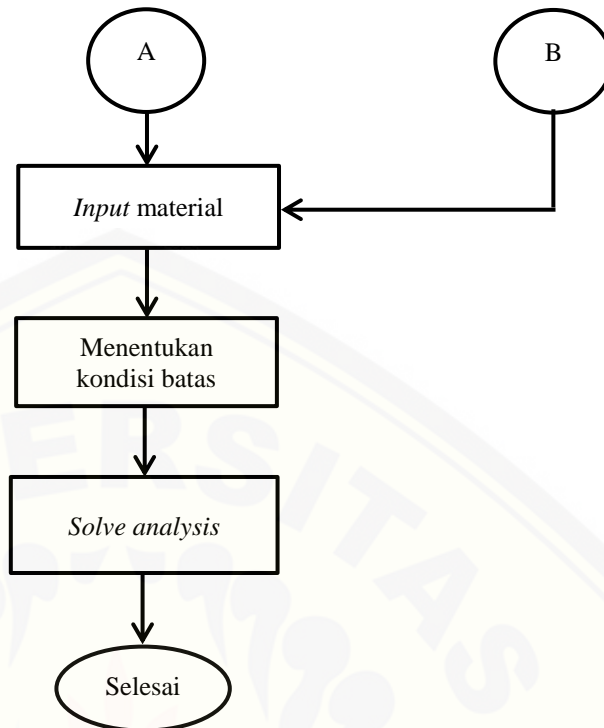


Gambar 3.3 Diagram pemodelan *geostudio seep/w*

### 3.4.3 Pemodelan Geostudio SIGMA/W

Penggunaan program bantu *geostudio SIGMA/W* ditujukan untuk memperoleh parameter analisis deformasi. Parameter yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu: besaran deformasi pada tubuh bendungan serta deformasi pada *plastic concrete cut off wall*. Berikut merupakan diagram alir penggunaan *software geostudio SIGMA/W* dapat dilihat pada gambar berikut.

