



**ANALISA STABILITAS LERENG BENDUNGAN JRAGUNG
KABUPATEN SEMARANG MENGGUNAKAN APLIKASI
GEOSTUDIO 2022.1**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil

Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik

Universitas Darul Ulum Islamic Centre Sudirman GUPPI

UNDARIS

Disusun oleh :

ILHAM PRAMONO NUGROHO

(NIM. 19.21.0017)

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS DARUL ULUM ISLAMIC CENTRE SUDIRMAN GUPPI

KABUPATEN SEMARANG

2024

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISA STABILITAS LERENG BENDUNGAN JRAGUNG
KABUPATEN SEMARANG MENGGUNAKAN APLIKASI
GEOSTUDIO 2022.1**

Disusun oleh :

ILHAM PRAMONO NUGROHO (NIM. 19.21.0017)

Tugas Akhir ini telah disetujui untuk dipertahankan di hadapan Tim Penguji
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
UNDARIS

Diperiksa dan Disetujui

Pembimbing I



Ir. HARTOPO, M.T.
NIDN. 0029056701

Pembimbing II



RATIH PUJIASTUTI, S.T.M.T.
NIDN. 0623068302

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISA STABILITAS LERENG BENDUNGAN JRAGUNG
KABUPATEN SEMARANG MENGGUNAKAN APLIKASI
GEOSTUDIO 2022.1**

Disusun oleh :

ILHAM PRAMONO NUGROHO (NIM. 19.21.0017)




Dipertahankan di depan Tim Penguji pada Tanggal:

27 April 2024

Tugas Akhir ini telah diterima sebagai salah satu prasyarat untuk memperoleh gelar
Sarjana

Teknik Sipil pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik UNDARIS

Tim Penguji:

Ketua	: Ir. Hartopo, M.T	()
Anggota	: Ir. Totok Apriyanto, M.T	()
Anggota	: Ratih Pujiastuti, S.T, M.T	()

Mengetahui,



Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik UNDARIS

ALIM MUHRONI, S.T, M.T,
NIDN. 0630049501

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ilham Pramono Nugroho

NIM : 19.21.0017

Judul : Analisa Stabilitas Lereng Bendungan Jragung Kabupaten Semarang
Menggunakan Aplikasi Geostudio 2022.1.

Menyatakan bahwa naskah Tugas Akhir ini secara keseluruhan adalah hasil penelitian atau karya sendiri, terkecuali yang diberi rujukan sumber pada bagian-bagian tertentu.

Semarang, 27 April 2024

Yang membuat pernyataan,
Penulis



Ilham Pramono Nugroho
NIM. 19.21.0017

ABSTRAK

Dalam pembangunan bendungan urugan aspek keamanan menjadi hal yang mutlak. Stabilitas lereng dan rembesan perlu diperhatikan pada bendungan. Bendungan Jragung diproyeksikan memiliki kapasitas 90 juta m³ dengan tinggi 59,5 m dan tergolong dalam klasifikasi IV (extreme) atau jika terjadi kegagalan memiliki risiko bahaya yang tinggi. Maka dari itu, guna pencegahan dini terhadap risiko bahaya bendungan perlu dilakukan serangkaian analisa diantaranya stabilitas lereng dan rembesan.

Analisa dilakukan dengan data berupa data geoteknik (parameter material timbunan), data hidrologi (ketinggian muka air), data detail engineering design (gambar potongan dan detail bendungan). Analisa memakai metode keseimbangan batas menggunakan program Slope/W perangkat lunak Geostudio 2022.1. Analisa stabilitas lereng dilakukan untuk mengetahui nilai safety factor (SF) dalam tiga kondisi dengan beban normal dan gempa, meliputi after construction, steady flow, dan rapid drawdown. Sedangkan analisa terhadap bahaya rembesan dilakukan dengan menghitung debit rembesan dan pengamatan garis freatik menggunakan program Seep/W perangkat lunak Geostudio 2022.1.

Dari hasil analisa stabilitas lereng dengan beban normal dan gempa Operating Base Earthquake (OBE) nilai SF memenuhi syarat minimum. Sedangkan hasil analisa rembesan diperoleh debit rembesan tidak melebihi batas minimum dan garis freatik tidak keluar dari jalur drainase serta tidak memotong tubuh bendungan.

Kata kunci : *Stabilitas lereng, Rembesan, Geostudio, Slope/W, Seep/W.*

ABSTRACT

In the construction of the embankment dam, the safety aspect becomes an absolute thing. Slope stability and seepage need to be considered on dams. Jragung Dam is projected to have a capacity of 90 million m³ with a height of 59.5 m and is classified as classification IV (extreme) or in the event of failure has a high risk of danger. Therefore, for early prevention of the risk of dam hazards, it is necessary to carry out a series of analyzes including slope stability and seepage.

Analysis was carried out with data in the form of geotechnical data (stockpile material parameters), hydrological data (water level level), detailed engineering design data (cut drawings and dam details). Analysis using the boundary balance method using the Geostudio 2022.1 software Slope/W program. Slope stability analysis was carried out to determine the value of safety factor (SF) in three conditions with normal load and earthquake, including after construction, steady flow, and rapid drawdown. Meanwhile, the analysis of seepage hazards was carried out by calculating seepage discharge and phreatic line observations using the Geostudio 2022.1 software Seep/W program.

From the results of slope stability analysis with normal load and Operating Base Earthquake (OBE) earthquakes, the SF value meets the minimum requirements. While the results of seepage analysis obtained seepage discharge does not exceed the minimum limit and the phreatic line does not come out of the drainage line and does not cut the dam body.

Keywords: *Slope stability, Seepage, Geostudio, Slope/W, Seep/W.*

KATA PENGANTAR

Berkat Rahmat Allah Yang Maha Suci dan Maha Luhur serta dengan mengucap puji syukur kehadiran-Nya, sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan judul **“ANALISA STABILITAS LERENG BENDUNGAN JRAGUNG KABUPATEN SEMARANG MENGGUNAKAN APLIKASI GEOSTUDIO 2022.1”**. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada kekasih Allah Nabi Muhammad Shallallah ‘Alaihi Wassalam beserta keluarga dan sahabat.

Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh guna menyelesaikan pendidikan tingkat sarjana (S-1) pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Darul Ulum Islamic Centre Sudirman GUPPI (UNDARIS) Ungaran.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini penyusun mendapati kendala, namun berkat Allah Ta’ala lantaran bantuan, bimbingan, dan kerjasama dari berbagai pihak sehingga kendala-kendala yang didapati dapat diatasi. Maka dari itu, penyusun menyampaikan terima kasih yang sebanyak-banyaknya kepada pihak-pihak tersebut antara lain :

1. Orang tua, Keluarga, dan teman-teman yang selalu memberikan dukungan dan semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini,
2. Rektor UNDARIS, Dr. Drs. Hono Sejati, S.H., M. Hum. Beserta segenap jajarannya, yang telah memberikan fasilitas pendidikan yang membantu dalam proses pembelajaran pada Fakultas Teknik.
3. Dekan Fakultas Teknik UNDARIS, Bapak Abdullah, S.T.,M.T. Yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melakukan penelitian, serta dorongan semangat dalam penyusunan tugas akhir,
4. Kaprodi Fakultas Teknik UNDARIS, Bapak Alim Muhroni, S.T.,M.T. Yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melakukan penelitian, serta dorongan semangat dalam penyusunan tugas akhir,
5. Bapak Ir. Hartopo, M.T. selaku Dosen Penguji Tugas Akhir sekaligus Dosen Pembimbing I yang selalu memberikan arahan, masukan, saran, dan nasehat serta bimbingan yang berarti dalam penyusunan Tugas Akhir ini,
6. Ibu Ratih Pujiastuti S.T, M.T selaku Dosen Penguji Tugas Akhir Sekaligus Dosen Pembimbing II Laporan Tugas Akhir yang selalu memberikan arahan, masukan, saran, dan serta nasehat serta bimbingan yang berarti dalam penyusunan Tugas Akhir ini,

7. Bapak Ir. Totok Apriyanto, MT selaku Dosen Penguji Tugas Akhir dan selaku dosen Fakultas Teknik yang telah memberikan banyak ilmu selama penulis berkuliah
8. Seluruh dosen Fakultas Teknik Universitas Darul Ulum Islamic Centre Sudirman GUPPI (UNDARIS),
9. Segenap pihak yang telah mendukung kelancaran penyusunan dan penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat bisa penyusun sebutkan satu-persatu.

Selanjutnya penyusun secara terbuka berharap adanya kritik dan masukan dari pembaca untuk dijadikan evaluasi bagi penyusun guna perbaikan kedepannya. Melihat penyusunan Tugas Akhir ini syarat akan kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Adapun kekurangan yang ada, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Semarang, 27 April 2024

Penulis



Ilham Pramono Nugroho
NIM. 19.21.0017

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR NOTASI.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 MAKSUD DAN TUJUAN	3
1.3 RUANG LINGKUP PENELITIAN	3
1.4 LOKASI PENELITIAN.....	4
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 BENDUNGAN.....	6
2.1.1 Definisi Umum	6
2.1.2 Bendungan Urugan	7
2.1.3 Bendungan Urugan Zonal	9
2.2 TANAH.....	9
2.2.1 Definisi Umum	9
2.2.2 Klasifikasi Tanah	10
2.2.3 Uji Laboratorium	12
2.2.4 Uji Lapangan	17
2.3 TIMBUNAN	20
2.3.1 Definisi Umum	20
2.3.2 Kendali Mutu Timbunan Bendungan	20
2.3.3 Spesifikasi Material Timbunan	24
2.4 STABILITAS LERENG	29

2.4.1	Teori Analisis Stabilitas Lereng	29
2.4.2	Metode-Metode Dalam Perhitungan Stabilitas Lereng	31
2.4.3	Teknik Penyelesaian Metode Keseimbangan Batas	34
2.5	STABILITAS BENDUNGAN TERHADAP REMBESAN	38
2.5.1	Teori Rembesan.....	38
2.5.2	Metode Penanganan Rembesan.....	39
2.5.3	Pengendalian Rembesan	41
2.6	STABILITAS BENDUNGAN AKIBAT BEBAN GEMPA	44
2.6.1	Kriteria Keamanan Minimum Stabilitas Bendungan Tipe Urugan	44
2.6.2	Perhitungan Klasifikasi Kelas Risiko <i>Hazard</i>	46
2.6.3	Perhitungan Kelas Risiko Bendungan Jragung	48
2.7	PERANGKAT LUNAK GEOSTUDIO	50
2.7.1	Slope/W.....	50
2.7.2	Seep/W.....	51
2.7.3	Sigma /W.....	52
2.7.4	Quake/W	53
2.7.5	Citran/W.....	54
2.7.6	Temp/W	54
2.7.7	Air/W	54
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		55
3.1	ALUR PENELITIAN	55
3.2	METODE PENGUMPULAN DATA	56
3.3	DATA GEOLOGI	56
3.4	DATA GEOTEKNIK	57
3.5	DATA HIDROLOGI	57
3.6	DATA DED (<i>DETAIL ENGINEERING DESIGN</i>)	58
3.7	METODE ANALISIS.....	58
3.7.1	Stabilitas Lereng.....	58
3.7.2	Rembesan.....	58
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN		59
4.1	LINGKUP ANALISIS.....	59
4.2	TIPIKAL TUBUH BENDUNGAN.....	59
5.2.1	Tipikal Bendungan Jragung	59
5.2.2	Parameter Material Timbunan.....	61

5.2.3	Review Desain Geometri Bendungan.....	62
4.3	KELAS RISIKO BENDUNGAN DAN KRITERIA BEBAN GEMPA	62
5.3.1	Kelas Risiko Bendungan Jragung.....	62
5.3.2	Koefisien Gempa Bendungan.....	63
4.4	ALUR ANALISIS	66
5.4.1	Stabilitas Lereng	66
5.4.2	Rembesan Pada Tubuh Bendungan	67
4.5	OUTPUT ANALISIS.....	69
5.5.1	Setelah Konstruksi (<i>After Construction</i>).....	69
5.5.2	Aliran Tunak (<i>Steady Flow</i>).....	78
5.5.3	Penarikan Cepat (<i>Rapid Drawdown</i>).....	87
5.5.4	Rembesan (<i>Seepage</i>).....	98
4.6	JUSTIFIKASI KEAMANAN BENDUNGAN	99
5.6.1	Stabilitas Lereng Statis dan Dinamis	99
5.6.2	Keamanan Terhadap Rembesan	103
BAB V PENUTUP.....		105
5.1	KESIMPULAN	105
5.2	SARAN	106
DAFTAR PUSTAKA		107
LAMPIRAN		109

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 : Lokasi Proyek Bendungan Jragung	4
Gambar 2. 1 : Batas-batas Atterberg Limit	13
Gambar 2. 2 : Uji geser langsung	16
Gambar 2. 3 : Alat uji Triaxial	17
Gambar 2. 4 : Pengujian SPT secara manual	19
Gambar 2. 5 : Lay Out Zona Timbunan.....	21
Gambar 2. 6 : Tipikal Bendungan Jragung	22
Gambar 2. 7 : Grafik Gradasi Material Inti Kedap Air.....	24
Gambar 2. 8 : Grafik Gradasi Material Filter	26
Gambar 2. 9 : Grafik Gradasi Material Random	27
Gambar 2. 10 : Kriteria Kegagalan Mohr-Coulomb.....	30
Gambar 2. 11 : Diskritisasi kolom dan gaya kolom untuk massa geser	35
Gambar 2. 12 : Aliran Air Di Dalam Butiran Tanah, Menurut Darcy.....	39
Gambar 2. 13 : Rancangan Bendungan Urugan Guna Meminimalisir Bahaya Rembesan dan Erosi, (Robin Fell, 2007).....	40
Gambar 2. 14 : Lapisan Filter Sebagai Pelindung Terhadap <i>Piping</i>	42
Gambar 2. 15 : Lapisan Filter yang dapat Menangkap Air Rembesan dengan Baik.....	43
Gambar 2. 16 : Zona Inti Kedap Air di Tengah.....	43
Gambar 3. 1 : Bagan Alir Analisis Stabilitas Lereng.....	56
Gambar 4. 1 : Desain Bendungan Jragung	60
Gambar 4. 2 : Tinjauan Geometri Bendungan Jragung	62
Gambar 4. 3 : Setelah Konstruksi Hulu Tanpa Gempa.....	69
Gambar 4. 4 : Setelah Konstruksi Hilir Tanpa Gempa	69
Gambar 4. 5 : Setelah Konstruksi Hulu Gempa 0,5 OBE 0,25 H	70
Gambar 4. 6 : Setelah Konstruksi Hulu Gempa 0,5 OBE 0,50 H	70
Gambar 4. 7 : Setelah Konstruksi Hulu Gempa 0,5 OBE 0,75 H	71
Gambar 4. 8 : Setelah Konstruksi Hulu Gempa 0,5 OBE 1 H	71
Gambar 4. 9 : Setelah Konstruksi Hilir Gempa 0,5 OBE 0,25 H.....	72
Gambar 4. 10 : Setelah Konstruksi Hilir Gempa 0,5 OBE 0,50 H.....	72
Gambar 4. 11 : Setelah Konstruksi Hilir Gempa 0,5 OBE 0,75 H.....	73
Gambar 4. 12 : Setelah Konstruksi Hilir Gempa 0,5 OBE 1 H.....	73

Gambar 4. 13 : Setelah Konstruksi Hulu Gempa 0,5 MDE 0,25 H.....	74
Gambar 4. 14 : Setelah Konstruksi Hulu Gempa 0,5 MDE 0,50 H.....	74
Gambar 4. 15 : Setelah Konstruksi Hulu Gempa 0,5 MDE 0,75 H.....	75
Gambar 4. 16 : Setelah Konstruksi Hulu Gempa 0,5 MDE 1 H	75
Gambar 4. 17 : Setelah Konstruksi Hilir Gempa 0,5 MDE 0,25 H	76
Gambar 4. 18 : Setelah Konstruksi Hilir Gempa 0,5 MDE 0,50 H	76
Gambar 4. 19 : Setelah Konstruksi Hilir Gempa 0,5 MDE 0,75 H	77
Gambar 4. 20 : Setelah Konstruksi Hilir Gempa 0,5 MDE 1 H.....	77
Gambar 4. 21 : Aliran Tunak Hulu Tanpa Gempa	78
Gambar 4. 22 : Aliran Tunak Hilir Tanpa Gempa.....	78
Gambar 4. 23 : Aliran Tunak Hulu Gempa OBE 0,25 H.....	79
Gambar 4. 24 : Aliran Tunak Hulu Gempa OBE 0,50 H.....	79
Gambar 4. 25 : Aliran Tunak Hulu Gempa OBE 0,75 H.....	80
Gambar 4. 26 : Aliran Tunak Hulu Gempa OBE 0,1 H.....	80
Gambar 4. 27 : Aliran Tunak Hilir Gempa OBE 0,25 H	81
Gambar 4. 28 : Aliran Tunak Hilir Gempa OBE 0,50 H	81
Gambar 4. 29 : Aliran Tunak Hilir Gempa OBE 0,75 H	82
Gambar 4. 30 : Aliran Tunak Hilir Gempa OBE 1 H	82
Gambar 4. 31 : Aliran Tunak Hulu Gempa MDE 0,25 H.....	83
Gambar 4. 32 : Aliran Tunak Hulu Gempa MDE 0,50 H.....	83
Gambar 4. 33 : Aliran Tunak Hulu Gempa MDE 0,75 H.....	84
Gambar 4. 34 : Aliran Tunak Hulu Gempa MDE 1 H.....	84
Gambar 4. 35 : Aliran Tunak Hilir Gempa MDE 0,25 H	85
Gambar 4. 36 : Aliran Tunak Hilir Gempa MDE 0,50 H	85
Gambar 4. 37 : Aliran Tunak Hilir Gempa MDE 0,75 H	86
Gambar 4. 38 : Aliran Tunak Hilir Gempa MDE 1 H	86
Gambar 4. 39 : Surut Cepat Hulu Tanpa Gempa.....	87
Gambar 4. 40 : Surut Cepat Hilir Tanpa Gempa	87
Gambar 4. 41 : Surut Cepat Hulu Gempa OBE 0,25 H.....	88
Gambar 4. 42 : Surut Cepat Hulu Gempa OBE 0,50 H.....	88
Gambar 4. 43 : Surut Cepat Hulu Gempa OBE 0,75 H.....	89
Gambar 4. 44 : Surut Cepat Hulu Gempa OBE 1 H.....	89
Gambar 4. 45 : Surut Cepat Hilir Gempa OBE 0,25 H.....	90

Gambar 4. 46 : Surut Cepat Hilir Gempa OBE 0,50 H.....	90
Gambar 4. 47 : Surut Cepat Hilir Gempa OBE 0,75 H.....	91
Gambar 4. 48 : Surut Cepat Hilir Gempa OBE 1 H	91
Gambar 4. 49 : Surut Cepat Hulu Gempa MDE 0,25 H	92
Gambar 4. 50 : Surut Cepat Hulu Gempa MDE 0,50 H	92
Gambar 4. 51 : Surut Cepat Hulu Gempa MDE 0,75 H	93
Gambar 4. 52 : Surut Cepat Hulu Gempa MDE 1 H.....	93
Gambar 4. 53 : Surut Cepat Hilir Gempa MDE 0,25 H.....	94
Gambar 4. 54 : Surut Cepat Hilir Gempa MDE 0,50 H.....	94
Gambar 4. 55 : Surut Cepat Hilir Gempa MDE 0,75 H.....	95
Gambar 4. 56 : Surut Cepat Hilir Gempa MDE 1 H.....	95
Gambar 4. 57 : Muka Air Maksimum Hulu Tanpa Gempa	96
Gambar 4. 58 : Muka Air Maksimum Hilir Tanpa Gempa	96
Gambar 4. 59 : Kondisi Darurat FWL ke LWL Hulu Tanpa Gempa	97
Gambar 4. 60 : Kondisi Darurat FWL ke LWL Hilir Tanpa Gempa.....	97
Gambar 4. 61 : Garis Freatik Bendungan Jragung Pada Kondisi Aliran Tunak NWL Elv. 115,00 m.....	98
Gambar 4. 62 : Kondisi Tekanan Air Pori Bendungan Jragung Pada Kondisi Aliran Tunak NWL Elv. 115,00 m.....	98
Gambar 4. 63 : Nilai <i>Water Flux</i>	99

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 : Tipe Bendungan Urugan.....	8
Tabel 2. 2 : Berat jenis tanah	14
Tabel 2. 3 : Uji Kendali Mutu Bendungan Jragung.....	23
Tabel 2. 4 : Gradasi Material Inti Kedap Air	25
Tabel 2. 5 : Gradasi Material Filter.....	26
Tabel 2. 6 : Gradasi Material Random.....	28
Tabel 2. 7 : Analisis Stabilitas dengan Cara Keseimbangan Batas	32
Tabel 2. 8 : Program Elemen Hingga Yang Dapat Digunakan Untuk Analisis	33
Tabel 2. 9 : Persamaan Statika yang Dipenuhi Untuk Setiap Metode	36
Tabel 2. 10 : Karakteristik dan Hubungan Antar Kolom.....	36
Tabel 2. 11 : Persyaratan Faktor Keamanan Minimum Untuk Stabilitas Bendungan Tipe Urugan.....	44
Tabel 2. 12 : Faktor Risiko Untuk Evaluasi Keamanan Bendungan	47
Tabel 2. 13 : Kelas Risiko Bendungan dan Bangunan Air.....	47
Tabel 2. 14 : Kriteria Beban Gempa Untuk Desain Bendungan	48
Tabel 2. 15 : Jumlah Penduduk (Orang) Terkena Risiko Keruntuhan Bendungan untuk Masing-Masing Kelas Bahaya Bendungan	48
Tabel 2. 16 : Jumlah Penduduk (Orang) Terkena Risiko Keruntuhan Bendungan untuk Masing-Masing Kelas Bahaya Bendungan	49
Tabel 2. 17 : Hubungan Kesetaraan Konsekuensi Daerah Hilir Bendungan dengan Klasifikasi Bahaya	49
Tabel 2. 18 : Kelas Risiko Bendungan Jragung.....	49
Tabel 4. 1 : Keterangan Bendungan Utama	61
Tabel 4. 2 : Parameter Material Timbunan	61
Tabel 4. 3 : Konversi Nilai Parameter Materil ke Satuan Metrik.....	62
Tabel 4. 4 : Kelas Risiko Bendungan Jragung	63
Tabel 4. 5 : Nilai Percepatan Gempa Puncak Bendungan Jragung.....	63
Tabel 4. 6 : faktor amplifikasi PGA (F_{PGA}) (ASCEC 7-10).....	64
Tabel 4. 7 : Koefisien Gempa Horisontal OBE dan MDE	65
Tabel 4. 8 : Koefisien Gempa Vertikal OBE dan MDE.....	66
Tabel 4. 9 : Justifikasi Stabilitas Lereng Statis (OBE)	100

Tabel 4. 10 : Justifikasi Stabilitas Lereng Dinamis (MDE)	101
Tabel 4. 11 : Keamanan Debit Rembesan (Look, 2007).....	103

DAFTAR NOTASI

W	= Uji kadar air
W_w	= pada material tanah merupakan perbandingan berat air
W_s	= berat butiran
N	= Jumlah pukulan untuk menutup celah 0,5 inchi (12,7 mm)
$tg\beta$	= 0,121 ($tg\beta$ tidak sama untuk semua jenis tanah)
m_1	= Berat tanah basah pada cawan percobaan (g)
m_2	= Berat tanah kering dari oven (g)
v_1	= volume tanah basah (g)
v_2	= volume tanah kering dari oven (g)
γ_w	= Berat volume air (cm^3)
G_s	= Specific gravity
γ_s	= perbandingan antara berat volume butiran padat
γ_d	= berat tana kering (g/cm^3)
γ_b	= berat tana basah (g/cm^3)
w	= kadar air (%)
Lu	= nilai Lugeon (liter/meter/menit)
P	= tekanan modifikasi selama pengujian (kg/cm^2)
L	= panjang atau interval pengukuran dari formasi/batuan yang diuji (m)
q	= debit air yang masuk ke dalam formasi batuan (liter/menit)
τ'	= kuat geser efektif (kN/m^2)
C'	= kohesi tanah efektif (kN/m^2)
σ	= kuat geser total (kN/m^2)
u	= tekanan air pori (kN/m^2)
Φ'	= sudut geser dalam efektif ($^\circ$)
Q	= volume aliran air (cm^3/dtk).

- k = konstanta yang disebut koefisien permeabilitas (cm/dtk).
- i = gradien hidrolis
- A = luas penampang tanah (cm²).
- h₁-h₂ = perbedaan tinggi muka air pada kedua ujung contoh tanah (cm).
- L = panjang lapisan tanah rembesan (cm).
- V = kecepatan aliran (cm³/dtk)
- FK = faktor keamanan
- FR_{tot} = faktor risiko total
- FR_k = faktor risiko pengaruh kapasitas waduk
- FR_t = faktor risiko pengaruh tinggi bendungan
- FR_e = faktor risiko kebutuhan evakuasi
- FR_h = faktor risiko tingkat kerusakan di hilir, didapati dari Pedoman Klasifikasi Bahaya Bendungan
- γ_{dry} = berat kering (kN/m³)
- γ_{wet} = berat basah (kN/m³)
- γ_{sat} = berat jenuh (kN/m³)
- C = kohesi (kPa)
- Φ = sudut geser (°)
- K = permeabilitas (m/detik)
- WC = water content (%)
- PGA_M = nilai percepatan puncak di permukaan tanah berdasarkan klasifikasi *site*.
- F_{PGA} = faktor amplifikasi PGA.
- S_{PGA} = Nilai PGA di batuan dasar (S_b) mengacu pada Peta Gempa Tahun 2010 (periode ulang 100 tahun dan periode ulang 10.000 tahun)

K_o = koefisien gempa desain terkoreksi di permukaan tanah.

α_2 = koreksi pengaruh jenis struktur = 0,5 (untuk bendungan tipe urugan).

k_h = koefisien gempa dasar yang tergantung periode ulang T

NWL = ketinggian air normal (*Normal Water Level*)

LWL = ketinggian air rendah (*Low Water Level*)

FWL = ketinggian air banjir/maksimum (*Flood Water Level*)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Sekarang ini pembangunan di berbagai bidang sedang giat dilaksanakan oleh bangsa Indonesia. Pembangunan adalah usaha untuk menciptakan kemakmuran dan kesejahteraan rakyat. Oleh karena itu, hasil pembangunan harus dapat dinikmati oleh seluruh masyarakat sebagai peningkatan kesejahteraan lahir dan batin secara adil dan merata. Ada berbagai pembangunan yang dikerjakan salah satu contohnya adalah pembangunan bendungan (Mangare, 2016).

Pemerintah dalam hal ini Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat melalui Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air dalam rangka swasembada pangan dan peningkatan ekonomi di tingkat daerah, ketersediaan air menjadi kunci utama. Oleh sebab itu, di bangunlah bangunan-bangunan penunjang sarana dan pra sarana air, salah satunya yaitu bendungan yang syarat akan manfaat. Manfaat dari bendungan antara lain menyuplai kebutuhan air irigasi, tambahan pasokan air baku, pengendalian banjir, hingga sektor pariwisata yang secara tidak langsung meningkatkan ekonomi masyarakat setempat, dan masih banyak manfaat lainnya.

Bendungan merupakan infrastruktur penting dalam manajemen sumber daya air yang memiliki peran strategis dalam menyimpan, mengatur, dan mengalirkan air untuk berbagai keperluan seperti irigasi, pengairan, energi listrik, dan pasokan air bersih. Namun, dalam pengoperasiannya, bendungan sering kali menghadapi tantangan terkait stabilitas lereng. Stabilitas lereng bendungan merupakan kemampuan lereng pada tubuh bendungan untuk mengatasi gaya-gaya eksternal seperti beban air dan tanah, serta gaya-gaya internal seperti berat sendiri tanah dan material konstruksi. Oleh karena itu, analisis dan pemantauan terhadap stabilitas lereng bendungan merupakan aspek yang krusial guna menjaga keamanan dan kinerja bendungan secara keseluruhan.

Kabupaten Semarang, sebagai salah satu daerah di Indonesia yang menjadi lokasi dari Proyek Strategis Nasional (PSN), yakni bendungan Jragung yang nantinya akan memiliki peran signifikan dalam mendukung berbagai aktivitas pertanian dan pasokan air bagi masyarakat serta pengendalian banjir area hilir. Oleh karena itu, sangat penting adanya

banyak kajian terkait stabilitas lereng, dimana merupakan faktor utama dalam keamanan bendungan urugan, terlebih Bendungan Jragung. Walaupun bendungan memiliki berbagai manfaat, namun jika tidak direncanakan, dibangun, dioperasikan, dan dipelihara dengan baik, bendungan memiliki potensi risiko bencana yang tinggi. Jika terjadi keruntuhan bisa menimbulkan kerugian sangat besar berupa kerusakan lingkungan, korban jiwa dan harta benda, terutama bagi penduduk dan lingkungan yang berada di hilir. Keruntuhan Bendungan bisa dipicu oleh gempa bumi, banjir, longsor, maupun akibat kelalaian (Hadimuljono, 2016).

Dalam rangka mengoptimalkan analisa terhadap stabilitas lereng bendungan, pendekatan teknologi permodelan semakin digunakan secara luas. Salah satu perangkat lunak yang digunakan dalam analisis geoteknik adalah *Geostudio*, yang menyediakan sarana untuk mengkaji stabilitas lereng dengan metode keseimbangan batas atau *limit equilibrium*.

Penelitian tugas akhir dengan judul "Analisa Stabilitas Lereng Bendungan Jragung Kabupaten Semarang Menggunakan Aplikasi *Geostudio 2022.1*" bertujuan untuk melakukan analisis terhadap stabilitas lereng bendungan Jragung, dengan menggunakan perangkat lunak *Geostudio 2022.1*. Tugas akhir ini akan menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas lereng bendungan, seperti beban air, kondisi geologi, geometri lereng, dan sifat mekanik material. Hasil dari analisis ini diharapkan dapat memberikan informasi yang berharga dalam mengidentifikasi potensi risiko stabilitas dan memberikan rekomendasi untuk tindakan perbaikan atau mitigasi yang diperlukan guna menjaga integritas dan keamanan bendungan Jragung.

Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini mengacu pada Laporan Utama Detail Desain Bendungan Jragung tahun 2015. Parameter input material juga berasal dari laporan tersebut. Akan tetapi terdapat perbedaan antara analisis pada Tugas Akhir ini dengan data tersebut, antara lain :

1. Elevasi puncak bendungan

Pada Laporan Utama Detail Desain Bendungan Jragung Tahun 2015 puncak bendungan berada pada elv. 131,66 m sementara pada analisis menggunakan elv. 119,5 m, mengacu pada Data Teknis Pembangunan Bendungan Jragung Tahun 2020.

2. Terdapat perbedaan susunan pada zonasi timbunan.

3. Material fondasi.

4. Metode yang digunakan berbeda

Analisi menggunakan aplikasi yang sama, tetapi metode yang digunakan pada Laporan Utama Detail Desain Bendungan Jragung Tahun 2015 menggunakan *Simplified Bishop* sedangkan analisis ini menggunakan *Morgenstern-Price*.

Melalui kajian ini, diharapkan bahwa hasil Analisa Stabilitas Bendungan Jragung Menggunakan Aplikasi *Geostudio 2022.1* akan memberikan wawasan yang lebih dalam terkait kondisi aktual stabilitas bendungan kedepannya, serta menjadi dasar bagi pengambilan keputusan dalam perencanaan dan pengelolaan bendungan yang lebih efektif dan aman di masa mendatang.

1.2 MAKSUD DAN TUJUAN

Maksud dari penyusunan Tugas Akhir ini melakukan analisis stabilitas lereng Bendungan Jragung menggunakan perangkat lunak *Geostudio 2022.1*, dengan mengacu pada Laporan Utama Detail Desain Bendungan Jragung yang sebagai parameter input. Tujuan dari Tugas Akhir ini yaitu :

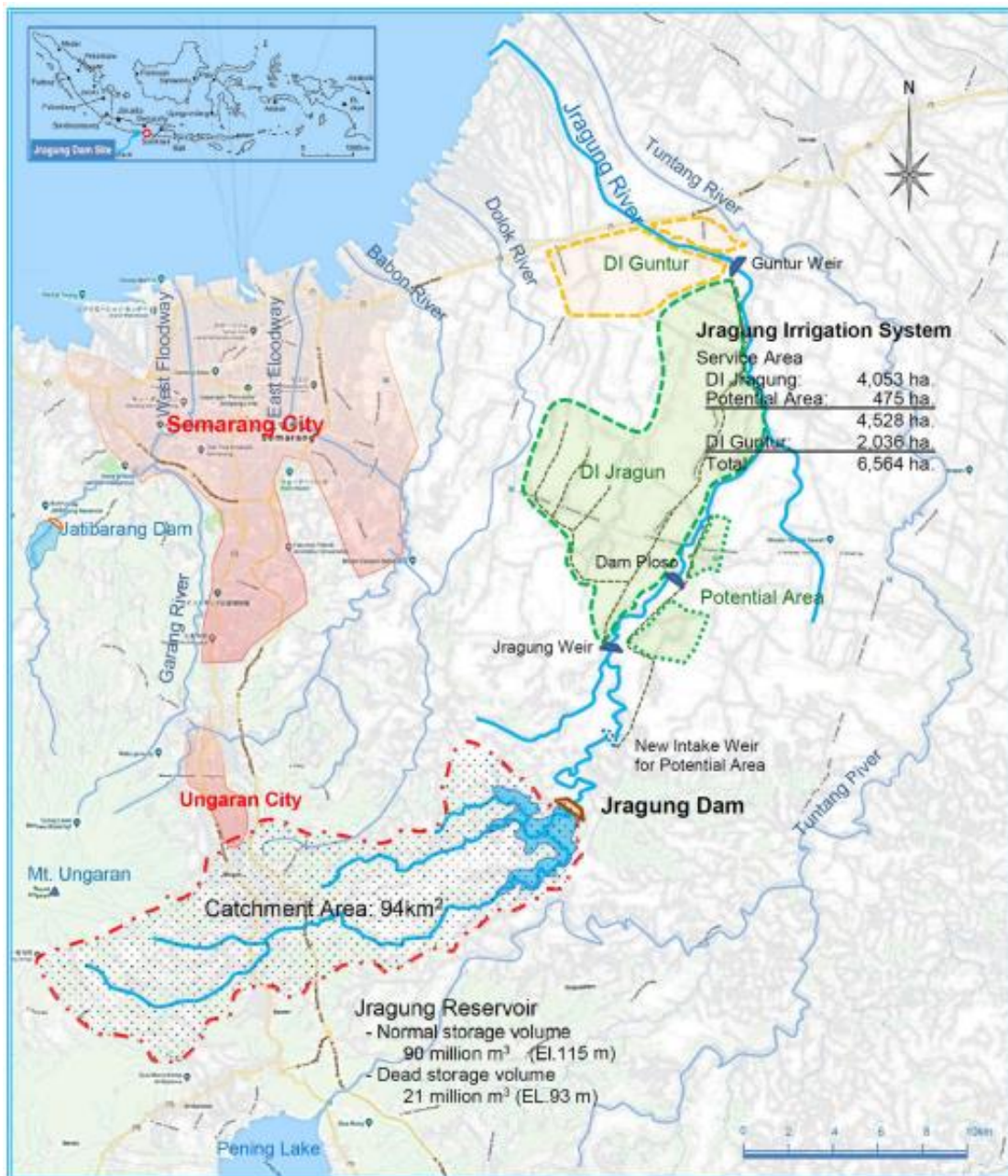
1. Mengetahui karakteristik zona tipikal dan material tubuh bendungan pada Bendungan Jragung.
2. Melakukan analisa stabilitas lereng Bendungan Jragung terhadap beban normal dan beban gempa pada kondisi selesai konstruksi, aliran tunak, muka air banjir dan *rapid drawdown* menggunakan program *Slope/W* aplikasi *Geostudio 2022.1*.
3. Melakukan analisa keamanan Bendungan Jragung terhadap risiko rembesan menggunakan program *Seep/W* aplikasi *Geostudio 2022.1*.

1.3 RUANG LINGKUP PENELITIAN

Ruang lingkup dalam penyusunan Tugas Akhir ini mencakup analisis terhadap stabilitas lereng bendungan pada kondisi selesai konstruksi, aliran tunak, muka air banjir dan *rapid drawdown*, dengan output berupa nilai faktor keamanan. Selain itu juga dilakukan analisis keamanan terhadap rembesan.

1.4 LOKASI PENELITIAN

Secara administratif, Bendungan Jragung terletak di Desa Candirejo Kecamatan Pringapus dan Desa Prigi Kecamatan Kedungjati, sedangkan daerah rencana genangan di Desa Candirejo, Kecamatan Pringapus, Kabupaten Semarang. Secara geografis terletak pada koordinat 7°09'00.6" Lintang Selatan dan 110°32'42.5" Bujur Timur.



Gambar 1. 1 : Lokasi Proyek Bendungan Jragung
(Preparation of Jragung Multipurpose Dam Project, 2019)

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan Tugas Akhir dengan judul Analisa Stabilitas Lereng Bendungan Jragung Kabupaten Semarang Menggunakan Aplikasi *Geostudio 2022.1* terbagi atas lima bab dengan materi sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini memuat latar belakang, maksud dan tujuan, ruang lingkup penelitian, lokasi penelitian, dan sistematika penulisan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat materi ataupun referensi Tugas Akhir yang digunakan sebagai acuan pada analisa stabilitas lereng. Baik dari perangkat lunak yang digunakan, rumus maupun teori-teori yang bersangkutan dan memperkuat isi Tugas Akhir.

BAB III METODOLOGI

Bab ini akan membahas tentang metodologi yang akan digunakan untuk analisis dan evaluasi dalam penulisan Tugas Akhir.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil analisis stabilitas lereng bendungan dengan penjelasannya, meliputi: kondisi selesai konstruksi, muka air normal, muka air banjir dan *rapid drawdown*.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang dapat diambil dari hasil analisis yang telah dilakukan, serta saran-saran yang dapat di berikan untuk pengembangan selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 BENDUNGAN

2.1.1 Definisi Umum

Bendungan adalah bangunan yang berupa urugan tanah, urugan batu, dan beton, yang dibangun untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang (tailing), atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk (PUPR, n.d.).

Bendungan adalah suatu bangunan yang berupa urugan tanah, urugan batu, beton, dan atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang (tailing), atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk (Pusat, 2010).

Bendungan merupakan bangunan air yang dibangun secara melintang sungai, sedemikian rupa agar permukaan air sungai di sekitarnya naik sampai ketinggian tertentu, sehingga air sungai tadi dapat dialirkan melalui pintu sadap ke saluran-saluran pembagi kemudian hingga ke lahan-lahan pertanian (Kartasapoetra, 1991).

Bendungan adalah bangunan yang berfungsi sebagai peninggi muka air dan penyimpanan di musim hujan waktu air sungai mengalir dalam jumlah besar yang melebihi kebutuhan baik untuk keperluan irigasi, air minum industri atau yang lainnya (Sani, 2008).

Ada tiga tipe dasar bendungan berdasarkan konstruksinya, yaitu urugan , beton, dan bendungan lainnya seperti bendungan kayu, besi, pasangan bata, dan susunan batu (Soediby, 1993).

Bendungan memiliki sejumlah manfaat penting, termasuk irigasi, pasokan air minum, pembangkit listrik tenaga air, pengendalian banjir, perikanan, pariwisata dan olahraga air. Tentunya dalam pembangunan bendungan bertujuan untuk memberikan manfaat dan kesejahteraan bagi masyarakat. Pembangunan bendungan bertujuan untuk mencapai kondisi yang lebih baik dari sebelumnya. Terdapat beberapa fungsi dan manfaat bendungan sebagai berikut (W & Asmoro W, 2007) :

1. Irigasi

Pada saat musim hujan, air hujan yang turun di daerah tangkapan air sebagian besar akan ditampung sehingga pada musim kemarau air yang tertampung tersebut dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, antara lain sebagai irigasi lahan pertanian.

2. Penyediaan air baku

Waduk selain sebagai sumber untuk pengairan persawahan juga dimanfaatkan sebagai bahan baku air minum dimana daerah perkotaan sangat langka dengan air bersih.

3. Pembangkit Listrik

Dalam menjalankan fungsinya sebagai PLTA, waduk dikelola untuk mendapatkan kapasitas listrik yang dibutuhkan. Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) adalah suatu sistem pembangkit listrik yang biasanya terintegrasi dalam bendungan dengan memanfaatkan energi mekanis aliran air untuk memutar turbin, diubah menjadi energi listrik melalui generator.

4. Pengendali banjir

Pada saat musim hujan, air hujan yang turun di daerah tangkapan air sebagian besar akan mengalir ke sungai-sungai yang pada akhirnya akan mengalir ke hilir sungai yang tidak jarang mengakibatkan banjir di kawasan hilir sungai tersebut, apabila kapasitas tampung bagian hilir sungai tidak memadai. Dengan dibangunnya bendungan-bendungan di bagian hulu sungai maka kemungkinan terjadinya banjir pada musim hujan dapat dikurangi dan pada musim kemarau air yang tertampung tersebut dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, antara lain untuk pembangkit listrik tenaga air, untuk irigasi lahan pertanian, untuk perikanan, untuk pariwisata dan lain-lain.

2.1.2 Bendungan Urugan

Bendungan Urugan adalah bendungan yang dibangun dengan menampung material berupa batuan, kerikil, pasir dan tanah yang berfungsi sebagai penopang dan menjadi tirai kedap air di atas bendungan. Bendungan tanggul dapat dibangun di semua kondisi geologi dan geografis. Bendungan urugan memiliki keuntungan dalam pembangunan tubuh bendungan yaitu dapat menggunakan batuan di sekitar lokasi bendungan. (Sosrodarsono et al., 1977).

Dilihat dari penempatan dan susunan material penyusun tubuh bendungan agar dapat menjalankan fungsinya dengan baik, bendungan dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama, yaitu :

a) Bendungan Urugan Homogen

Bendungan yang material penyusun tubuh bendungannya berupa tanah yang hampir seragam dan gradasinya (komposisi ukuran partikel) yang hampir seragam. Tubuh bendungan secara keseluruhan memiliki fungsi ganda. Dengan kata lain, ia bertindak sebagai struktur penyangga dan sekaligus sebagai penghalang terhadap rembesan air.

b) Bendungan Urugan Zonal

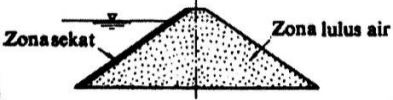
timbunan yang membentuk tubuh bendungan terdiri dari batuan dengan gradasi (ukuran butir) batuan yang berbeda dalam urutan lapisan tertentu.

c) Bendungan Urugan Bersekat

Bendungan yang apabila di lereng bendungan dilapisi dengan sekat kedap (kedap air tinggi) seperti pelat baja tahan karat, beton aspal, pelat beton bertulang, bantalan plastik, atau struktur blok beton, dan lain-lain.