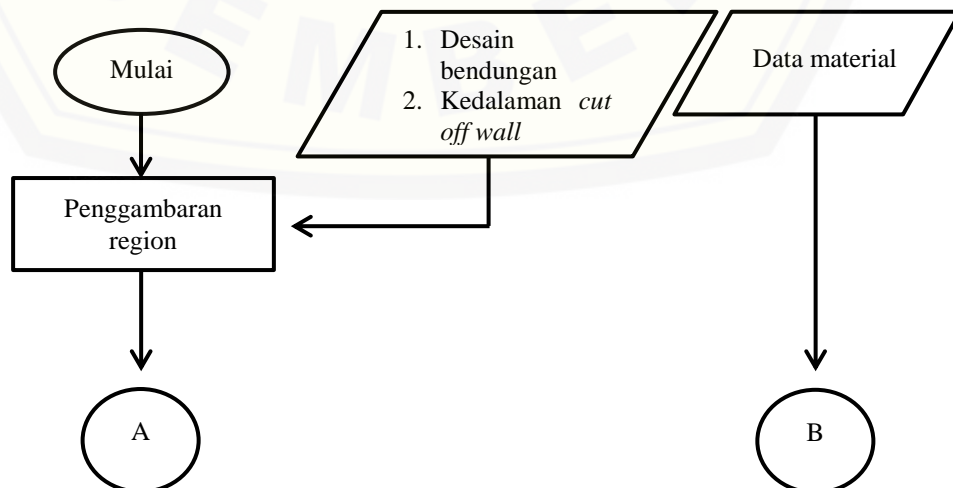


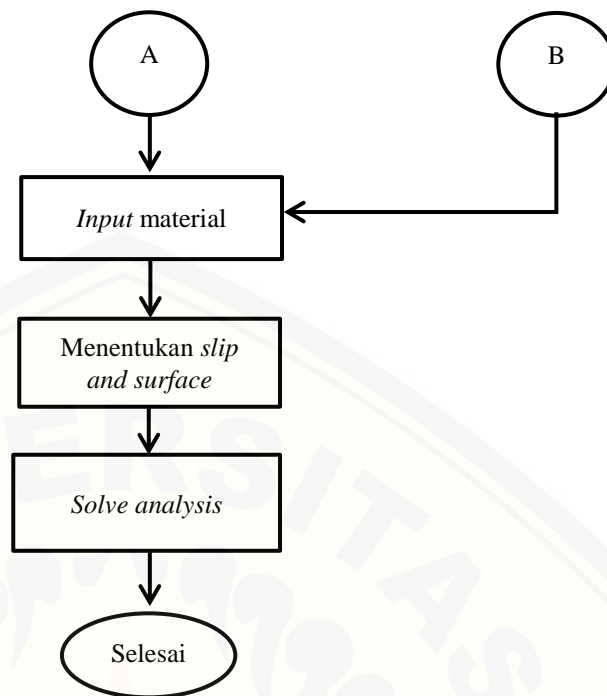


Gambar 3.4 Diagram pemodelan *geostudio sigma/w*

#### 3.4.4 Pemodelan Geostudio *SLOPE/W*

Penggunaan program bantu *geostudio SLOPE/W* ditujukan untuk memperoleh parameter analisis stabilitas lereng. Parameter yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu: nilai *safety factor* kritis serta kemungkinan terjadinya bidang longsor. Berikut merupakan diagram alir penggunaan *software geostudio SLOPE/W* dapat dilihat pada gambar berikut.





Gambar 3.5 Diagram pemodelan *geostudio slope/w*

### 3.5 Langkah – Langkah Penelitian

#### 3.5.1 Data Penelitian

Dalam penelitian ini, digunakan data sekunder dari hasil investigasi lapangan, pengujian laboratorium, serta parameter desain yang diperoleh dari pihak pelaksana pembangunan Bendungan Semantok. Berdasarkan data tersebut, kemudian dilakukan pengolahan data guna memperoleh data parameter material pondasi bendungan.

#### 3.5.2 Analisis Tegangan Vertikal Pondasi

Mengacu hasil pengolahan data parameter desain pondasi bendungan kemudian dilakukan analisis tegangan vertikal. Analisis tegangan vertikal digunakan untuk mengetahui seberapa besar tegangan yang diberikan akibat pembebanan penimbunan material tubuh bendungan. Dari besarnya nilai tegangan yang terjadi kemudian dibandingkan dengan nilai daya dukung layan dari hasil



data parameter material pondasi. Analisis dilakukan atas dasar perletakan *plastic concrete cut off wall* yang tepat di bawah tubuh bendungan. Sehingga apabila pondasi batuan sekeliling *plastic concrete cut off wall* tidak kuat menerima tegangan dari tubuh bendungan, maka *plastic concrete cut off wall* akan mengalami keruntuhan.

### 3.5.3 Analisis Kedalaman Pondasi

Analisis kedalaman pondasi dilakukan menggunakan data parameter material pondasi bendungan. Hal tersebut dikarenakan, untuk menentukan kedalaman *plastic concrete cut off wall* harus berpijak pada lapisan kedap air agar penanganan perbaikan pondasi dapat memberikan hasil yang maksimal.

### 3.5.4 Analisis Lubang Pengeboran

Analisis lubang pengeboran dilakukan untuk mengetahui stabilitas lubang setelah dilakukan pengeboran galian untuk *plastic concrete cut off wall*. Analisis ini dilakukan guna mengetahui stabilitas lubang pengeboran terhadap kelongsoran ketika lubang pengeboran diberikan larutan campuran *bentonite*. Kemungkinan terburuk ketika terjadi kelongsoran maka dalam pelaksanaan konstruksi, lubang harus dipasang *cashing* untuk menanggulangi kelongsoran.