Tabel 2. 1 : Tipe Bendungan Urugan

Tipe		Skema umum	Keterangan
Bendungan urugan homogen			Apabila 80% dari seluruh bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang bergradasi sama dan bersifat kedap air.
Bendungan urugan zonal	Tirai		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lolos air, tetapi dilengkapi dengan tirai kedap air di udiknya.
	Inti miring		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lolos air, tetapi dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan miring ke hilir.
	Inti vertikal		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lolos air, tetapi dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan vertikal.

Tipe	Skema umum	Keterangan
Bendungan urugan batu dengan membran		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lolos air, tetapi dilengkapi dengan membran kedap air di lereng udiknya, yang biasanya terbuat dari lembaran baja tahan karat, lembaran beton, lembaran plastik dan lain-lainnya.

(Sosrodarsono et al., 1977)

2.1.3 Bendungan Urugan Zonal

Bendungan urugan zonal adalah timbunan yang membentuk tubuh bendungan terdiri dari batuan dengan gradasi (ukuran butir) batuan yang berbeda dalam urutan lapisan tertentu. Pada bendungan tipe ini sebagai penyangga terutama dibebankan kepada timbunan yang lulus air (zone lulus air), sedangkan penahan rembesan dibebankan kepada timbunan yang kedap air (zone kedap air). Berdasarkan letak dan kedudukan dari zone kedap airnya, maka tipe ini masih dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) yaitu :

- a) Bendungan urugan zonal dengan tirai kedap air (*front core fill type dam*) Yaitu bendungan zonal dengan zone kedap air yang membentuk lereng udik bendungan tersebut.
- b) Bendungan urugan zonal dengan inti kedap air miring atau “bendungan inti miring” (*inclined-core fill type dam*)
Yaitu bendungan zonal yang zone kedap airnya terletak di dalam tubuh bendungan dan berkedudukan miring ke arah hilir.
- c) Bendungan urugan zonal dengan inti kedap air tegak atau “bendungan inti tegak” (*central-core fill type dam*)

Yaitu bendungan zonal yang zone kedap airnya terletak di dalam tubuh bendungan dengan kedudukan vertikal. Biasanya inti tersebut terletak di bidang tengah dari tubuh bendungan.

2.2 TANAH

2.2.1 Definisi Umum

Tanah didefinisikan secara umum adalah kumpulan dari bagian-bagian yang padat dan tidak terikat antara satu dengan yang lain (diantaranya mungkin material organik) rongga-rongga diantara material tersebut berisi udara dan air (Verhoef, 1994).

Menurut (Braja M. Das, 2016) tanah adalah material yang terdiri dari agregat atau butiran mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dari bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai zat cair juga gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut.

Sedangkan definisi tanah menurut (Bowles, 1984), tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut :

- a. Berangkal (*boulders*) adalah potongan batuan yang besar, biasanya lebih besar dari 250 sampai dengan 300 mm, sedangkan untuk ukuran 150 mm sampai 250 mm, disebut dengan kerakal (*cobbles/pebbles*).
- b. Kerikil (*gravel*) adalah partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai dengan 150 mm.
- c. Pasir (*sand*) adalah partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai dengan 5 mm.
- d. Lanau (*silt*) adalah partikel batuan yang berukuran dari 0,002 mm sampai dengan 0,0074 mm.
- e. Lempung (*clay*) adalah partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm.
- f. Koloid (*colloids*) adalah partikel mineral yang diam dan berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

Tahap awal pembentukan tanah disebabkan oleh pelapukan batuan melalui proses mekanis menjadi partikel yang lebih kecil akibat proses mekanis dan kimia. Pelapukan mekanis disebabkan oleh memuai dan menyusutnya batuan karena perubahan konstan dalam panas dan dingin (cuaca, matahari, dll.) dan terhadap gerusan air yang mengalir. Akhirnya menyebabkan retakan/hancurnya batuan.

Tanah memiliki sifat struktural yang berbeda, oleh karena itu tanah memiliki sifat fisik yang berbeda. Sifat fisik meliputi berat isi, angka pori, dan berat volume. Berat isi adalah berat tanah termasuk air dan udara dengan volume total. Angka pori adalah volume ruang kosong dan volume butir padat. Berat volume partikel tanah yang mengandung udara dengan volume total tanah.

2.2.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah itu sendiri adalah sistem pengaturan berbagai jenis tanah untuk membedakan tanah berdasarkan sifat yang dimilikinya, tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok dan subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Dengan adanya sistem klasifikasi memberikan kemudahan untuk menjelaskan secara singkat mengenai sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang rinci. Klasifikasi umumnya

didasarkan pada sifat indeks tanah sederhana seperti distribusi ukuran partikel dan plastisitas.

Ada berbagai jenis sistem klasifikasi tanah yang biasa digunakan sebagai hasil pengembangan lebih lanjut dari sistem klasifikasi yang ada. Beberapa sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butiran dan batas-batas Atterberg, sistem-sistem tersebut adalah sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) dan sistem klasifikasi tanah unified (USCS).

2.2.2.1 AASHTO

AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) merupakan sistem klasifikasi yang dikembangkan pada tahun 1929 sebagai Public Road Administration Classification System. Sistem Klasifikasi AASHTO membagi tanah ke dalam 8 kelompok, A-1 sampai A-7 termasuk sub-sub kelompok. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir di mana 35 % atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Tanah di mana lebih dari 35 % butirannya tanah lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5 A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung.

2.2.2.2 USCS

Sistem klasifikasi tanah *unified* atau *Unified Soil Classification System* (USCS) diajukan pertama kali oleh Casagrande dan kemudian dikembangkan oleh *United State Bureau of Reclamation* (USBR) dan *United State Army Corps of Engineer* (USACE). (ASTM) *American Society for Testing and Materials* telah memakai USCS sebagai metode standard untuk mengklasifikasikan tanah. Dalam USCS, suatu tanah diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama yaitu :

1. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soils*)
yang terdiri atas kerikil dan pasir yang kurang dari 50% tanah lolos saringan No. 200 ($F_{200} < 50$).
2. Tanah berbutir halus (*fine-grained soils*)
yang terdiri lebih dari 50% tanah lolos saringan No. 200 ($F_{200} \geq 50$).

2.2.3 Uji Laboratorium

Pengujian laboratorium dilakukan untuk mengetahui susunan material tanah yang beragam. Macam-macam tanah yang banyak ragamnya tersebut disebabkan faktor-faktor seperti ukuran, bentuk butiran, kandungan material dalam tanah dan kadar airnya.

2.2.3.1 Uji Kadar Air (*Water Content*)

Uji kadar air (w) pada material tanah merupakan perbandingan berat air (W_w) dengan berat butiran (W_s) dan dinyatakan dalam persamaan (Hardiyatmo, 2019).

$$W(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.1)$$

2.2.3.2 Grain Size Analysis

Menggolongkan tanah berdasarkan ukuran butiran tanah, hal itu berguna guna menentukan berat butiran dalam satu saringan dengan ukuran saringan tertentu dalam presentase. Dengan analisis tersebut, butiran tanah dapat digolongkan menjadi dua jenis sebagai berikut :

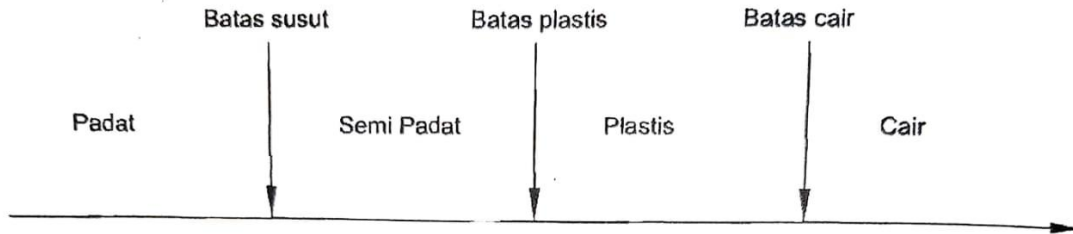
1. Tanah berbutir kasar
 - Kricak (*gravel*) : diameter butiran lebih dari 2 mm.
 - Pasir (*sand*)
 - Kasar : diameter 0,5 mm sampai 2 mm
 - Sedang : diameter 0,2 mm sampai 0,5 mm
 - Halus : diameter 0,06 mm sampai 0,2 mm.
2. Tanah berbutir halus
 - Lanau : diameter 0,0002 mm sampai 0,6 mm
 - Lempung : diameter kurang dari 0,002 mm.

Guna memperoleh diameter butiran yang diperlukan, dilakukan dua pengujian berupa analisis saringan dan hidrometri.

2.2.3.3 Atterberg Limit

Sifat plastis pada tanah perlu diperhatikan pada tanah lempung. Sifat plastis menunjukkan kemampuan tanah dalam penyesuaian perubahan bentuk pada volume yang tetap tanpa adanya retakan. Berikut cara dalam menggambarkan batas-batas konsisten pada tanah dengan butiran halus yang mempertimbangkan kandungan kadar air dalam tanah,

menurut (Atterberg, 1974). Batas-batas tersebut yaitu, batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas surut (*shrinkage limit*).



Gambar 2. 1 : Batas-batas Atterberg Limit
(Hardiyatmo, 2019)

1. *Liquid Limit (LL)*

Batas cair dapat dimaknai dengan kadar air dalam tanah pada batas antara kondisi cair dan kondisi plastic. Berikut persamaan batas cair (Hardiyatmo, 2019).

$$LL = w \frac{N}{25} \times tg\beta \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

- N = Jumlah pukulan untuk menutup celah 0,5 inchi (12,7 mm)
- w = Kadar air
- $tg\beta$ = 0,121 ($tg\beta$ tidak sama untuk semua jenis tanah).

2. *Plastic Limit (PL)*

Batas plastis dapat diartikan dengan kadar air pada kondisi antara plastis dan semi padat, yaitu presentase kadar air dengan tanah diameter silinder yang retak ketika digulung.

3. *Shrinkage Limit (SL)*

Batas susut diartikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu presentase kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan

volume tanah. Pengujian dilakukan dengan cawan porselin berdiameter 44,4 mm dan tinggi 12,7 mm. Bagian dalam cawan diberi pelumas dan diisi dengan tanah jenuh sempurna. Selanjutnya dikeringkan dalam oven. Volume ditentukan dengan mencelupkannya dengan air raksa. Batas susut dinyatakan pada persamaan berikut :

$$SL = \left(\frac{m1 - m2}{m2} - \frac{(v1 - v2)}{m2} \right) \times 100 \% \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

- $m1$ = Berat tanah basah pada cawan percobaan (g)
- $m2$ = Berat tanah kering dari oven (g)
- $v1$ = volume tanah basah (g)
- $v2$ = volume tanah kering dari oven (g)
- γ_w = Berat volume air (cm³).

2.2.3.4 Specific Gravity

Specific Gravity (G_s) merupakan perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dan volume air (γ_w) ditemperatur, (Hardiyatmo, 2019):

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

Specific Gravity tidak memiliki atau satuan. Berbagai berat jenis tanah berkisar antara 2,65 - 2,75. Untuk berat jenis 2,65 digunakan pada tanah yang tidak berkohefif (tanah granular). Untuk berat jenis 2,68 – 2,72 digunakan untuk tanah kohesif yang mengandung tanah organik.

Tabel 2. 2 : Berat jenis tanah

Macam Tanah	Berat Jenis
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau anorganik	2,62 - 2,68
Lempung organik	2,58 - 2,65
Lempung anorganik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

2.2.3.5 Standart Proctor Test

Standart Proctor Test merupakan uji yang dilakukan guna menentukan hubungan antara kadar air dan berat volume air untuk memenuhi syarat kepadatan, (Hardiyatmo, 2019). Pengujian dilakukan dengan beberapa tanah dalam 3 lapisan dan ditumbuk sebanyak 25 kali pada tiap lapisan. Untuk kadar air yang berasal dari *plastic limit* (W_{pi}) untuk kadar air puncak rencana dan untuk sisi kering dilakukan pengurangan serta penambahan untuk sisi basah. Berikut persamaannya :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1 + w} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

γ_d = berat tana kering (g/cm³)

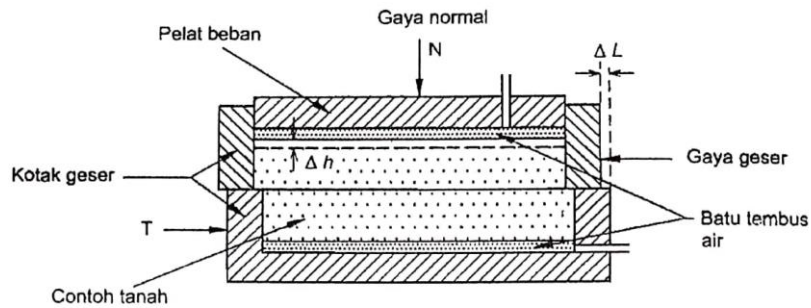
γ_b = berat tana basah (g/cm³)

w = kadar air (%).

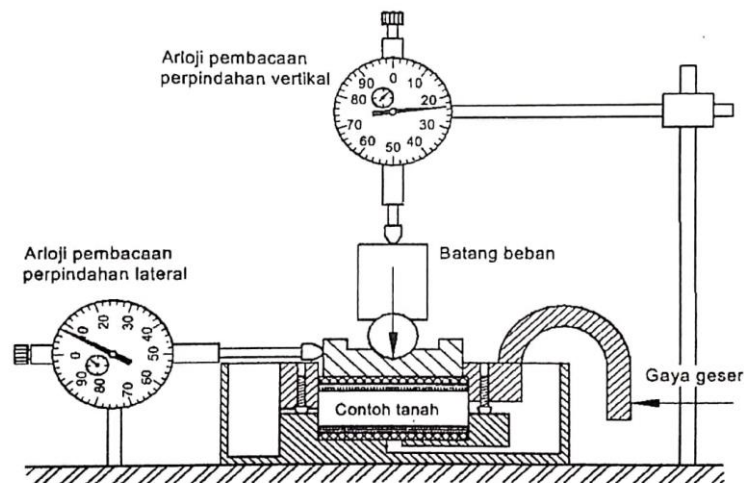
2.2.3.6 Uji Kuat Geser

1. Uji *Direct Shear*

Pengujian dilakukan menggunakan kotak geser dari besi dengan berbentuk lingkaran atau bujur sangkar dengan ukuean kira-kira 19,35 cm² sampai 25,8 cm² dengan tingi 2,54 cm², dan terpisah dalam 2 bagian yang sama. Tegangan normal pada benda uji diberikan di atas kotak geser. Gaya geser ditetapkan pada setengah bagian kotak geser, guna memberikan geseran pada tengah benda uji. Hasil dari pengujian ini berupa lingkaran mohr dengan sumbu koordinat tegangan normal (τ) dan sumbu absisnya tegangan pengekang (σ), (Craig, 2004).



a) Skema contoh tanah setelah tergeser.



b) Skema pengujian

Gambar 2. 2 : Uji geser langsung

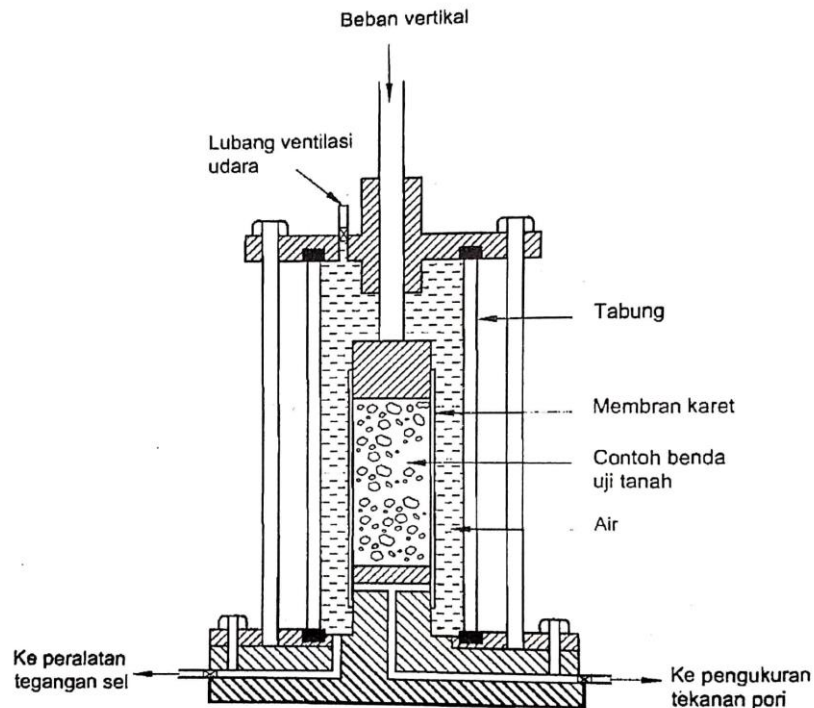
(Hardiyatmo, 2019)

2. Uji Triaxial

Pengujian ini dilakukan dengan benda uji dengan diameter kira-kira 3,81 cm dan tinggi 7,62 cm. Benda uji dimasukkan kedalam selubung karet tipis yang diletakkan ke dalam tabung kaca. Biasanya ruang di dalam tabung diisi dengan air atau udara. Benda uji ditekan oleh tekanan sel (σ_3), yang berasal dari tekanan cairan di dalam tabung. Udara dalam tabung digunakan untuk penerapan tekanan selnya (*confining pressure*). Selanjutnya pengujian dilakukan dengan menghubungkan pengatur drainase ke dalam maupun ke luar benda uji. Pengujian ini untuk menentukan besarnya kuat geser tanah baik dalam kondisi kering maupun jenuh terhadap tarikan atau desakan. Uji Triaksial ini dapat dilakukan dengan dengan 3 cara, yaitu (Hardiyatmo, 2019) :

- a. *Unconsolidated-Undrained UU* (tak terkonsolidasi – tak terdrainase)

- b. *Consolidated-Undrained CU* (terkonsolidasi – tak terdrainase)
- c. *Consolidated-Drained CD* (terkonsolidasi – terdrainase).



Gambar 2. 3 : Alat uji Triaxial
(Hardiyatmo, 2019)

2.2.4 Uji Lapangan

Pengujian laboratorium dilakukan untuk mengetahui kondisi susunan material tanah yang beragam. Macam-macam tanah yang banyak ragamnya tersebut tidak hanya disebabkan faktor-faktor seperti ukuran, bentuk butiran, kandungan material dalam tanah dan kadar airnya, melainkan juga kondisi cuaca.

2.2.4.1 Soil Sample

Pengambilan sampel tanah dilakukan dalam kondisi tanah asli. Sampel diambil dengan lubang uji baik lubang pengujian dalam ataupun lubang bor. Beberapa jenis penujian material tanah di lapangan berupa (Soedibyo, 1993) :

1. Lubang Uji (*Test Pit*)

Lubang uji dibuat dengan bujur sangkar atau persegi panjang dengan ukuran 150 cm x 300 cm dan kedalaman 500 cm. Pemompaan dilakukan secukupnya apabila

didapati air pada lubang uji dan dilakukan perkuatan berupa blok kayu atau papan jika dinding tanah longsor.

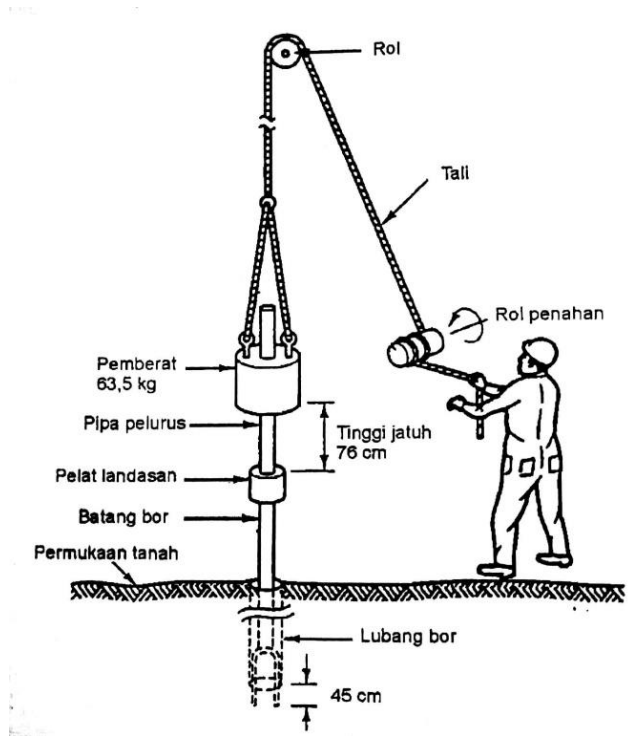
2. Lubang Uji Dalam (*Test Shaft*)

Diameter lubang sama dengan *test pit*, tetapi kedalaman lubang lebih dari 5 m. Dan agar lebih stabil lubang bisa berbentuk lingkaran.