### 3.5.5 Analisis Rembesan

Guna mengevaluasi rembesan yang terjadi, digunakan program bantu *software geostudio SEEP/W*. Evaluasi ini dilakukan berdasarkan hasil debit rembesan, gradien hidraulik, serta kecepatan aliran kritis yang diambil dari *result geostudio SEEP/W*. Dalam pemodelan *geostudio SEEP/W* dilakukan perbandingan antara sebelum dan sesudah diberikannya *plastic concrete cut off wall* dengan kondisi MAN (Muka Air Normal) serta kondisi MAB (Muka Air Banjir). Apabila hasil evaluasi yang didapatkan masih belum memenuhi maka perlu dilakukan analisis ulang terhadap kedalaman pondasi bendungan.

### 3.5.6 Analisis Deformasi

Analisis deformasi dilakukan untuk mengetahui besarnya penurunan yang terjadi pada tubuh bendungan dan *plastic concrete cut off wall*. Guna mengetahui besarnya penurunan maksimum yang terjadi maka digunakan program bantu *software geostudio SIGMA/W*.

Dari besarnya penurunan yang terjadi, kemudian dilakukan kontrol terhadap tinggi ambang jagaan akibat penurunan pada tubuh bendungan. Disamping itu, dilakukan kontrol terhadap bahaya keruntuhan pada *plastic concrete cut off wall* dengan cara membandingkan regangan akibat penurunan dan regangan izin dari hasil pengujian beton plastis.

### 3.5.7 Analisis Kelongsoran

Analisis kelongsoran dilakukan untuk memastikan keamanan perencanaan *plastic concrete cut off wall*. Hal ini disebabkan akibat dari kemungkinan bidang longsor terkritis yang terjadi pada hulu dan hilir bendungan memotong langsung *plastic concrete cut off wall*. Untuk membantu mengetahui bidang longsor yang terjadi, digunakan program bantu *software geostudio SLOPE/W*.

## 3.6 Penjadwalan

Penjadwalan dilakukan untuk mengetahui perkiraan lama pengerjaan penelitian serta sebagai acuan ketepatan dalam melakukan penelitian. Adapun rincian dari penjadwalan yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 3.1.



## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis perencanaan *plastic concrete cut off wall* pada Bendungan Semantok, dapat disimpulkan:

1. Hasil identifikasi pada Bendungan Semantok, bendungan bersandar pada pondasi dengan lapisan tanah berkonsistensi D dan CL dengan daya dukung yang memadai untuk memikul beban timbunan. Akan tetapi pada area STA 1+700 hingga STA 1+350 diketahui terdapat lapisan dengan dominasi jenis tanah pasir, pasir kerikil, serta batu pasir yang dalam serta nilai permeabilitasnya sangat besar. Kondisi tersebut membahayakan terhadap kemampuan pondasi untuk menahan rembesan.
2. Upaya perbaikan metode *plastic concrete cut off wall* dipasang sepanjang galian pondasi pada STA 1+700, STA 1+800, STA 1+900, STA 2+000, STA 2+100, STA 2+200, STA 2+300, STA 2+400, STA 2+500, STA 2+600, STA 2+700, STA 2+800, STA 2+900, STA 3+000, serta STA 3+075 secara berurutan dengan kedalaman 17 m, 15 m, 17 m, 17 m, 14 m, 16 m, 16 m, 13 m, 5 m, 7 m, 5 m, 10 m, 5 m, 4 m, dan 4 m terukur dari batas galian pondasi. Akan tetapi terdapat indikasi bahaya kelongsoran pada STA 1 + 700 hingga STA 2 + 100 mengingat tingginya muka air tanah melebihi batas galian pondasi. Sehingga dalam tahap konstruksi dapat ditanggulangi dengan pemasangan *cassing* tiap kali pengeboran.
3. Penggunaan *plastic concrete cut off wall* berhasil menurunkan debit rembesan pada pondasi bendungan secara signifikan serta tidak adanya indikasi bahaya *piping* dibandingkan dengan kondisi sebelum adanya perbaikan. Pemodelan deformasi menunjukkan hasil penurunan terbesar terjadi pada puncak tubuh bendungan, akan tetapi masih dalam toleransi ambang batas tinggi jagaan minimal bendungan. Sedangkan penurunan pada *plastic concrete cut off wall* menimbulkan regangan maksimal sebesar 0,98% dari batas maksimal regangan yang diizinkan sebesar 2,68%. Dengan demikian beton plastis sebagai bahan utama *plastic concrete cut off wall* dapat digunakan dalam