2.2.4.2 N-SPT

Standard Penetration Test dilakukan guna memperoleh data kapasitas dukung tanah berupa kerapatan relatif, terlebih pada tanah yang non kohesif seperti pasir dan kerikil. Pengujian menggunakan alat tabung belah standar atau *split barrel sampler*. Pengujian dilakukan dengan membuat lubang bor pada kedalaman uji serta diameter berkisar 6 – 20 cm. Alat ditancapkan ke tanah dengan tarik pukulan setinggi 76 cm dan berat 63,5 kg. Pukulan dilakukan secara berulang hingga kedalaman 45 cm, setiap 15 cm kedalaman jumlah pukulan dicatat. Pada setiap 15 cm kedalaman pengujian dihentikan apabila jumlah pukulan melebihi 50 kali, dan apabila lebih dari 100 pukulan berulang. Nilai N (*n value*) berupa jumlah pukulan per kaki (*blows per foot*).

Sampel tanah diambil dari alat yang dikeluarkan dari lubang bor saat pengeboran selesai. Sampel tanah dapat digunakan dalam klasifikasi tanah seperti batas *Atterberg* dan *grand size analysis*. Namun, tidak cocok untuk pengujian lain dikarenakan jarak yang melintasi terlalu kecil dan dianggap salah.



Gambar 2. 4 : Pengujian SPT secara manual
(Hardiyatmo, 2018)

2.2.4.3 Lugeon Test

Uji air lugeon merupakan modifikasi dari uji tekanan air (uji packer) dengan maksud menentukan besarnya angka lugeon (L_u) dari formasi batuan, berupa nilai yang menunjukkan besarnya volume yang rembes ke dalam formasi batuan sepanjang 1 meter selama 1 menit. Uji ini serupa dengan uji *packer*, hanya menggunakan tekanan standar sebesar 10 bar (10 kg/cm^2). Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali, dengan mencatat debit air yang masuk ke dalam formasi batuan selama 10 menit. Nilai lugeon dihitung dengan persamaan berikut :

$$Lu = q \times \frac{10}{PL} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

- Lu = nilai Lugeon (liter/meter/menit)
- P = tekanan modifikasi selama pengujian (kg/cm^2)
- L = panjang atau interval pengukuran dari formasi/batuan yang diuji (m)
- q = debit air yang masuk ke dalam formasi batuan (liter/menit).

2.2.4.4 Uji Density (*In Situ Field Density*)

Uji kepadatan lapangan menggunakan metode *water replacement* SNI 03-6872-2002. *Water Replacement Test* merupakan tes yang digunakan untuk menentukan kepadatan lapangan dalam lubang galian yang besar, yang ditujukan untuk penimbunan struktural. Tujuan dari *Water Replacement Test* yaitu untuk mencari derajat kepadatan yang ada di Lapangan sesuai dengan jumlah lintasan.

2.2.4.5 Uji Rembesan (*In Situ Permeability*)

Uji Kelulusan air (*Falling Head Methode*) USBR 7300-89 bertujuan untuk mencari nilai permeabilitas (K) dari suatu jenis tanah. *Test Falling Head* dalam pekerjaan *maindam* untuk mencari nilai rembesan yang terjadi sehingga rembesan yang terjadi dapat terkontrol dengan baik.

2.3 TIMBUNAN

2.3.1 Definisi Umum

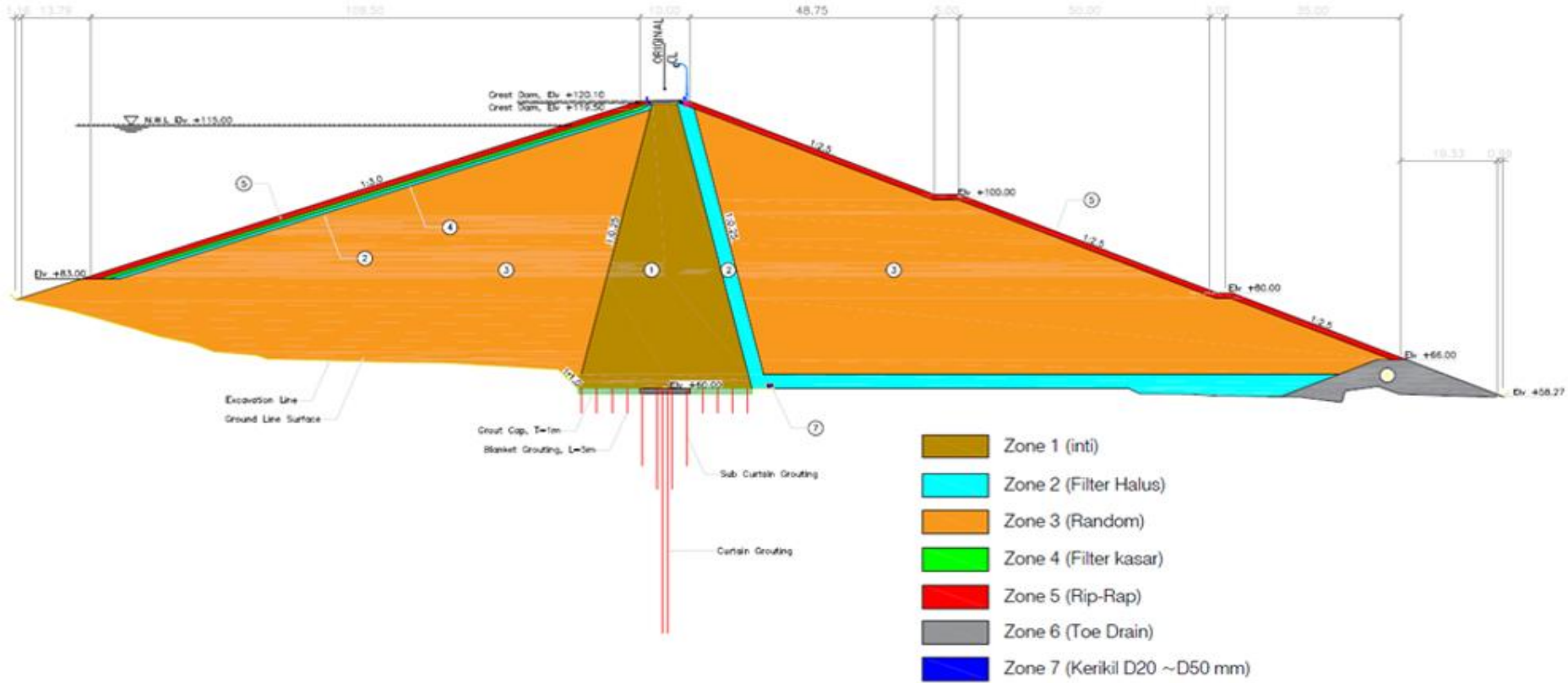
Menurut (Ervianto, 2004) yakni timbunan tanah pada dasarnya adalah pekerjaan pemadatan tanah. Timbunan tanah yang dilakukan pada pekerjaan tanah biasanya diberi standard kepadatan yang digunakan/ dilakukan sampai jalan lapisa beton 50-100 cm ukuran stadarta protokol (misalnya 95% tandan protland).

2.3.2 Kendali Mutu Timbunan Bendungan

Timbunan pada tubuh bendungan terdiri dari beberapa zona dengan berbagai jenis material dengan manfaat dan tujuan masing- masing. Dalam pekerjaan timbunan ini memerlukan banyak material timbunan yang berkualitas baik yang mengacu pada spesifikasi teknis yang telah ditentukan dalam perencanaan. Dalam hal ini Bendungan Jragung terbagi atas tujuh zona timbunan, antara lain :

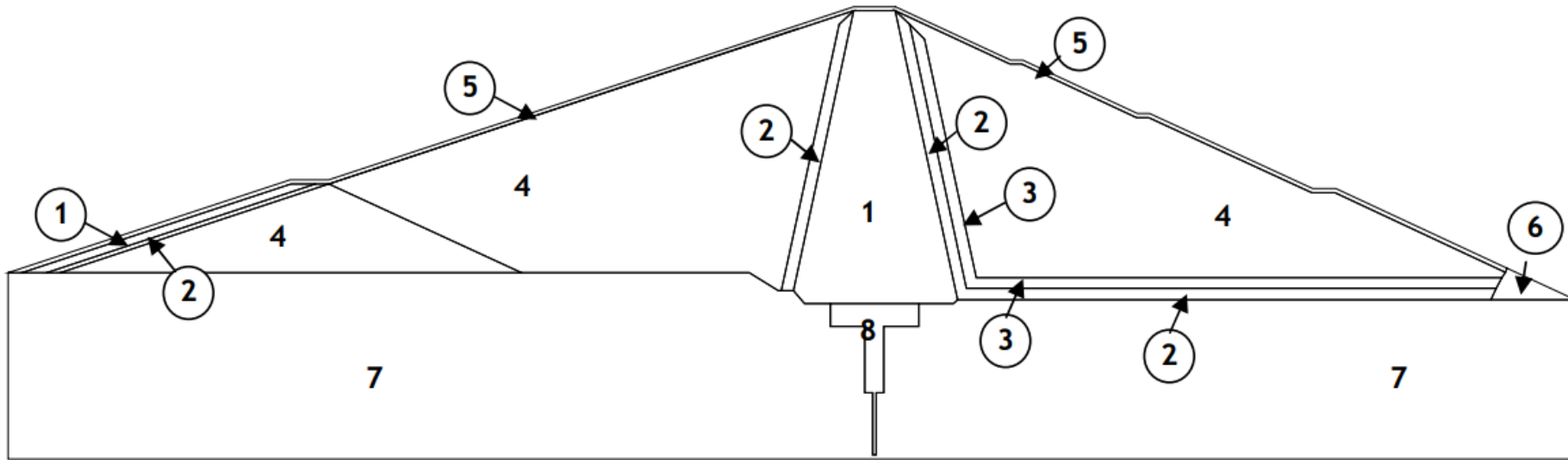
1. Timbunan Inti Kedap Air (Zona 1),
2. Timbunan Filter Halus (Zona 2),
3. Timbunan Random (Zona 3),
4. Timbunan Filter Kasar (Zona 4),
5. Timbunan Rip Rap (Zona 5),
6. Timbunan Toe Drain (Zona 6), dan
7. Timbunan Drain (Zona 7).

Tujuh zona timbunan Bendungan Jragung tersaji dalam *lay out* Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 : Lay Out Zona Timbunan

Berikut ini merupakan tipikal Bendungan Jragung berdasarkan Laporan Utama Detail Desain Bendungan Jragung tahun 2015 yang tersaji pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2. 6 : Tipikal Bendungan Jragung

(SPESIFIKASI TEKNIK Pekerjaan : Pembangunan Bendungan Jragung Paket I Kabupaten Semarang, n.d.)

Keterangan :

1	Inti Kedap Air
2	Filter Halus
3	Filter Kasar

4	Random
5	Rip Rap
6	Drain

7	Pondasi
8	Tirai Grouting

Timbunan yang terdiri dari tujuh zona tersebut, perlu dilakukan berbagai pengujian tiap-tiap zonanya dengan standar yang telah ditentukan pada spesifikasi teknis, guna memastikan material benar-benar memiliki mutu yang baik. Pengujian tersebut telah termaktub pada tabel uji kendali mutu berikut :

Tabel 2. 3 : Uji Kendali Mutu Bendungan Jragung

Zona	Jenis	Standard yang harus dipenuhi
Zona Kedap Air	Kedap Air	JIS A 1203
	Gradasi	JIS A 1102, 1204
	Specific Grafity	JIS A 1110, 1202
Material Kontak	Atterberg Limits	JIS A 1205, 1206
	Standard Comparation	JIS A 1210, 10 cm mould
	In-Situ Density	diameter 10 cm, Water Replacement Method
Zona Kedap Air	Kedap Air	JIS A 1203
	Gradasi	JIS A 1102, 1204
	Specific Grafity	JIS A 1110, 1202
	Atterberg Limits	JIS A 1205, 1206
	Standard Comparation	JIS A 1218, 10 cm mould, Falling Head Method
Material Kedap Air	Permeability	JIS A 1210, 10 cm mould
	In-Situ Density	30 cm in diameter, Water Replacement Method
	In-Situ Permeability	30 cm in diameter, Constant Head Method
	Tri-axial Compressive Strength	CU Test with Pore Pressure Measurement
Zona Filter	Gradasi	JIS A 1102, 1204
	Specific Grafity	JIS A 1109, 1110
	Relative Density	30 cm mould, Max. and Min. Dry Density
	Permeability	30 cm in diameter, Constant Head Method
	In-Situ Density	40 cm in diameter, Water Replacement Method
	Durability	JIS A 1121, 1122
	In-Situ Permeability	40 cm in diameter, Falling Head Method
Zona Lolos Air	Gradasi	JIS A 1102, 1204
	Specific Grafity	JIS A 1110
	In-Situ Density	200 cm in diameter, Water Replacement Method
	In-Situ Permeability	200 cm in diameter, Falling Head Method

(SPESIFIKASI TEKNIK Pekerjaan : Pembangunan Bendungan Jragung Paket I
Kabupaten Semarang, n.d.)

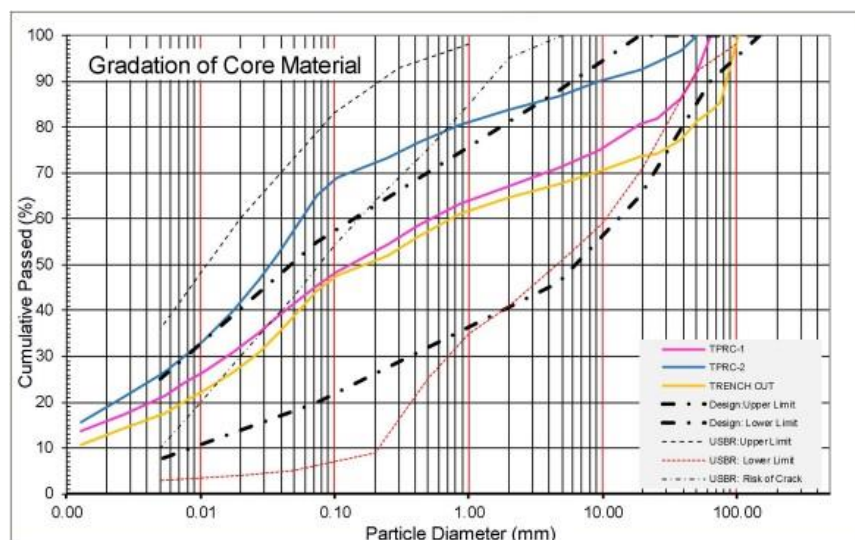
2.3.3 Spesifikasi Material Timbunan

Timbunan pada tubuh Bendungan Jragung terbagi atas beberapa zona. Yaitu timbunan inti kedap air (zona 1), timbunan filter halus (zona 2), timbunan random (zona 3), timbunan filter kasar (zona 4), timbunan rip rap (zona 5), timbunan toe drain (zona 6), dan timbunan drain (zona 7). Masing – masing zona memiliki spesifikasi yang harus dipenuhi sebagai material timbunan sebagai berikut :

2.3.3.1 Zona 1 (Zona Inti Kedap Air)

Spesifikasi teknik pada zona inti kedap air sebagai berikut :

- Material zona inti kedap air dan kontak di bawah zona kedap air harus seragam dan diambil dari borrow area candirejo yang ditunjuk didalam Gambar dan disetujui oleh Direksi Pekerjaan.
- Indeks plastisitas (PI) tidak boleh kurang dari 15%
- Permeabilitas lapangan harus kurang dari $1,0 \times 10^{-5}$
- Menghasilkan distribusi dan gradasi yang seragam sepanjang timbunan
- Setelah dipadatkan sesuai dengan persyaratan pada spesifikasi ini, lapisan tidak boleh lebih tebal dai 250 mm
- kepadatan kering mencapai lebih 95% dari MDD
- material untuk zona inti merupakan material yang Non-Dispersif.



Gambar 2. 7 : Grafik Gradasi Material Inti Kedap Air

(SPESIFIKASI TEKNIK Pekerjaan : Pembangunan Bendungan Jragung Paket I Kabupaten Semarang, n.d.)

Tabel 2. 4 : Gradasi Material Inti Kedap Air

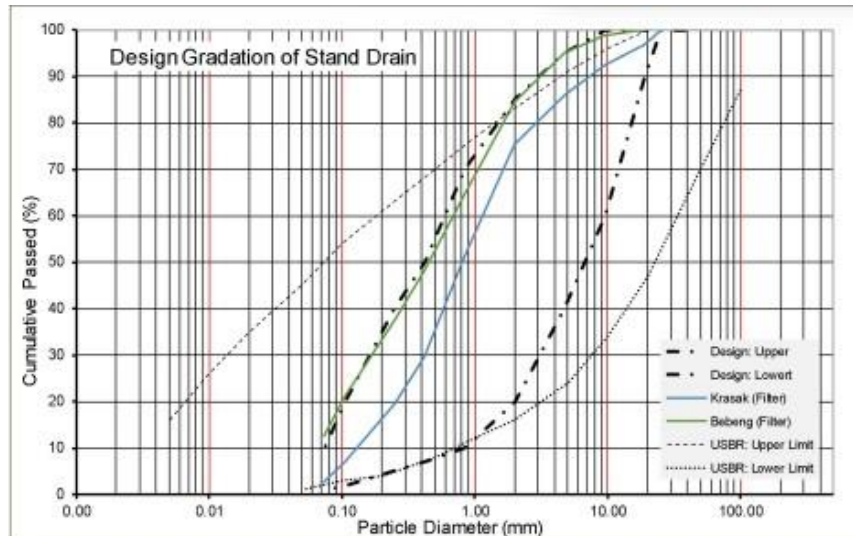
Sieve Size (mm)	Design: Lower Limit	Design: Upper Limit
0.005	25	7.5
0.074	55	20
4.75	88	46
19	100	65
63.5	100	90
150	100	100

(SPESIFIKASI TEKNIK Pekerjaan : Pembangunan Bendungan Jragung Paket I Kabupaten Semarang, n.d.)

2.3.3.2 Zona 2 dan 4 (Zona Filter)

Spesifikasi teknik pada zona filter sebagai berikut :

- a. Material filter harus terdiri dari campuran non-plastis dari pasir, kerikil, pecahan batu, yang setiap partikel individunya keras dan tahan lama, bebas dari tanah liat, lumpur dan bahan-bahan organik.
- b. Permeabilitas lapangan haruslah tidak kurang dari 1.0×10^{-4} cm/detik.
- c. Pada 500 putaran kehilangan, menggunakan gradasi A pada the uji abrasi Los Angeles, melampaui 45 % dari massa
- d. Jika dilakukan 5 putaran uji sodium sulphate untuk soundness, kehilangan berat massa lebih dari 14 %.



Gambar 2. 8 : Grafik Gradasi Material Filter

(SPESIFIKASI TEKNIK Pekerjaan : Pembangunan Bendungan Jragung Paket I Kabupaten Semarang, n.d.)

Tabel 2. 5 : Gradasi Material Filter

Sieve Size (mm)	Design: Lower Limit	Design: Upper Limit
38.1	100	100
25.4	100	100
19.1	100	90
9.52	100	60
4.75	95	40
2	85	20
0.84	70	10
0.42	50	7
0.25	40	5
0.105	20	2
0.074	10	1

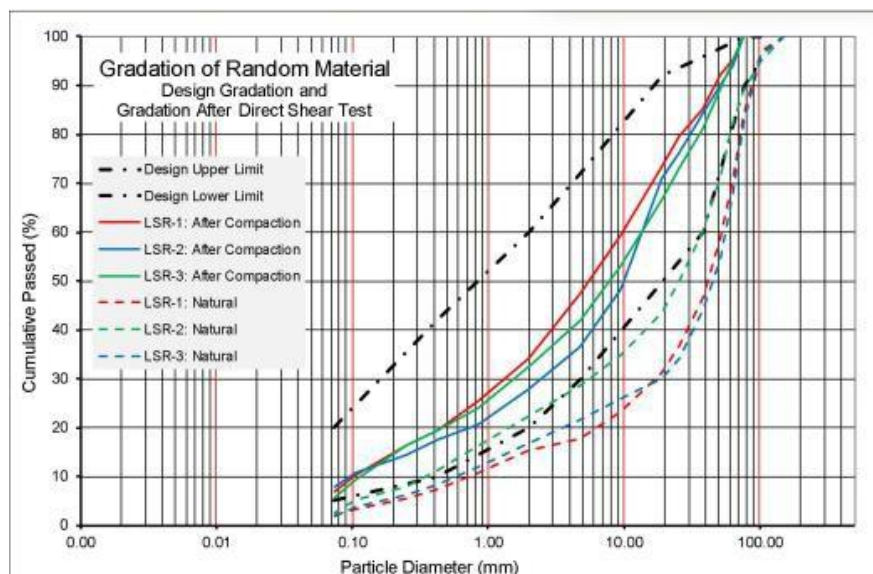
(SPESIFIKASI TEKNIK Pekerjaan : Pembangunan Bendungan Jragung Paket I Kabupaten Semarang, n.d.)

2.3.3.3 Zona 3 (Zona Random Kasar)

Spesifikasi teknik pada zona random sebagai berikut :

- a. Material untuk timbunan Random berasal dari aglomerat di borrow area Penawangan

- b. Prosentase berat butiran yang lolos saringan 4.76 mm antara 5% sampai 15%
- c. Prosentase berat butiran yang tertahan saringan 19.1 mm antara 12% sampai dengan 32%
- d. material pilihan berupa silty clay-clayey silt tuffaan bercampur dengan kerikil dan boulder yang bergradasi baik, awet, dan keras
- e. Kepadatan (MDD) rata-rata 1.590 kg/cm, dengan nilai $C = 0.78$ kg/cm dan $\phi' = 36.8^\circ$
- f. Indeks plastisitas (PI) antara 20% sampai 45%.
- g. Koefisien permeabilitas lebih kecil atau sama dengan 3.54×10^{-4} cm/detik setelah dipadatkan
- h. Menghasilkan distribusi dan gradasi yang seragam sepanjang timbunan.
- i. Tidak mengandung akar-akar tanaman, tonggak-tonggak kayu, humus dan kotoran lainnya.



Gambar 2. 9 : Grafik Gradasi Material Random

(SPESIFIKASI TEKNIK Pekerjaan : Pembangunan Bendungan Jragung Paket I
Kabupaten Semarang, n.d.)

Tabel 2. 6 : Gradasi Material Random

Sieve Size (mm)	Design: Lower Limit	Design: Upper Limit
0.074	20.0	5
0.420	42.0	10
2.000	60.0	20.0
4.750	72.0	30.0
19.100	92.0	50.0
38.100	96.0	60.0
76.200	100.0	90.0
101.600	100.0	95.0

(SPESIFIKASI TEKNIK Pekerjaan : Pembangunan Bendungan Jragung Paket I Kabupaten Semarang, n.d.)

2.3.3.4 Zona 5 (Zona Rip Rap)

Spesifikasi teknik pada zona material batu Rip Rap sebagai berikut :

- a. Diameter batuan rata-rata tidak boleh kurang dari 500 mm; diameter maksimum 1000 mm.
- b. Bulk density minimum batuan harus 2.500 kg/m³.
- c. Penyerapan air maksimum yang diizinkan = 2%.
- d. Batu harus ditempatkan sedemikian rupa untuk menghindari adanya kekosongan yang besar.
- e. Compressive Strenght 350 – 450 kg/cm² (SNI 8062:2015).

2.3.3.5 Zona 6 (Toe Drain)

Material untuk toe drain adalah batu bulat (batu kali, cobble stone) bergradasi antara 50 mm hingga 75 mm.

2.3.3.6 Zona 7 (Drain)

Material untuk drainase harus mempunyai kualitas sama dengan material filter. Material untuk drain bergradasi antara 20 mm hingga 80 mm.

2.4 STABILITAS LERENG

Analisis stabilitas lereng adalah pilar fundamental yang membantu menentukan geometri lereng yang aman, mengantisipasi dampak dari perubahan lingkungan, dan merencanakan tindakan mitigasi yang efektif. Dengan mempertimbangkan pernyataan-pernyataan tersebut, tak terbantahkan bahwa analisis stabilitas lereng bukan hanya sekadar elemen pendukung, melainkan fondasi utama yang harus diperhitungkan dalam seluruh aspek perencanaan, desain, dan operasi bendungan. Penyebab kelongsoran lereng terbagi atas (Terzaghi, 1943) :

1. Akibat pengaruh dalam, yaitu longsor yang terjadi dengan tanpa adanya perubahan kondisi luar atau gempa bumi.
2. Akibat pengaruh luar, yaitu pengaruh yang menyebabkan bertambahnya gaya geser tanpa adanya perubahan kuat geser tanah.

Pada kondisi tanah yang miring, terdapat gaya gravitasi yang memiliki gaya tarik yang menggerakkan tanah ke bawah. Peristiwa longsor terjadi apabila gaya gravitasi tersebut sangat besar dan kekuatan geser tidak mampu menahannya (Hardiyatmo, 2018). Terdapat beberapa faktor yang menjadi sebab kegagalan lereng atau tanah longsor, yaitu :

- a. Beban tambahan pada lereng.
- b. Penggalian pada lereng.
- c. Perubahan tinggi muka air dengan cepat (*rapid draw down*).
- d. Kenaikan tekanan lateral akibat air.
- e. Gempa bumi.

Menurunnya tahanan geser tanah akibat kadar air, kenaikan air pori, rembesan yang disebabkan genangan air dalam tanah, sedangkan untuk tanah lempung sangat mudah mengalami kembang susut.

2.4.1 Teori Analisis Stabilitas Lereng

Kekuatan geser tanah mempunyai peranan penting dalam menentukan stabilitas dari bendungan. Apabila kuat gesernya buruk, maka stabilitas atau faktor keamanannya akan kecil, tetapi apabila kuat gesernya baik, maka stabilitas atau faktor keamanannya akan besar sehingga konstruksi akan stabil.

Metode analisa tegangan dalam kuat geser tanah ada dua, yaitu :

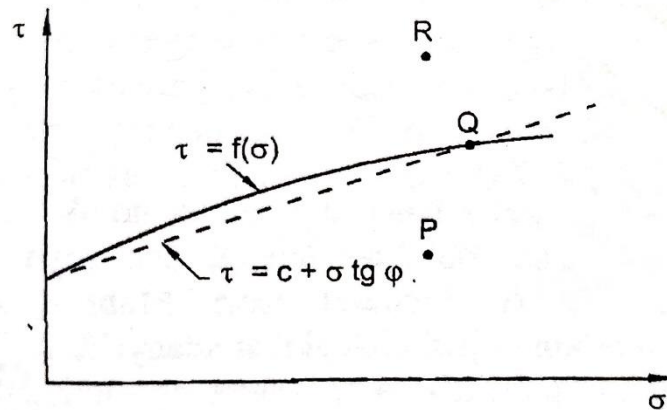
1. Metode kuat geser efektif

Analisa dengan metode kuat geser efektif memperhitungkan perubahan tekanan air pori selama konstruksi yang merupakan fungsi dari waktu.

2. Metode kuat geser total

Metode kuat geser dimana tidak memperhitungkan tekanan air pori dalam uji laboratorium yang mendekati kondisi lapangan.

Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb, dimana sumbu horizontal menunjukkan tegangan normal, sedangkan sumbu vertical menunjukkan tegangan geser atau τ . τ menunjukkan besarnya tegangan geser dimana selubung keruntuhannya dinyatakan oleh garis linear yang berpotongan dengan sumbu vertical menunjukkan besarnya nilai kohesi C.



Gambar 2. 10 : Kriteria Kegagalan Mohr-Coulomb

(Hardiyatmo, 2018)

Jika kedudukan tegangan-tegangan baru mencapai titik P, keruntuhan tanah akibat geser tidak akan terjadi. Keruntuhan geser akan terjadi jika tegangan-tegangan mencapai titik Q yang terletak pada garis selubung kegagalan (*veil of failure*). Kedudukan tegangan yang ditunjukkan oleh titik R tidak akan terjadi, karena sebelum tegangan mencapai titik R, bahan sudah mengalami keruntuhan. Kuat geser tanah merupakan gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis stabilitas lereng. Kuat geser tanah meliputi :

1. Bagian yang bersifat kohesif bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya.
2. Gesekan antara butiran tanah besarnya sebanding dengan tegangan efektif yang bekerja pada pada bidang geser.

Tegangan efektif yang terjadi di dalam tanah sangat dipengaruhi oleh tekanan air pori. Tegangan efektif diubah dari persamaan Coulomb sebagai berikut :

$$\tau' = C' + (\sigma - u) \operatorname{tg}\Phi' \dots\dots\dots(2.7)$$

Karena, $\sigma' = \sigma - u$, maka

$$\tau' = C' + \sigma' \operatorname{tg}\Phi' \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

- τ' = tegangan geser efektif (kN/m²)
- C' = kohesi tanah efektif (kN/m²)
- σ = tegangan geser total dikurangi (kN/m²)
- u = tekanan air pori (kN/m²)
- Φ' = sudut geser dalam efektif (°)

2.4.2 Metode-Metode Dalam Perhitungan Stabilitas Lereng

Dalam perhitungan stabilitas tanah, terdapat beberapa metode yang digunakan untuk mengevaluasi kemampuan suatu lereng atau struktur untuk menjaga integritasnya terhadap gaya-gaya eksternal. Berikut adalah beberapa metode umum dalam perhitungan stabilitas tanah:

1. Metode Keseimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method*)

Metode ini adalah pendekatan paling umum yang digunakan dalam analisis stabilitas tanah. Prinsipnya adalah mencari titik keseimbangan di mana momen dan gaya geser internal tanah sama dengan momen dan gaya geser eksternal yang bekerja pada lereng. Metode ini mencakup beberapa submetode seperti metode *Morgenstern-Price*, metode *Bishop*, dan metode *Janbu*. Hasil analisis biasanya dinyatakan dalam factor keamanan (FK), sebagai berikut :

$$FK = \frac{\text{Kuat geser (shear strength)}}{\text{Tegangan geser (shear stress)}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan :

$$FK = \frac{S}{\tau} \geq 1 \text{ aman}$$

atau $S > \tau$, aman

$S < \tau$, tidak stabil

Tabel 2. 7 : Analisis Stabilitas dengan Cara Keseimbangan Batas

Metode	Program	Karakteristik
Bishop termodifikasi (1955)	Mstabl, Mstab, Slope-w, Stabl-g, Sb-slope, Stablgm	Hanya bidang runtuh lingkaran, memenuhi keseimbangan momen, tidak memenuhi keseimbangan gayagaya horisontal dan vertikal
Force Equilibrium (Lowe dan Karafiat, 1960 dan US Corps Of Engineers 1970)	Utexas2, Utexas3, Slope-w	Segala bentuk bidang runtuh, tidak memenuhi keseimbangan momen, memenuhi keseimbangan gaya-gaya horisontal dan vertikal
Janbu's Generalized Procedure (Janbu, 1968)	Stabl-g,	Segala bentuk bidang runtuh, memenuhi segala kondisi keseimbangan, lokasi gaya samping dapat divariasi.
Morgenstern and Price's, (1965)	Slope-w	Segala bentuk bidang runtuh, memenuhi segala kondisi keseimbangan, lokasi gaya samping dapat divariasi
Spencer's (1967)	Mstab, Slope-w, Sb-slope, Sstab2	Segala bentuk bidang runtuh, memenuhi segala kondisi keseimbangan, lokasi gaya samping dapat divariasi

(SNI 8064-2016 : Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Tipe Urugan, 2016)

2. Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*)

Metode elemen hingga adalah pendekatan numerik yang lebih kompleks, yang membagi tanah menjadi elemen-elemen kecil dan memodelkan perilaku tanah berdasarkan persamaan fisika. Metode ini dapat mengatasi geometri dan kondisi beban yang kompleks, serta efek dinamis, dan biasanya diimplementasikan dalam perangkat lunak analisis geoteknik. Hasil analisis dengan cara elemen hingga, dapat berupa perubahan tegangan dan regangan untuk berbagai sifat elastisitas material, heterogenitas massa tanah dan bentuk geometri. Berikut merupakan program yang digunakan untuk analisis dengan cara elemen hingga :

Tabel 2. 8 : Program Elemen Hingga Yang Dapat Digunakan Untuk Analisis

No.	Program	Kemampuan	Keterangan
1	Plaxis 7.2.	Menghitung tegangan dan regangan baik waktu konstruksi berlangsung maupun waktu terjadi aliran langgeng; untuk menilai apakah lereng dalam keadaan stabil dapat dilihat dari nilai $t/t_{max} < 1$ (stabil).	
2	Sigma-w	Menghitung tegangan dan regangan baik waktu konstruksi berlangsung maupun waktu terjadi aliran langgeng; untuk menilai apakah lereng dalam keadaan stabil dapat dilihat dari nilai $t/t_{max} < 1$ (stabil).	Perhitungan FK dapat dilakukan dengan Slope-w dengan menggunakan tegangan geser yang diperoleh dari Sigma-w

(SNI 8064-2016 : Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Tipe Urugan, 2016)

3. Metode Elemen Batas (*Boundary Element Method*)

Mirip dengan metode elemen hingga, metode ini fokus pada persamaan yang diterapkan pada batas antara zona stabilitas dan zona tidak stabil pada lereng. Metode ini terutama efisien untuk analisis ketika perubahan geometri sangat signifikan.

4. Metode Penyederhanaan Analitis

Beberapa metode analitis lebih sederhana digunakan untuk mengestimasi stabilitas tanah dalam kondisi tertentu. Contoh termasuk metode *Culmann*, metode *Bishop Simplified*, dan metode *Taylor*. Meskipun hasilnya bisa lebih kasar, metode ini berguna untuk analisis cepat atau tahap awal perencanaan.

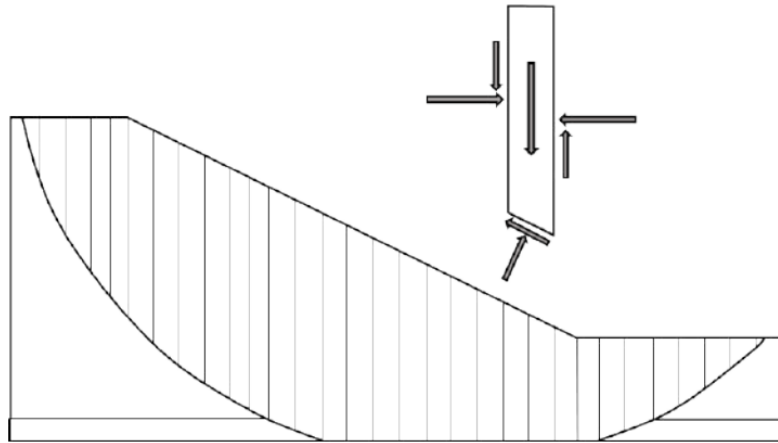
5. Metode Analisis Numerik Umum

Selain metode khusus untuk stabilitas tanah, ada pula perangkat lunak analisis numerik umum seperti PLAXIS, ABAQUS, dan FLAC yang dapat digunakan untuk menganalisis stabilitas tanah. Metode ini dapat mengatasi berbagai masalah geoteknik dengan akurasi tinggi, tetapi memerlukan pemahaman mendalam tentang pemodelan dan interpretasi hasil.

Setiap metode memiliki kelebihan dan keterbatasan tersendiri. Pilihan metode tergantung pada kompleksitas kondisi geoteknik yang dihadapi, ketersediaan data, dan tujuan analisis.

2.4.3 Teknik Penyelesaian Metode Keseimbangan Batas

Analisis stabilitas lereng dengan metode keseimbangan batas atau *limit equilibrium* dapat dikerjakan menggunakan beberapa teknik penyelesaian. Teknik-teknik penyelesaian tersebut bercirikan persamaan statika yang terpenuhi dan asumsi hubungan antara geser antar kolom dan gaya normal. Gaya normal dan gaya geser bekerja pada dasar dan sisi kolom, geser antar kolom dan gaya normal bekerja pada tepi vertical. Massa geser dianggap berada pada kondisi kesetimbangan batas atau pada titik runtuhnya, sehingga jumlah seluruh gaya dan momen yang bekerja pada semua kolom sama dengan nol.



Gambar 2. 11 : Diskritisasi kolom dan gaya kolom untuk massa geser

(*Slope Stability Modeling, 2023*)

Teknik penyelesaian pertama yang dikembangkan dikenal dengan metode *Ordinary* atau *Fellenius*. Cara ini mengabaikan semua gaya antar kolom dan hanya memenuhi kesetimbangan momen. Berdasarkan pada asumsi yang disederhanakan ini memungkinkan penghitungan faktor keamanan menggunakan perhitungan tangan. Selanjutnya *Bishop* (1955) mendesain sebuah skema yang memasukkan gaya normal antar kolom tetapi mengabaikan gaya geser antar kolom. Kemudian, cara *Bishop* yang disederhanakan atau *Simplified Bishop* hanya memenuhi keseimbangan momen. Memasukkan gaya antar kolom normal dan menghasilkan persamaan faktor keamanan non-linier yang memerlukan prosedur solusi yang berulang. Cara *Simplified Janbu* mirip dengan cara *Simplified Bishop* karena mencakup gaya normal antar kolom dan mengabaikan gaya geser antar kolom. Namun, cara *Janbu* memenuhi kesetimbangan gaya horizontal, bukan kesetimbangan momen.

Era kini sangat memungkinkan proses komputasi dengan mudah untuk menangani prosedur berulang yang melekat pada metode keseimbangan batas, yang menjurus pada perhitungan matematis yang rumit dan mencakup semua gaya antar kolom dan memenuhi semua persamaan statika. Dua cara tersebut adalah *Morgenstern-Price* dan *Spencer*. Tabel 1 mencantumkan cara atau metode yang tersedia di *GeoStudio*, beserta persamaan statika yang dipenuhi untuk masing-masing metode atau cara.

Tabel 2. 9 : Persamaan Statika yang Dipenuhi Untuk Setiap Metode

Cara	2D	3D	Momen Keseimbangan	Keseimbangan Kekuatan
Ordinary atau Felenius	Ya	Tidak	Ya	Tidak
Bishop Simplified	Ya	Ya	Ya	Tidak
Janbu Simplified	Ya	Ya	Tidak	Ya
Spencer	Ya	Ya	Ya	Ya
Morgenstern-Price	Ya	Ya	Ya	Ya
Corps of Engineers - 1	Ya	Tidak	Tidak	Ya
Corps of Engineers - 2	Ya	Tidak	Tidak	Ya
Lowe-Karafiath	Ya	Tidak	Tidak	Ya
Janbu Generalized	Ya	Tidak	Ya (menurut kolom)	Ya
Sarma - vertical colums	Ya	Tidak	Ya	Ya

(*Slope Stability Modeling, 2023*)

Tabel 2.10 memberikan ringkasan gaya antar kolom yang termasuk dalam setiap metode dan asumsi hubungan antara gaya geser antar kolom dan gaya normal.

Tabel 2. 10 : Karakteristik dan Hubungan Antar Kolom

Cara	Antar Kolom Normal (E)	Antar Kolom Geser (X)	Hubungan X/E / Kecenderungan Resultan
Ordinary atau Felenius	Tidak	Tidak	Tidak ada gaya antar kolom
Bishop Simplified	Ya	Tidak	Tidak ada/Horizontal
Janbu Simplified	Ya	Tidak	Tidak ada/Horizontal
Spencer	Ya	Ya	Ditentukan/Konstan
Morgenstern-Price	Ya	Ya	Fungsi/Variabel Pengguna
Corps of Engineers - 1	Ya	Ya	Ditentukan/Kecenderungan garis dari puncak sampai ujung kaki

Cara	Antar Kolom Normal (E)	Antar Kolom Geser (X)	Hubungan X/E / Kecenderungan Resultan
Corps of Engineers - 2	Ya	Ya	Ditentukan/Kecenderungan permukaan tanah di bagian atas kolom
Lowe-Karafiath	Ya	Ya	Ditentukan/Rata-rata permukaan tanah dan kolom kemiringan dasar
Janbu Generalized	Ya	Ya	Garis yang ditentukan/Diterapkan gaya dorong dan momen keseimbangan kolom
Sarma - vertical columns	Ya	Ya	Ditentukan/ $X = c + E \tan \phi$

(Slope Stability Modeling, 2023)

Hubungan antara geser antar kolom dan gaya normal merupakan salah satu pembeda utama. *Spencer* mengasumsikan $= 1,0$, sedangkan *Morgenstern-Price* mengasumsikan hubungan setengah sinus, yang berarti geser antar kolom adalah nol pada puncak dan ujung permukaan slip, sedangkan garis geser dan garis normal sama besar pada titik tengah permukaan gelincir. Cara *Corps Engineers 1* menggunakan kemiringan (yaitu naik/turun) suatu garis dari puncak hingga ujung kaki untuk menentukan rasio, sedangkan metode *The Corps of Engineers method 1* menggunakan kemiringan permukaan tanah. Metode *Lowe-Karafiath* serupa, hanya saja metode ini menggunakan rata-rata kemiringan permukaan tanah dan dasar kolom. Metode *Sarma – kolom vertikal* menggunakan hubungan yang disajikan pada **Tabel 2.10**, menjadikan gaya geser antar kolom sebagai fungsi dari sudut kohesi dan gesekan.

2.5 STABILITAS BENDUNGAN TERHADAP REMBESAN

2.5.1 Teori Rembesan

(Darcy, 1856) ahli hidraulika dari Perancis itu mengadakan suatu percobaan aliran air yang melalui suatu lapisan tanah. Karena aliran air dalam lapisan tanah mempunyai kecepatan yang kecil sekali, maka aliran tersebut dapat dianggap sebagai aliran laminar. Darcy mendapatkan bahwa besarnya kecepatan aliran yang mengalir masuk ataupun keluar dari lapisan tanah sebanding dengan gradien hidrauliknya.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan pada hukum Darcy, adalah :

- a. Kecepatan aliran (V_d) adalah kecepatan aliran fluida dan didefinisikan sebagai jumlah kotor aliran yang mengalir melalui luas penampang massa tanah dalam satuan waktu tertentu. Karena aliran hanya terjadi melalui pori-pori tanah, aliran air yang riil atau kecepatan rembesan (V_s) untuk suatu molekul tunggal dari air yang melalui suatu alur unik dari pori-pori tanah adalah lebih besar dibandingkan dengan kecepatan debitnya.
- b. Kecepatan rembesan secara kasar adalah sama dengan kecepatan debit dibagi dengan porositas tanah.
- c. Hukum Darcy hanya berlaku untuk aliran laminar (aliran-aliran air yang berdekatan saling sejajar dan lurus serta kecepatan aliran V_d adalah proporsional dengan gradien hidraulik, i). Hukum ini berlaku untuk kebanyakan tanah, tetapi aliran melalui kerikil kasar dan bukaan dalam batuan dapat berubah menjadi turbulen dan V_d akan proporsional dengan akar kuadrat dari i .
- d. Hukum Darcy dibatasi untuk aliran melalui material yang jenuh. Aliran melalui material yang tak jenuh adalah dalam kondisi "transient" yang tergantung dari waktu (time dependent).
- e. Hukum Darcy tidak cocok untuk aliran melalui retakan atau rekahan dari batu atau tanah.