tahap konstruksi. Serta pemodelan stabilitas lereng pada timbunan menunjukkan hasil SF di atas 1,5 dan bidang kelongsoran yang terjadi sama sekali tidak bersinggungan dengan *plastic concrete cut off wall*. Sehingga lokasi perletakan pemasangan *plastic concrete cut off wall* dapat dinyatakan aman dari resiko terbawa bidang longsor.

## 5.2 Saran

1. Guna penelitian lebih lanjut disarankan melakukan analisis rembesan dengan menambah titik lokasi pengeboran pada area hulu dan hilir pondasi bendungan. Sehingga dapat menambah akurasi penelitian dikarenakan pemodelan disesuaikan dengan kondisi *eksisting* lapangan.
2. Perlu dilakukan analisis deformasi dan stabilitas lereng dengan menggunakan penambahan beban gempa. Sehingga dapat mengantisipasi keamanan konstruksi dilapangan akibat gejala alam.
3. Perlu dilakukan analisis stabilitas lereng dengan kondisi surut cepat guna memperoleh nilai *safety faktor* terkritis.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Achmadi, Gunarto. (2015). *Studi Kestabilan Bendungan Marangkayu Dengan Cutoff Trench Di Hulu Tubuh Bendungan*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Asmaranto, Runi., Hadi Wicaksono, Prima., Wedya Rangga Dewa, Ghea. (2014). *Analisa Stabilitas Tubuh Bendungan (Studi Kasus Bendungan Lolak Sulawesi Utara)*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Astuti, Yuli., Masrevaniah, Aniek., Suwanto, Marsudi. (2012). Analisa Rembesan Bendungan Bajulmati Terhadap Bahaya Piping Untuk Perencanaan Perbaikan Pondasi. *Jurnal Teknik Pengairan*, 3(1), 51-61.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2015). *Tata Cara Desain Tubuh Bendungan Tipe Urugan, SNI 8062:2015*
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2016). *Metode Analisis dan Cara Pengendalian Rembesan Air untuk Bendungan Tipe Urugan, SNI 8065:2016*
- Christady Hardiyatmo, Hary. (2002). *Mekanika Tanah 1 Edisi Ketiga*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Christady Hardiyatmo, Hary. (2002). *Mekanika Tanah 2 Edisi Ketiga*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Craig, R.F. 1989. *Mekanika Tanah Edisi Keempat*. Jakarta: Erlangga
- Departemen Pekerjaan Umum. (2003). *Pedoman Kriteria Umum Desain Bendungan*. Jakarta Selatan.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2005). *Pedoman Grouting Untuk Bendungan*. Jakarta Selatan.