Hukum Darcy ditulis sebagai berikut :

$$Q = k \cdot i \cdot A \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

$$Q = \frac{k(h_1 - h_2)}{L} A \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\frac{Q}{A} = v = k \cdot i \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

Q = volume aliran air (cm³/dtk).

k = konstanta yang disebut koefisien permeabilitas (cm/dtk).

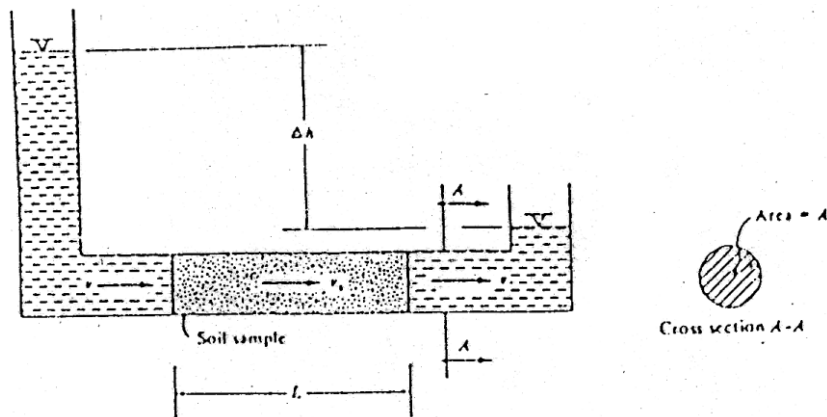
i = gradien hidrolis

A = luas penampang tanah (cm²).

h₁-h₂ = perbedaan tinggi muka air pada kedua ujung contoh tanah (cm).

L = panjang lapisan tanah rembesan (cm).

V = kecepatan aliran (cm³/dtk).

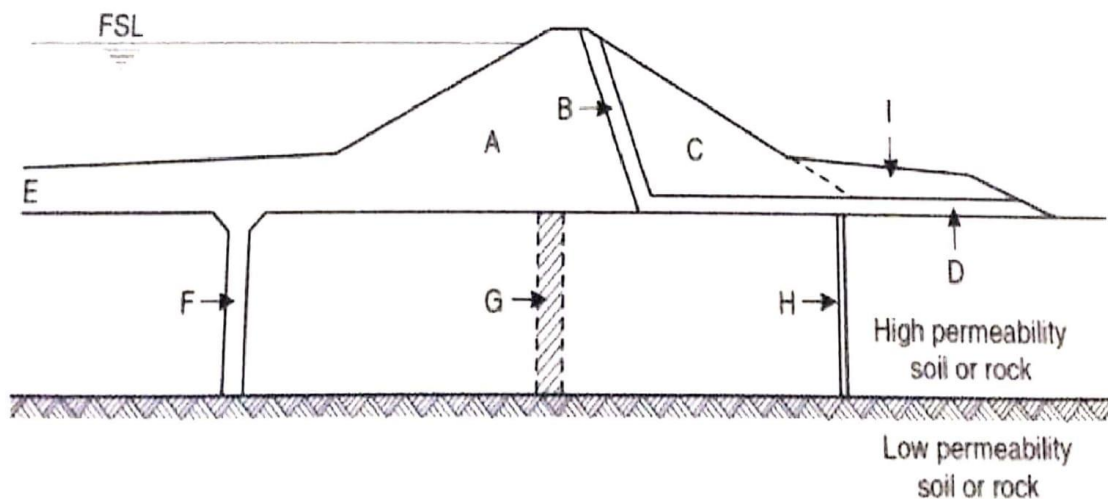


Gambar 2. 12 : Aliran Air Di Dalam Butiran Tanah, Menurut Darcy

(Modul Analisa Stabilitas Bendungan : Perhitungan Rembesan Pelatihan Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar, 2017)

2.5.2 Metode Penanganan Rembesan

Stabilitas bendungan urugan sangat dipengaruhi oleh adanya rembesan air. Maka dari itu, penting adanya meminimalkan bahaya akibat rembesan pada zonasi bendungan. Tersaji pada **Gambar 2.13**.



Gambar 2. 13 : Rancangan Bendungan Urugan Guna Meminimalisir Bahaya Rembesan dan Erosi, (Robin Fell, 2007).

Keterangan :

- a. Titik A merupakan zona inti yang memiliki permeabilitas tanah rendah.
- b. Titik B merupakan filter cerobong dengan bagian yang memotong tubuh bendungan untuk mengatasi peristiwa erosi internal dan mengontrol tekanan air pori tanah.
- c. Titik C merupakan zona hilir yang berfungsi sebagai stabilitas bendungan dan mengontrol tekanan air pori jika, permeabilitasnya lebih tinggi dari zona inti dan zona filter.
- d. Titik D merupakan filter saluran horisontal yang berguna dalam mengalirkan air yang tertangkap di saluran filter cerobong.
- e. Titik E merupakan selimut permeabilitas rendah di sisi hulu (*upstream low permeability blanket*) yang berfungsi untuk memperpanjang alur rembesan air dan juga mengurangi debit aliran rembesan dan exit gradien.
- f. Titik G merupakan grouting yang berfungsi sebagai pengurang peristiwa rembesan dan exit gradient.
- g. Titik H merupakan sumur pengering tekanan (*pressure relief wells*) yang berguna dalam membantu keluarnya air dari saluran horisontal sehingga tekanannya berkurang.
- h. Titik I merupakan tumit pemberat (*weight berm*) yang berfungsi untuk meningkatkan stabilitas tanah lereng di hulu dan mengatasi peristiwa boiling.

Dalam penggunaan pengamanan rembesan, disesuaikan dengan kondisi bendungan tersebut. Seperti pada bendungan urugan batu yang inti timbunannya berupa tanah *clay* atau

lempung dan diletakan diatas pondasi batuan yang kuat sehingga tahan akan bahaya erosi. Akan tetapi, pada pekerjaannya tetap saja membutuhkan pekerjaan grouting namun tanpa saluran filter horisontal.

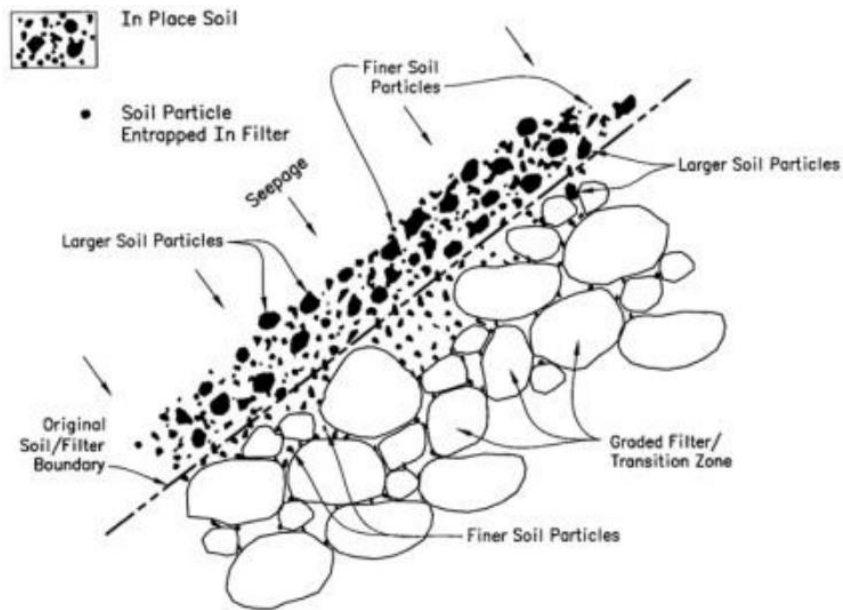
2.5.3 Pengendalian Rembesan

Penting adanya mengerti metode yang digunakan guna mengendalikan infiltrasi dan sangkutannya dengan bendungan dan bangunan pendukungnya. Pada dasarnya, cara mengoptimalkan pengendalian infiltrasi sebagai berikut :

- Timbunan filter dan transisi,
- Metode pengurangan rembesan,
- Berbagai macam drainasi,
- Perbaikan pada fondasi dan tumpuan.

a. Lapisan Filter

Lapisan filter berguna untuk melindungi terbawanya butiran material terhadap rembesan melalui tubuh dan fondasi bendungan, dan pada waktu bersamaan membiarkan air rembesan keluar tanpa memicu tekanan air pori berlebih. Lapisan filter tersebut dibuat secara tersendiri, atau saluran pembuang tersebut juga didesain sebagai filtrasi dan sekaligus untuk mengalir. Debit infiltrasi dan gradasi material urugan yang harus dihindari akan menentukan suatu rancangan penyaring yang diharapkan. Konsep dasar dari fungsi filter sebagai pelindung luruhnya gradasi material tanah digambarkan sebagai berikut :

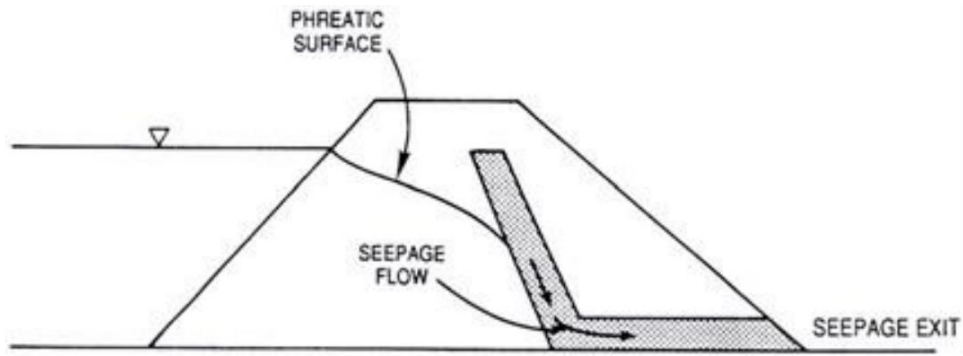


Gambar 2. 14 : Lapisan Filter Sebagai Pelindung Terhadap *Piping*

(Modul Analisa Stabilitas Bendungan : Perhitungan Rembesan Pelatihan Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar, 2017)

Lapisan filter juga digunakan untuk *piping*, melainkan juga untuk mengatasi masalah erosi internal. Oleh karenanya, air yang keluar adalah merupakan faktor sekunder untuk menyaring partikel tanah melalui retakan dan bangunan struktur bangunan pelengkap dan timbunan atau fondasi.

Lapisan filter yang dirancang serta dibangun dengan sesuai dapat “menangkap” rembesan yang terjadi pada timbunan. Rembesan dapat mengalir dengan bebas menuju saluran pembuang yang aman pada tepi bawah hilir timbunan tanpa membawa material tanah. Jika rembesan melalui retakan infiltrasi, retakan tersebut harus berakhir di permukaan sehingga rancangan hanya mempertimbangkan rembesan melalui material tanah. Apa bila suatu gradasi filter memenuhi persyaratan dasar, *piping* tidak akan terjadi, walaupun kemiringannya besar. Sebagai contoh lapisan filter harus cukup lebar, guna mengantisipasi retakan berkelanjutan serta terdapat kapasitas yang cukup untuk mengalirkan rembesan tanpa memicu tekanan air pori berlebihan.

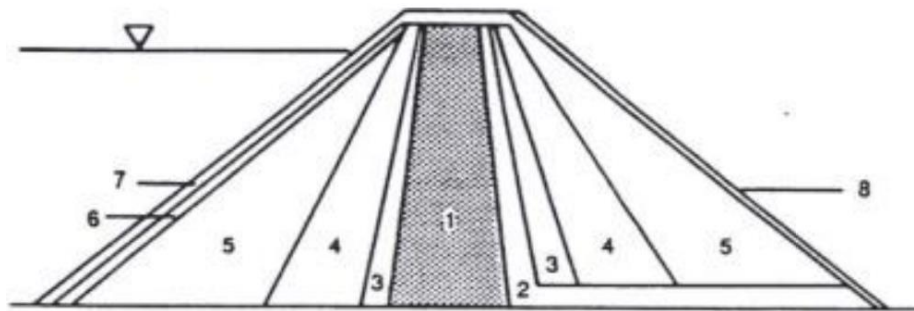


Gambar 2. 15 : Lapisan Filter yang dapat Menangkap Air Rembesan dengan Baik
(Modul Analisa Stabilitas Bendungan : Perhitungan Rembesan Pelatihan Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar, 2017)

b. Meminimalisir Rembesan

Metode ini digunakan untuk mengurangi tekanan air yang tinggi pada waduk yang merembes melewati timbunan. Berikut caranya :

- a. Desain bangunan bendungan tanah homogen dengan kemiringan yang relatif sangat landai,
- b. Desain zona inti condong ke arah hulu,
- c. Desain bendungan dengan area *core* di tengah,
- d. Struktur dinding inti terbuat dari beton atau tanah bentonit yang plastis.



Gambar 2. 16 : Zona Inti Kedap Air di Tengah

(Modul Analisa Stabilitas Bendungan : Perhitungan Rembesan Pelatihan Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar, 2017)

Keterangan:

1. Inti
2. Filter atau Drain

3. Transisi
4. Timbunan
5. Area pelindung luar
6. Transisi di hulu (*gravel* atau *riprap*)
7. Area pelindung stabilitas hulu (*typically riprap*)
8. Area pelindung stabilitas hilir.

2.6 STABILITAS BENDUNGAN AKIBAT BEBAN GEMPA

2.6.1 Kriteria Keamanan Minimum Stabilitas Bendungan Tipe Urugan

Pada analisis stabilitas lereng, faktor keamanan diartikan sebagai rasio dari total tahanan geser tanah yang diperbolehkan terhadap tegangan geser tanah. Keamanan dibutuhkan guna mempertahankan keseimbangan sepanjang permukaan bidang yang memiliki berpotensi terhadap tergelincir atau longsor. Faktor keamanan minimum pada desain stabilitas lereng ditentukan dengan mengutamakan dasar pertimbangan faktor-faktor pengawasan terhadap tekanan air pori dan asumsi kuat geser material. Berikut ini merupakan faktor keamanan minimum untuk stabilitas bendungan tipe urugan menurut SNI-8064-2016.

Tabel 2. 11 : Persyaratan Faktor Keamanan Minimum Untuk Stabilitas Bendungan Tipe Urugan

No	Kondisi	Kuat Geser	Tekanan Air Pori	FK Tanpa Gempa	FK dengan Gempa*
1.	Selesai konstruksi tergantung : 1. Jadwal konstruksi 2. Hubungan antara tekanan air pori dan waktu Lereng U/S dan D/S Dengan gempa tanpa kerusakan digunakan 50 % koefisien gempa desain.	1. Efektif	Peningkatan tekanan air pori pada urugan dan fondasi dihitung menggunakan data lab. dan pengawasan instrumen.	1,30	1,20
			Idem hanya tanpa pengawasan instrumen.	1,40	1,20
			Hanya pada urugan tanpa data lab. dan dengan/tanpa pengawasan instrumen.	1,30	1,20
		2. Total	Tanpa pengawasan instrumen.	1,30	1,20

No	Kondisi	Kuat Geser	Tekanan Air Pori	FK Tanpa Gempa	FK dengan Gempa*
	Aliran Langgeng tergantung : 1. Elevasi muka air normal sebelah udik. 2. Elevasi muka air sebelah hilir. Lereng U/S dan D/S. Dengan gempa tanpa kerusakan digunakan 100 % koef. gempa desain.	1. Efektif	Dari analisis rembesan.	1,50	1,20
3.	Pengoperasian waduk tergantung : 1. Elevasi muka air maksimum di udik 2. Elevasi muka air minimum di udik (dead storage). Lereng U/S harus dianalisis untuk kondisi surut cepat	1. Efektif	Surut cepat dari El. muka air normal sampai El. muka air minimum. Lereng U/S dan D/S.	1,30	1,10
			Surut cepat dari El. MA maksimum sampai El. MA minimum. Pengaruh gempa diambil 0 % dari koefisien gempa desain.	1,30	–
4.	Kondisi darurat tergantung: 1. Pembuntuan pada sistem drainase 2. Surut cepat karena penggunaan air melebihi kebutuhan. 3. Surut cepat keperluan darurat.	1. Efektif	Surut cepat dari El. MA maksimum sampai EL. terendah bangunan pengeluaran. Pengaruh gempa diabaikan.	1,20	–

* Catatan : Periksa standar tentang metode analisis stabilitas lereng dinamik bendungan tipe urugan.

(SNI 8064-2016 : Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Tipe Urugan, 2016)

Pembebanan gempa pada analisis ini menggunakan metode koefisien gempa termodifikasi. Dalam metode koefisien gempa termodifikasi koefisien gempa desain pada tubuh bendungan yang merupakan fungsi dari kesdalaman, dihitung dengan persamaan :

$$K_o = \alpha_2 \times k_h \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

K_o = koefisien gempa desain terkoreksi di permukaan tanah.

α_2 = koreksi pengaruh jenis struktur = 0,5 (untuk bendungan tipe urugan).

k_h = koefisien gempa dasar yang tergantung periode ulang T .

Pada analisis stabilitas lereng ini koefisien gempa pada kedalaman bidang gelincir Y dari puncak bendungan yang berbeda-beda. Analisis dilakukan pada tinjauan $Y = 0,25 H$; $0,50 H$; $0,75 H$; dan H (tinggi bendungan) dengan menggunakan K_h pada periode ulang sesuai yang disyaratkan. Koefisien gempa rata-rata K pada Y yang berbeda dihitung menggunakan persamaan berikut :

Untuk $0 < y/H \leq 0,4$

$$k = k_o \times (2,5 - 1,85 \times y/H) \dots\dots\dots(2.14)$$

Untuk $0,4 < y/H \leq 1,0$

$$k = k_o \times (2,0 - 0,60 \times y/H) \dots\dots\dots(2.15)$$

2.6.2 Perhitungan Klasifikasi Kelas Risiko *Hazard*

Risiko pada analisis stabilitas bendungan bertipe urugan terdapat empat faktor, diantaranya kapasitas waduk, tinggi bendungan, kebutuhan atas evakuasi, dan kerusakan di hilir. Kemudian, setiap faktor risiko diklasifikasi kedalam empat kondisi risiko, kondisi risiko ekstrem, kondisi risiko tinggi, kondisi risiko moderat, dan kondisi risiko rendah dengan pemberian nilai bobot. Faktor risiko dihitung untuk menentukan kelas beban gempa. Besarnya risiko bahaya bendungan dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$FR_{tot} = FR_k + FR_t + FR_e + FR_h \dots\dots\dots(2.16)$$

dimana :

FR_{tot} = faktor risiko total

FR_k = faktor risiko pengaruh kapasitas waduk

FR_t = faktor risiko pengaruh tinggi bendungan

FR_e = faktor risiko kebutuhan evakuasi

FR_h = faktor risiko tingkat kerusakan di hilir, didapati dari Pedoman Klasifikasi Bahaya Bendungan.

Dalam analisis penentuan kelas beban gempa memertimbangkan kriteria faktor-faktor risiko di atas dan disajikan pada **Tabel 2.12**.

Tabel 2. 12 : Faktor Risiko Untuk Evaluasi Keamanan Bendungan

Faktor Risiko	Angka bobot dalam kurung				
	Ekstrem	Tinggi	Moderat	Rendah	
Kapasitas ($10^6 m^3$) (FRk)	> 100 (6)	100 - 1,25 (4)	1,00 - 0,125 (2)	< 0,125 (0)	
Tinggi (m) (FRt)	> 45 (6)	45 - 30 (4)	30 - 15 (2)	< 15 (0)	
Kebutuhan evakuasi (Jumlah orang) (FRe)	> 1000 (12)	1000 - 100 (8)	100 - 1 (4)	0 (0)	
Tingkat kerusakan hilir (FRh)	Sangat Tinggi (12)	Tinggi (10)	Agak Tinggi (8)	Moderat (4)	Tidak Ada (0)

(Pedoman Konstruksi Dan Bangunan, Analisis Stabilitas Bendungan Akibat Beban Gempa, Kep. Men. Permukiman Dan Prasarana Wilayah No. 30/KPTS/M/2004, 1 Oktober 2004, 2004).

Berdasar pada akumulasi faktor risiko total, ditentukanlah kelas risiko untuk desain bendungan menurut **Tabel 2.13**. Dengan kelas risiko, kriteria beban gempa untuk desain bendungan dapat ditentukan berdasarkan **Tabel 2.14**.

Tabel 2. 13 : Kelas Risiko Bendungan dan Bangunan Air

Kelas Risiko Total	Kelas Risiko
(0-6)	I (Rendah)
(7-18)	II (Moderat)
(19-30)	III (Tinggi)
(31-36)	IV (Ekstrem)

(Pedoman Konstruksi Dan Bangunan, Analisis Stabilitas Bendungan Akibat Beban Gempa, Kep. Men. Permukiman Dan Prasarana Wilayah No. 30/KPTS/M/2004, 1 Oktober 2004, 2004).

Tabel 2. 14 : Kriteria Beban Gempa Untuk Desain Bendungan

Kelas Risiko Dengan Masa Guna	Persyaratan Tanpa Kerusakan		Persyaratan Diperkenankan Ada Kerusakan Tanpa Keruntuhan	
	T (Tahun)	Metode Analisis	T (Tahun)	Metode Analisis
IV N = 100	100 – 200 ad \geq 0,1 g	Koef. Gempa	10.000 (MDE)	Koef. Gempa atau Dinamik
III N = 100	50 – 100 ad \geq 0,1 g	Koef. Gempa	5000 (MDE)	Koef. Gempa atau Dinamik
II N = 100	50 – 100 ad \geq 0,1 g	Koef. Gempa	3000 (MDE)	Koef. Gempa atau Dinamik
I N = 100	50 – 100 ad \geq 0,1 g	Koef. Gempa	1000 (MDE)	Koef. Gempa atau Dinamik

(Pedoman Konstruksi Dan Bangunan, Analisis Stabilitas Bendungan Akibat Beban

Gempa, Kep. Men. Permukiman Dan Prasarana Wilayah No. 30/KPTS/M/2004, 1 Oktober 2004, 2004).

2.6.3 Perhitungan Kelas Risiko Bendungan Jragung

Perhitungan kelas risiko Bendungan Jragung dilakukan pada Tabel 2.15, Tabel 2.16, dan Tabel 2.17. Kemudian hasil perhitungan disajikan pada Tabel 2.18.

Tabel 2. 15 : Jumlah Penduduk (Orang) Terkena Risiko Keruntuhan Bendungan untuk Masing-Masing Kelas Bahaya Bendungan

Jumlah PenRis (Orang/Kumulatif)	Jarak Dari Bendungan (km)				
	0-5	0-10	0-20	0-30	>30
0	1	1	1	1	1
1-100	3	3	2	2	2
101-1000	4	4	4	3	3
>1000	4	4	4	4	4

(Pedoman Teknis Klasifikasi Bahaya Bendungan, SK Dirjen SDA No. 257/KPTS/D/2011, 30 Mei 2011, 2011).

Tabel 2. 16 : Jumlah Penduduk (Orang) Terkena Risiko Keruntuhan Bendungan untuk Masing-Masing Kelas Bahaya Bendungan

Jumlah Keluarga	Jarak Dari Bendungan (km)				
	0-5	0-10	0-20	0-30	>30
0	1	1	1	1	1
1-20	3	3	2	2	2
21-200	4	4	4	3	3
>200	4	4	4	4	4

(Pedoman Teknis Klasifikasi Bahaya Bendungan, SK Dirjen SDA No. 257/KPTS/D/2011, 30 Mei 2011, 2011).

Tabel 2. 17 : Hubungan Kesetaraan Konsekuensi Daerah Hilir Bendungan dengan Klasifikasi Bahaya

Konsekuensi Daerah Hilir	Tingkat Bahaya	Kelas Bahaya
Kecil	Rendah	1
	Sedang	2
Besar	Tinggi	3
	Sangat Tinggi	4

(Pedoman Teknis Klasifikasi Bahaya Bendungan, SK Dirjen SDA No. 257/KPTS/D/2011, 30 Mei 2011, 2011).

Tabel 2. 18 : Kelas Risiko Bendungan Jragung

No	Pengaruh Risiko	Ukuran	Faktor Risiko	Bobot
1	Kapasitas (10^6m^3)	90	FR_k	4
2	Tinggi	59,5	FR_t	6
3	Kebutuhan Evakuasi (Jumlah Orang)	>1000	FR_e	12
4	Tingkat Kerusakan	Sangat Tinggi (Jumlah KK >200)	FR_h	10
			FR_{tot}	32
			Klasifikasi	IV (Ekstrim)

(Pedoman Teknis Klasifikasi Bahaya Bendungan, SK Dirjen SDA No. 257/KPTS/D/2011, 30 Mei 2011, 2011).

2.7 PERANGKAT LUNAK GEOSTUDIO

GeoStudio adalah serangkaian perangkat lunak yang dikembangkan oleh GEO-SLOPE International Ltd. untuk melakukan analisis geoteknik dan geoenvironmental. Perangkat lunak ini terdiri dari beberapa modul, seperti SLOPE/W untuk analisis stabilitas lereng, SEEP/W untuk analisis rembesan, SIGMA/W untuk analisis deformasi dan tegangan, serta modul lainnya yang ditujukan untuk berbagai aspek geoteknik dan lingkungan.

2.7.1 Slope/W

Slope/W merupakan program yang digunakan untuk analisis stabilitas lereng, baik tanah maupun batuan, termasuk galian dan timbunan. *Slope/W* mampu memodelkan kondisi-kondisi seperti berikut :

1. Lapisan tanah yang kompleks.
2. Kondisi tekanan air pori yang sangat tidak beraturan.
3. Beberapa model kuat geser tanah, Mohr-Coloumb, Anisotropic, dll
4. Parameter Kuat geser pada kondisi tidak jenuh.
5. Pendekatan bentuk bidang gelincir dengan atau tanpa tension crack.
6. Beban merata, dan beban gempa.
7. Perkuatan dengan struktur.

Input yang dibutuhkan *Slope/W* dalam analisis stabilitas lereng dengan model kuat geser Mohr-Coloumb seperti berikut :

- a. Kohesi (kN/m^3)
- b. Phi ($^\circ$)
- c. Berat Isi Tanah (kN/m^3).

Metode penentuan faktor keamanan yang terdapat pada *GeoStudio*, yaitu :

1. *Ordinary or Fellenius method.*
2. *Bishop's simplified method.*
3. *Janbu's simplified method.*
4. *General limit equilibrium (GLE) method.*
5. *Spencer method.*
6. *Morgenstern-Price method.*
7. *Corps of Engineers method.*
8. *Lowe-Karafiath method.*

9. *Sarma method.*
10. *Janbu's Generalized method.*
11. *Finite element stress-based method.*

Model material dan property (*Slope/W*)

1. *Mohr-Coulomb*
2. *Spatial Mohr-Coulomb model*
3. *Undrained strength*
4. *Impenetrable (Bedrock)*
5. *Bilinear*
6. *General data-point strength function*
7. *Anisotropic strength*
8. *Strength using an anisotropic function*
9. *Strength as a function of depth*
10. *Frictional-undrained combined models*
11. *SHANSEP or strength = f(overburden) model*
12. *Hoek and Brown model.*

2.7.2 Seep/W

Seep/W merupakan program yang digunakan untuk analisis rembesan air. Aplikasi dalam bendungan adalah analisis rembesan yang melewati tubuh dan fondasi bendungan, infiltrasi air lewat drainase dan sumur injeksi. *Seep/W* mampu memodelkan kondisi-kondisi seperti berikut :

1. Analisis steady dan transient.
2. Cara pandang 2-dimensional, Axisymmetric, dan plan.
3. Infinite element
4. Batasan kondisi berupa tekanan atau jumlah aliran air.
5. Batasan kondisi yang berubah berdasarkan waktu.
6. Penggambaran garis phreatik dengan kondisi tidak jenuh di atasnya.
7. Infiltrasi akibat hujan.

Untuk menganalisis rembesan kondisi steady pada kasus bendungan urugan dengan *Seep/W* input yang dibutuhkan adalah :

- a. Koefisien Permeabilitas (m/s)

- b. Total Head (m)
- c. Unit flux (m/s).

Hasil output *Seep/W* dapat divisualisasikan dalam bentuk kontur, yaitu :

1. Total Head
2. Pressure
3. Pressure Head
4. X-Velocity
5. Y-Velocity
6. X-Gradient
7. Y-Gradient
8. XY-Gradient
9. X-Conductivity
10. Y-Conductivity
11. Vol. Water Content.

2.7.3 *Sigma/W*

Sigma/W merupakan program yang digunakan untuk analisis tegangan dan regangan. Aplikasinya pada bendungan urugan adalah untuk menganalisis besarnya deformasi akibat pembebanan secara bertahap, dan deformasi pada saat pengoperasian waduk. *Sigma/W* mampu memodelkan kondisi-kondisi seperti berikut :

1. Analisis deformasi dengan model tanah linier elastik atau nonlinier elastik-plastik.
2. Kondisi batas berupa peralihan atau tegangan, yang berubah sesuai waktu.
3. Konstruksi timbunan atau galian.
4. Interaksi tanah-struktur.
5. Analisis konsolidasi.

Input yang dibutuhkan *Sigma/W* untuk menganalisis tegangan dan deformasi dengan model tanah *Linear Elastic* adalah :

- a. E Modulus (kPa)
- b. Kohesi (kPa)
- c. Poisson Ratio
- d. Phi (°)

e. Berat Isi Tanah (kN/m^3).

Hasil output SIGMA/W dapat divisualisasikan dalam bentuk kontur, yaitu :

X-Displacement, Y-Displacement, X-Total Stress, Y-Total Stress, Z-Total Stress, Maximum Total Stress, Minimum Total Stress, Mean Total Stress (p), X-Effective Stress, Y-Effective Stress, Z-Effective Stress, Maximum Effective Stress, Minimum Effective Stress, Mean Effective Stress(p'), X-Y Shear Stress, Maximum Shear Stress, Deviatoric Stress (q), Pore-Water Pressure, X-Strain, Y-Strain, Z-Strain, X-Y Strain, Maximum Strain, Minimum Strain, Maximum Shear Strain, Volumetric Strain, Deviatoric Strain, Poisson's Ratio, Undrained Shear Strength, Void Ratio, Tangential Modulus (E).

2.7.4 Quake/W

Quake/W merupakan program yang digunakan untuk analisis dinamik. Aplikasinya pada bendungan urugan adalah untuk analisis respon dinamik, deformasi dan peningkatan tekanan air pori akibat guncangan gempa. *Quake/W* mampu memodelkan kondisi-kondisi seperti berikut :

1. Model tanah linear dan equivalent linear.
2. Kondisi batas berupa peralihan, tegangan, gaya, atau percepatan, yang berubah sesuai waktu.
3. Beban dinamik, seperti gempa, tumbukan atau ledakan.
4. Analisis liquifaksi.
5. Perkuatan dengan struktur.

Analisis dinamik dengan *Quake/W* membutuhkan input :

- a. Fungsi G/G_{\max}
- b. Fungsi Damping Ratio
- c. Damping Ratio
- d. E Modulus (kPa)
- e. G Modulus
- f. Poisson's Ratio
- g. Berat isi Tanah (kN/m^3)
- h. Rekaman Gempa.

Hasil output *Quake/W* dapat divisualisasikan dalam bentuk kontur, yaitu :

X-Displacement, Y-Displacement, X-Total Stress, Y-Total Stress, Z-Total Stress, Maximum Total Stress, Minimum Total Stress, Mean Total Stress (p), X-Effective Stress, Y-Effective Stress, Z-Effective Stress, Maximum Effective Stress, Minimum Effective Stress, Mean Effective Stress(p'), X-Y Shear Stress, Maximum Shear Stress, Deviatoric Stress (q), Pore-Water Pressure, X-Strain, Y-Strain, Z-Strain, X-Y Strain, Maximum Strain, Minimum Strain, Maximum Shear Strain, Volumetric Strain, Deviatoric Strain, Poisson's Ratio, Cyclic Stress Ratio.

2.7.5 Citran/W

Ctran/W adalah produk perangkat lunak elemen terbatas yang kuat untuk memodelkan zat terlarut dan transfer gas dalam media berpori. *Ctran/W* dapat digunakan untuk memodelkan sistem sederhana yang didominasi difusi hingga sistem adveksi-dispersi kompleks dengan reaksi orde pertama.

2.7.6 Temp/W

Temp/W adalah produk perangkat lunak elemen terbatas yang kuat untuk memodelkan perpindahan panas dan perubahan fase dalam media berpori. *Temp/W* dapat menganalisis masalah konduksi sederhana ke simulasi energi permukaan yang kompleks dengan pembekuan-pencairan siklus.

Modul ini fokus pada analisis transfer panas dalam tanah dan batuan. Meskipun modul ini tidak secara langsung terkait dengan transportasi pencemar, analisis panas dapat memberikan pemahaman tentang bagaimana panas mempengaruhi distribusi zat pencemar dalam suatu daerah.

2.7.7 Air/W

Air/W adalah produk perangkat lunak elemen terbatas yang kuat untuk memodelkan transfer udara dalam limbah tambang dan media berpori lainnya. *Air/W* dapat digunakan untuk memodelkan berbagai skenario, dari masalah transfer udara fase tunggal sederhana hingga sistem udara-air berpasangan yang kompleks.

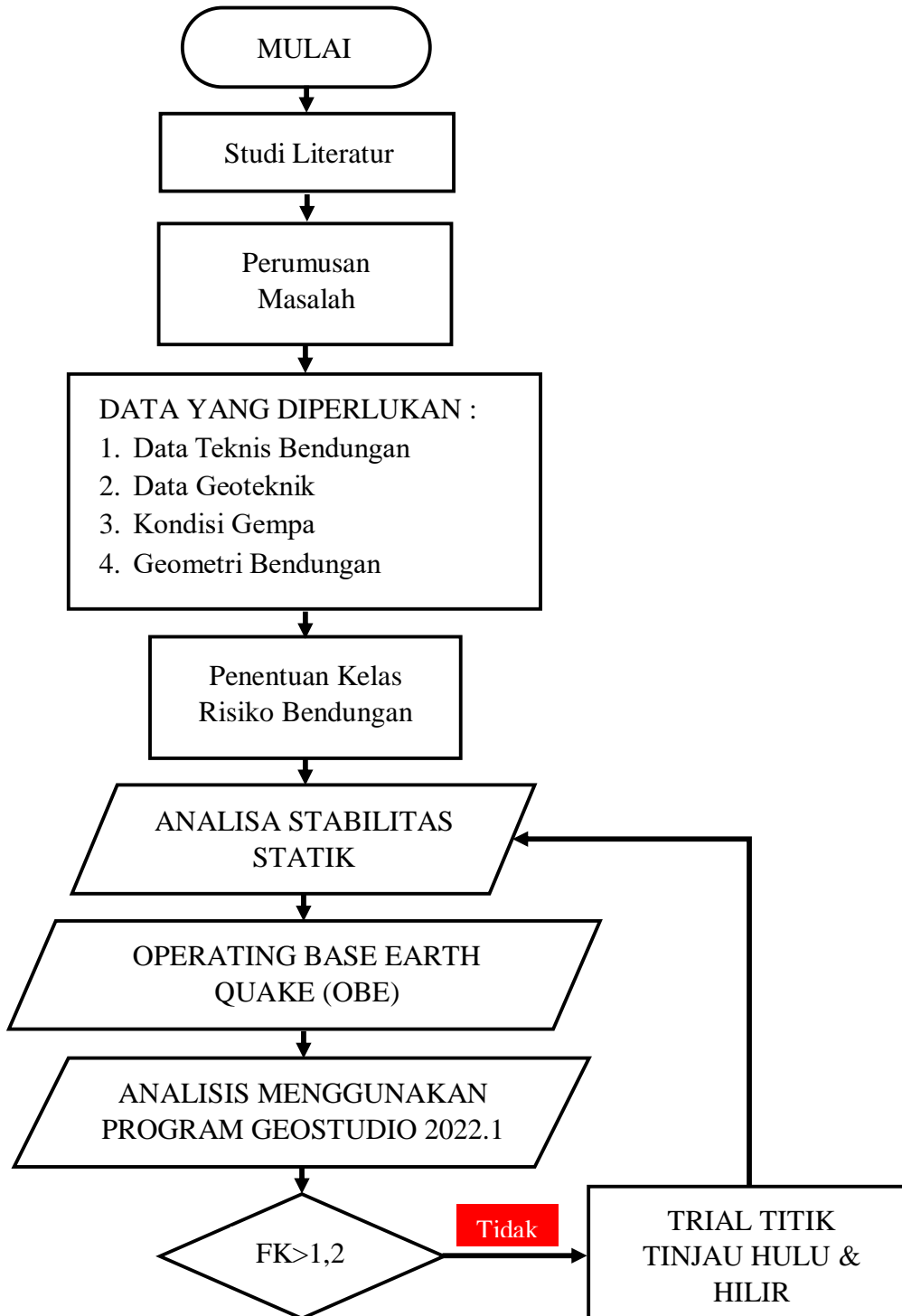
Modul ini digunakan untuk menganalisis aliran udara dalam tanah dan batuan. Ini dapat berguna dalam memahami pergerakan udara di dalam tanah yang dapat mempengaruhi transportasi zat pencemar atau gas.

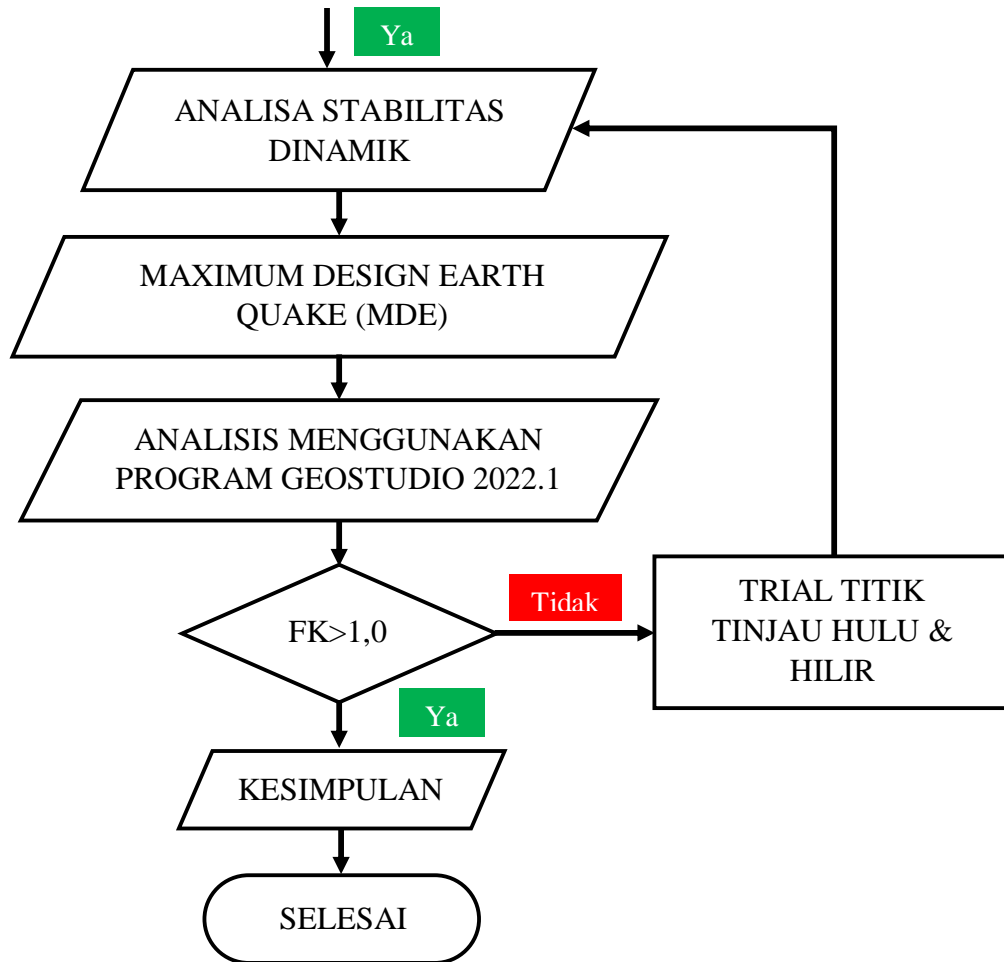
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 ALUR PENELITIAN

Berikut ini merupakan bagan alir dari penelitian yang dilakukan :





Gambar 3. 1 : Bagan Alir Penelitian

3.2 METODE PENGUMPULAN DATA

Metode pengumpulan data ialah cara penyusun dalam mengumpulkan data yang diperlukan yang nantinya digunakan untuk kepentingan analisis. Dalam analisis ini, penyusun menggunakan berbagai data sebagaimana sub bab-sub bab berikutnya. Adapun data tersebut diperoleh dari pihak kontraktor (PT. Waskita Karya), konsultan (PT. Rayakonsult KSO, PT. Hilmy Anugerah, PT. Tuah Agung Anugerah, dan PT. Ciriajasa Engineering Consultant), serta *owner* (BBWS Pemali Juana).

3.3 DATA GEOLOGI

Data geologi adalah data yang berisi informasi mengenai jenis dan kualitas kekuatan batuan fondasi pada proyek bendungan jragung. Data geologi yang diperoleh antara lain :

- a. Profil geologi bendungan jragung yang memuat pemetaan bendungan berdasarkan klasifikasi material.
- b. Profil geologi as bendungan yang berisikan data jenis dan klasifikasi material fondasi pada sepanjang as bendungan.
- c. Data *core drilling*.

Adapun data geologi hanya merepresentasikan data kekuatan secara kualitatif, sehingga penting adanya dilakukan pengujian geoteknik untuk memperoleh data kuantitatif sebagai acuan desain bendungan.

3.4 DATA GEOTEKNIK

Data geoteknik merupakan data yang diperoleh dari serangkaian pengujian material tanah baik di laboratorium maupun di lapangan secara langsung. Pengujian dilakukan pada fondasi hingga masing-masing zona timbunan guna mendapat parameter kualifikasi tanah untuk kepentingan desain bendungan. Data tersebut meliputi :

- a. Timbunan Inti Kedap Air (Zona 1),
- b. Timbunan Filter Halus (Zona 2),
- c. Timbunan Random (Zona 3),
- d. Timbunan Filter Kasar (Zona 4),
- e. Timbunan Rip Rap (Zona 5),
- f. Timbunan Toe Drain (Zona 6), dan
- g. Timbunan Drain (Zona 7).

Atau lebih jelasnya dapat disimak pada bab 2 sub bab 2.3 *Timbunan*.