- Departemen Pekerjaan Umum. (2005). *Pedoman Pembuatan Dinding Halang Cut-Off Wall Pada Bendungan Urugan*. Jakarta Selatan.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2005). *Pedoman Pengendalian Rembesan Pada Bendungan Urugan*. Jakarta Selatan.
- Eko Maryanto Setiawan, Yahya., Asmaranto, Runi. (2018). Kajian Perbaikan Pondasi Kombinasi Pastic Concrete Cut Off Wall dan Grouting Pada Pembangunan Bendungan Tugu. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Pengairan Vol 1, No 2*.
- GEO-SLOPE. (2012). *Seepage Modeling With SEEP/W*. Calgary, Alberta, Canada: GEO-SLOPE International Ltd.
- GEO-SLOPE. (2012). *Stability Modeling With SLOPE/W*. Calgary, Alberta, Canada: GEO-SLOPE International Ltd.
- GEO-SLOPE. (2012). *Stress – Deformation Modeling With SIGMA/W*. Calgary, Alberta, Canada: GEO-SLOPE International Ltd.
- Geoslope.com. “Solution”. <https://www.geoslope.com/>. Diakses 10 Maret 2020.
- ICOLD. (1985). *Filling Material for Watertight Cut-off Wall*. Buletin 51.
- ICOLD. (2005). *Dam Foundation – Geologic Considerations, Investigation Methodt, Treatment, Monitoring*. Buletin 129.
- Imron, Ali., Sarah, Dianah., Dkk. (2017). Analisa Geoteknik Bendungan Gongseng Terhadap Keamanan Rembesan, Stabilitas Lereng, Dan Beban Gempa. *Jurnal Karya Teknik Sipil, Volume 6, Nomor 2, Halaman 83 - 90*.
- Japan International Cooperation Agency (JICA). (2016). *Feasibility Study On WAWA River Mini-hydro Power Project In The Province Of Agusan Del Sur, The Republic Of The Pilippines (PPP Insfrastructure Project)*. Philipina: Departemen Energi.

- KNI-BB INACOLD. (2008). *Bendungan Keuliling, Kabupaten Aceh Besar, Waduk Pertama di Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam*. Buletin edisi november.
- KNI-BB INACOLD. (2013). *Outlet Diversion Tunnel Proyek Waduk Jatigede, Kabupaten Sumedang, Provinsi Jawa Barat*. Buletin edisi januari.
- M. Das, Braja. 1993. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- M. Das, Braja. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Ngurah Putu Dharmayasa, I Gusti. (2018). Analisis Rembesan Di Bawah Tubuh Bendungan Urugan. *Paduraksa, Volume 7 Nomer 1, Halaman 53 - 62*.
- PT. Utama Karya. (2018). *Laporan Akhir Pekerjaan Survey Geolistrik 2D Bendungan Semantok Paket 2 Kabupaten Nganjuk Provinsi Jawa Timur*. Nganjuk
- PT. Sijanti Dinamika Teknika. (2018). *Laporan Akhir Pekerjaan Grouting Test dan Pemantapan Metode Grouting Perbaikan Pondasi Paket II Proyek Bendungan Semantok Kabupaten Nganjuk Provinsi Jawa Timur*. Nganjuk
- PT. Virama Karya. (2015). *Laporan Geologi dan Mekanika Tanah Sertifikasi Design Bendungan Semantok*. Semarang
- PT. Virama Karya. (2017). *Laporan Nota Desain Sertifikasi Desain Bendungan Semantok Kabupaten Nganjuk*. Nganjuk.
- SNVT Pembangunan Bendungan BBWS Brantas. (2018). "Kajian Teknis" *.Geologi Teknik Pondasi Bendungan Semantok Kabupaten Nganjuk*.
- SNVT Pembangunan Bendungan BBWS Brantas. (2018). *Leaflet Pembangunan Bendungan Semantok Kabupaten Nganjuk*.



Sholeh, Moch., Suhartono., Anisfi Choirini, Nur. (2019). Analisis Stabilitas Tubuh Bendungan Pada Bendungan Utama Proyek Waduk Bendo Ponorogo. *PROKONS: Jurnal Teknik Sipil Vol.13, No. 2 (Agustus), Halaman 20 - 29.*

Soediby. (2003). *Teknik Bendungan*. Jakarta: Pradnya Paramita.

Sosrodarsono, Suyono dan Takeda, Kensaku. (1977). *Bendungan Tipe Urugan*. Jakarta: Pradnya Paramita.

Standar Nasional Indonesia 8062. (2015). *Tata Cara Desain Tubuh Bendungan Tipe Urugan*.

Standar Nasional Indonesia 8065. (2016). *Metode Analisis dan Cara Pengendalian Rembesan Air untuk Bendungan Tipe Urugan*.