3.5 DATA HIDROLOGI

Data hidrologi ialah data yang erat kaitannya dengan kapasitas air di waduk dan kebutuhan atas air itu sendiri, terlepas dari penggunaannya. Data hidrologi yang dibutuhkan berupa berikut :

- a. *Normal Water Level (NWL)*, pada elevasi 115,00 m;
- b. *Low Water Level (LWL)*, pada elevasi 93,00 m;
- c. *Flood Water Level (FWL)*, pada elevasi 117,28 m;

- d. *Rapid Drawdown*, dari elevasi 115,00 m NWL ke elevasi 93,00 m LWL, dan dari elevasi 117,28 m FWL ke elevasi 93,00 m LWL.

3.6 DATA DED (*DETAIL ENGINEERING DESIGN*)

Data DED merupakan data yang berisikan gambar rencana sebagai panduan dalam dimensi bendungan. Data yang diperoleh sebagai berikut :

- a. Denah Tapak Bendungan,
- b. Potongan Melintang,
- c. Potongan Memanjang.

3.7 METODE ANALISIS

3.7.1 Stabilitas Lereng

Analisis dilakukan dengan metode keseimbangan batas atau *limit equilibrium* karena memiliki pendekatan paling umum yang digunakan dalam analisis stabilitas tanah. Menggunakan cara *Morgenstern-Price* dibanding cara lain, karena lebih fleksibel untuk segala bentuk bidang runtuh dan memenuhi segala kondisi keseimbangan. Hubungan gaya normal (E) dan geser (X) antar kolom dapat divariasikan (tidak konstan) bergantung fungsi yang diterapkan. Dan diaplikasikan menggunakan perangkat lunak *Geostudio* versi 2022.1 *Slope/W*. Menggunakan koefisien gempa K dan output berupa bidang gelincir dengan faktor keamanan. Perhitungan faktor keamanan dilakukan pada tiga kondisi meliputi setelah konstruksi, aliran tunak, dan *rapid drawdown*.

Pada analisis ini pembebanan gempa menggunakan metode koefisien gempa termodifikasi, metode ini merupakan bentuk modifikasi atau pengembangan dari metode koefisien gempa, dimana percepatan gempa dari dasar sampai dengan puncak bendungan dianggap sama. Hal tersebut kurang tepat karena bendungan urugan bersifat lebih fleksibel, sehingga percepatan gempa seharusnya makin membesar di puncak.

3.7.2 Rembesan

Analisis rembesan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi :

1. menghitung debit rembesan per meter lebar bendungan (*water flux*);
2. pengamatan garis freatik.

Analisis dilakukan menggunakan program *Seep/W* perangkat lunak *Geostudio* versi 2022.1.

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 LINGKUP ANALISIS

Analisa pada bendungan bertipe urugan tidak lepas dari material penyusun timbunan serta geologi fondasinya. Dari tipikal bendungan yang bergantung pada topografi tapak bendungan, hingga kualitas material menjadi parameter penting dalam analisis. Berbagai macam literatur digunakan sebagai dasar analisis, diantaranya SNI 8064-2016 : Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Tipe Urugan, Pedoman Konstruksi Dan Bangunan, Analisis Stabilitas Bendungan Akibat Beban Gempa, Kep. Men. Permukiman Dan Prasarana Wilayah No. 30/KPTS/M/2004, 1 Oktober 2004, dan masih banyak lainnya.

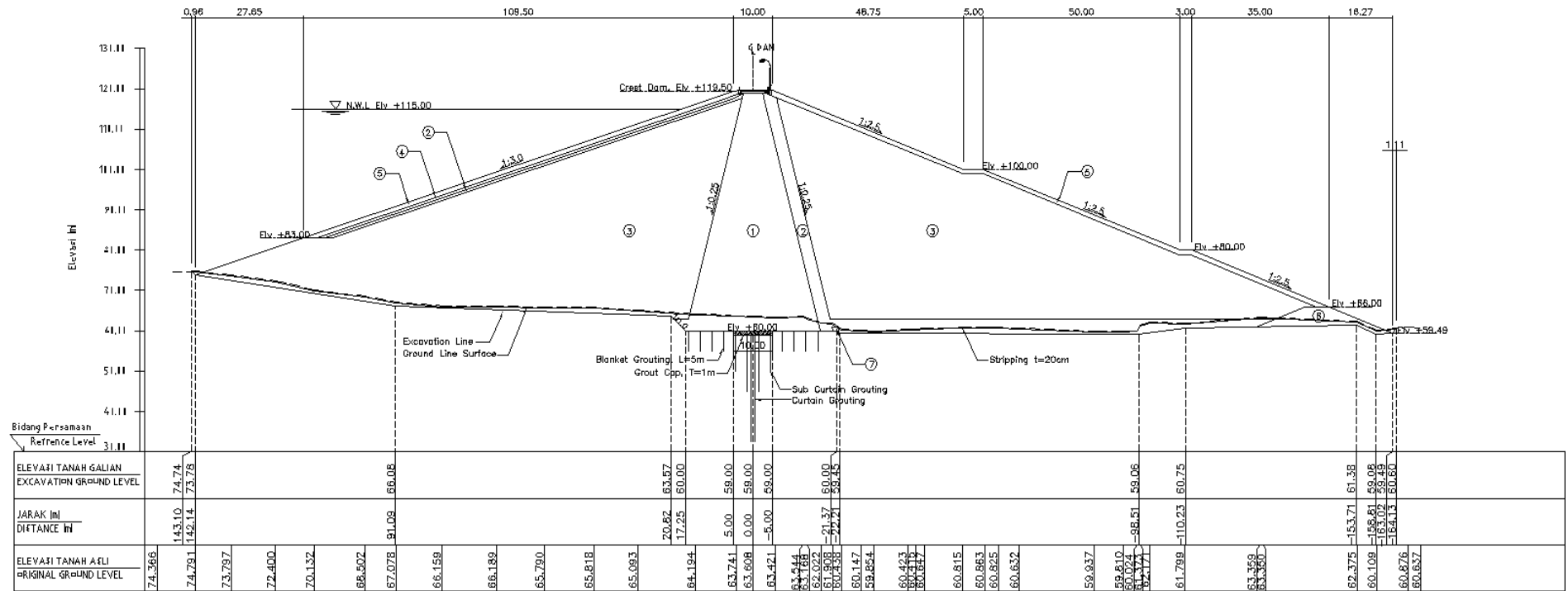
Analisis dilakukan dan dimodelkan menggunakan program *Slope/W* dan *Seep/W* yang masing-masing untuk analisis stabilitas lereng dan analisis rembesan pada perangkat lunak *Geostudio 2022.1*. Berdasarkan data yang diperoleh dari pihak berwenang Bendungan Jragung baik teknis maupun mekanis menjadi parameter input dalam analisis dan pemodelan yang dilakukan.

Faktor keamanan menjadi tinjauan dalam analisis stabilitas lereng bendungan urugan. Kondisi muka air yang pada analisis telah disesuaikan dengan literatur yang dipakai, yaitu kondisi setelah konstruksi, kondisi muka air normal, kondisi surut cepat, dan kondisi muka air banjir. Justifikasi keamanan bendungan diperoleh dari hasil *start solve* perangkat lunak berupa faktor keamanan dengan syarat batas keamanan bendungan.

4.2 TIPIKAL TUBUH BENDUNGAN

5.2.1 Tipikal Bendungan Jragung

Bendungan utama atau maindam direncanakan berjenis urugan zonal dengan inti tegak berdasarkan material timbunan yang tersedia, keterangan bendungan dijelaskan seperti **Gambar 4.1 dan Tabel 4.1.**



Gambar 4. 1 : Desain Bendungan Jragung

Tabel 4. 1 : Keterangan Bendungan Utama

Bendungan Utama	Keterangan
Tipe	Urugan Zonal Inti Tegak
Elv. Puncak Bendungan	+ 119,50 m
Elv. Dasar Fondasi	+ 60,00 m
Tinggi Bendungan	59,50 m (dari fondasi)
Lebar Puncak Bendungan	10,00 m
Panjang Puncak Bendungan	1.350 m
Kemiringan Lereng Bagian Hulu	1 : 3
Kemiringan Lereng Bagian Hilir	1 : 2,5

(DATA TEKNIS JRAGUNG, 2020)

5.2.2 Parameter Material Timbunan

Data parameter material urugan tubuh Bendungan Jragung yang digunakan sebagai input pada simulasi *start solve analysis* dengan perangkat lunak *Geostudio* versi 2022.1 pada **Tabel 4.2** dan **Tabel 4.3**.

Tabel 4. 2 : Parameter Material Timbunan

NO	ZONA MATERIAL	SG	γ_{dry}	γ_{wet}	γ_{sat}	C	Φ	K	WC
			gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³	kg/cm ²	°	cm/detik	%
1	Inti	2,65	1,332	1,735	1,83	0,396	17	1,77E-07	0,302553
2	Filter (sand)	2,502	1,749	2,37	2,012	0	28	3,21E-05	0,35506
3	Filter (gravel)	2,578	1,638	1,957	2,439	0	35	4,18E-03	0,19475
4	Random Batu	2,653	1,543	1,917	1,961	0,76	35	1,02E-03	0,242385
5	Batu dan Rip-rap	2,642	1,25	1,65	2,427	1,29	38	1,00E-02	0,32
6	Fondasi Batu Lanau	2,3199	1,597	1,909		2,19	38,32		0,195366
7	Fondasi Batu Lempung	2,5058	1,294	1,777	1,87	1,32	42,06	4,41E-05	0,373261
8	Fondasi Batu Pasir	2,2374	1,607	1,889	2,24	3,14	43,15	2,57E-05	0,175482
9	Grouting				1,8	0	0	1,52E-05	

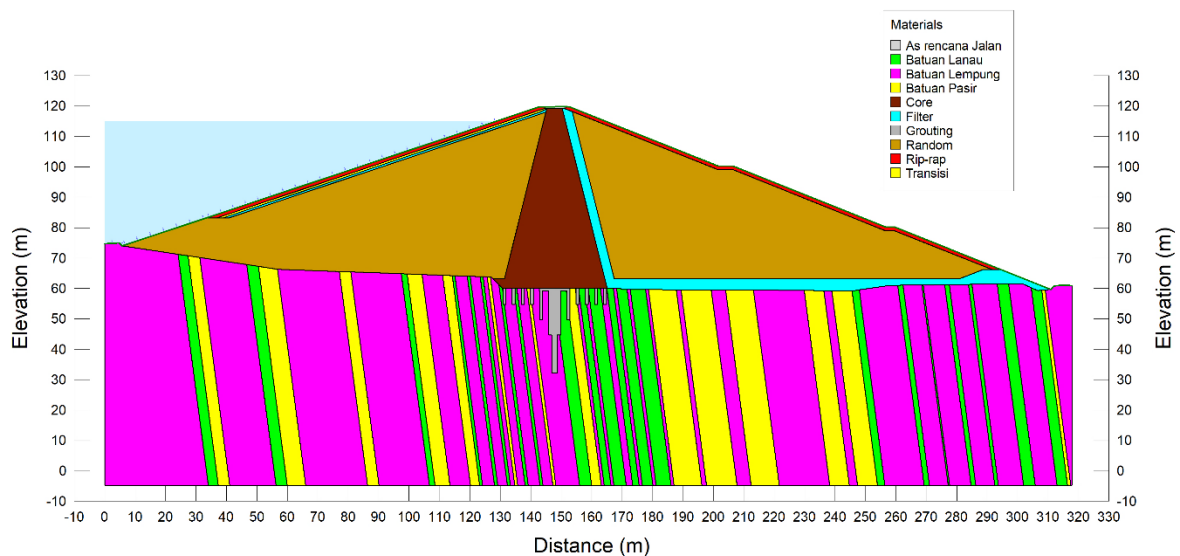
(Laporan Utama - Detail Desain Bendungan Jragung, 2015)

Tabel 4. 3 : Konversi Nilai Parameter Materil ke Satuan Metrik

NO	ZONA MATERIAL	SG	γ_{dry}	γ_{wet}	γ_{sat}	C	Φ	K	WC
			kN/m ³	kN/m ³	kN/m ³	kPa	°	m/detik	%
1	Inti	2,65	13,06692	17,02035	17,9523	38,834334	17	1,77E-09	0,302553
2	Filter (sand)	2,502	17,15769	23,2497	19,73772	0	28	3,21E-07	0,35506
3	Filter (gravel)	2,578	16,06878	19,19817	23,92659	0	35	4,18E-05	0,19475
4	Random Batu	2,653	15,13683	18,80577	19,23741	74,53054	35	1,02E-05	0,242385
5	Batu dan Rip-rap	2,642	12,2625	16,1865	23,80887	126,505785	38	1,00E-04	0,32
6	Fondasi Batu Lanau	2,3199	15,66657	18,72729	0	214,765635	38,32	0,00E+00	0,195366
7	Fondasi Batu Lempung	2,5058	12,69414	17,43237	18,3447	129,44778	42,06	4,41E-07	0,373261
8	Fondasi Batu Pasir	2,2374	15,76467	18,53109	21,9744	307,92881	43,15	2,57E-07	0,175482
9	Grouting	0	0	0	17,658	0	0	1,52E-07	

5.2.3 Review Desain Geometri Bendungan

Desain geometri Bendungan Jragung dalam proyeksi program *Slope/W* perangkat lunak *Geostudio 2022.1*.



Gambar 4. 2 : Tinjauan Geometri Bendungan Jragung

4.3 KELAS RISIKO BENDUNGAN DAN KRITERIA BEBAN GEMPA

5.3.1 Kelas Risiko Bendungan Jragung

Kelas risiko bendungan penting untuk ditentukan, karena digunakan sebagai pertimbangan dalam menentukan parameter gempa untuk kebutuhan analisis. Kelas risiko bendungan ditentukan menurut Pedoman Teknis Klasifikasi Bahaya Bendungan, SK Dirjen

SDA No. 257/KPTS/D/2011, 30 Mei 2011. Berdasarkan perhitungan kelas risiko pada *sub bab 2.6.3* diperoleh hasil klasifikasi pada **Tabel 4.4**.

Tabel 4. 4 : Kelas Risiko Bendungan Jragung

No	Pengaruh Risiko	Ukuran	Faktor Risiko	Bobot
1	Kapasitas (10^6m^3)	90	FR_k	4
2	Tinggi	59,5	FR_t	6
3	Kebutuhan Evakuasi (Jumlah Orang)	>1000	FR_e	12
4	Tingkat Kerusakan	Sangat Tinggi (Jumlah KK >200)	FR_h	10
			FR_{tot}	32
			Klasifikasi	IV (Ekstrim)

Berdasarkan hasil klasifikasi tabel di atas maka kelas risiko Bendungan Jragung masing-masing alternatif tergolong kelas IV (ekstrim). Oleh sebab itu, analisis dilakukan dengan dua tingkat gempa, yakni :

- Persyaratan tanpa kerusakan pada gempa periode ulang $T = 100$ tahun gempa OBE (*Operating Base Earthquake*), dengan $\text{FK}_{\text{min}} \geq 1,20$ sesuai dengan kriteria yang berlaku.
- Persyaratan tanpa kerusakan pada gempa periode ulang $T = 10.000$ tahun gempa MDE (*Maximum Design Earthquake*), dengan $\text{FK}_{\text{min}} \geq 1,00$.

5.3.2 Koefisien Gempa Bendungan

Koefisien gempa dasar dari Peta Gempa Tahun 2010 pada letak bendungan. Lokasi Bendungan Jragung terletak pada koordinat (-7.152785083, 110.5456268). Analisa stabilitas bendungan digunakan nilai PBA (*Peak Baserock Acceleration*) sebesar 0,100 g untuk kala ulang 100 tahun dan 0,518 g untuk kala ulang 10.000 tahun, sesuai dengan letak koordinat.

Tabel 4. 5 : Nilai Percepatan Gempa Puncak Bendungan Jragung

Jenis Tanah	50 Tahun			100 Tahun			200 Tahun			10000 Tahun		
	PBA	F_{PGA}	PSA	PBA	F_{PGA}	PSA	PBA	F_{PGA}	PSA	PBA	F_{PGA}	PSA
Batuan	0,68	1	0,68	0,1	1	0,1	0,145	1	0,145	0,518	1	0,518
Tanah Keras	0,68	1,2	0,82	0,1	1,2	0,119	0,145	1,2	0,171	0,518	1	0,518
Tanah Sedang	0,68	1,6	0,109	0,1	1,6	0,159	0,145	1,51	0,219	0,518	1	0,518
Tanah Lunak	0,68	2,5	0,171	0,1	2,5	0,249	0,145	2,14	0,31	0,518	0,9	0,466

Tabel 4. 6 : faktor amplifikasi PGA (F_{PGA}) (ASCEC 7-10)

Klasifikasi site	SPGA				
	PGA ≤ 0,1	PGA = 0,2	PGA = 0,3	PGA = 0,4	PGA = 0,5
Batuan Keras (S_A)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (S_B)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak (S_C)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah Sedang (S_D)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah Lunak (S_E)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah Khusus (S_F)	SS	SS	SS	SS	SS

Sumber : Peta Hazard Indonesia 2010, hal 10

Klasifikasi *site* tergolong dalam fondasi tanah batuan (S_b), dengan nilai faktor amplifikasi PGA (F_{PGA}) dari **Tabel 4.6** didapati nilai $F_{PGA} = 1,00$. Percepatan puncak di permukaan tanah diperoleh menggunakan persamaan berikut :

$$PGA_M = F_{PGA} \times S_{PGA} \dots\dots\dots(4.1)$$

Dimana :

PGA_M = nilai percepatan puncak di permukaan tanah berdasarkan klasifikasi *site*.

F_{PGA} = faktor amplifikasi PGA.

S_{PGA} = Nilai PGA di batuan dasar (S_b) mengacu pada Peta Gempa Tahun 2010 (periode ulang 100 tahun dan periode ulang 10.000 tahun).

Percepatan puncak di permukaan tanah (T= 100 tahun) :

$$\begin{aligned} PGA_M &= F_{PGA} \times S_{PGA} \\ &= 1,00 \times 0,100 \text{ g} \\ &= 0,100 \text{ g} \end{aligned}$$

Koefisien gempa $kh = 0,100$

Percepatan puncak di permukaan tanah (T= 10.000 tahun) :

$$\begin{aligned} PGA_M &= F_{PGA} \times S_{PGA} \\ &= 1,00 \times 0,518 \text{ g} \\ &= 0,518 \text{ g} \end{aligned}$$

Koefisien gempa $kh = 0,518$

Analisa stabilitas lereng Bendungan Jragung menggunakan metode koefisien gempa termodifikasi, sehingga koefisien gempa dasar yang didapatkan dari perhitungan diatas setelah dikalikan faktor jenis konstruksi.

Adapun koefisien gempa termodifikasi untuk masing-masing percepatan gempa dasar adalah sebagai berikut. Koefisien Gempa Horisontal Bendungan Jragung :

$$\text{Percepatan gempa dasar (OBE)} = 0,100 \text{ g}$$

$$\text{Percepatan gempa dasar (MDE)} = 0,518 \text{ g}$$

$$\text{Faktor jenis konstruksi } (\alpha) = 0,5 \text{ (bendungan tipe urugan)}$$

Fungsi kedalaman yang merupakan koefisien gempa desain pada tubuh bendungan yang merupakan fungsi dari kedalaman $K_0 = \alpha^2 \times kh$ didapat dari persamaan (2.13).

Koefisien gempa desain terkoreksi (T= 100 tahun) :

$$\begin{aligned} K_0 &= \alpha^2 \times kh \\ &= 0,5 \times 0,100 \\ &= 0,050 \end{aligned}$$

Koefisien gempa desain terkoreksi (T= 10.000 tahun) :

$$\begin{aligned} K_0 &= \alpha^2 \times kh \\ &= 0,5 \times 0,518 \\ &= 0,259 \end{aligned}$$

Koefisien gempa untuk analisis stabilitas lereng pada kedalaman Y dari puncak bendungan berbeda-beda. Tinjauan dilakukan pada $Y = 0,25 H$; $Y = 0,50 H$; $Y = 0,75 H$; dan H (tinggi bendungan). Koefisien kedalaman bidang gelincir dari puncak bendungan Y terhadap tinggi bendungan H untuk $0 < y/H \leq 0,4$ dihitung dengan persamaan (2.14) dan untuk $0,4 < y/H \leq 1,0$ dihitung dengan persamaan (2.15) sebagai berikut :

Tabel 4. 7 : Koefisien Gempa Horisontal OBE dan MDE

No	Periode Ulang (T)	K ₀ (g)	K _h (g)	K _h pada y/H				Keterangan
				1	0,75	0,50	0,25	
1	100	0,100	0,050	0,070	0,078	0,085	0,093	OBE
2	10000	0,518	0,259	0,363	0,401	0,440	0,479	MDE

Koefisien Gempa vertikal Bendungan Jragung, dihitung sebesar 0.5x gempa horizontal ($K_v = 0,5 \times K_h$).

Tabel 4. 8 : Koefisien Gempa Vertikal OBE dan MDE

No	Periode Ulang (T)	Kh pada y/H				Keterangan
		1	0,75	0,50	0,25	
1	100	0,035	0,039	0,043	0,046	OBE
2	10000	0,181	0,201	0,220	0,240	MDE

4.4 ALUR ANALISIS

5.4.1 Stabilitas Lereng

5.4.1.1 Setelah Konstruksi (*After Construction*)

Analisis dilakukan pada kondisi kosong (nol) waduk belum terisi untuk beban normal. Sedangkan untuk beban gempa dilakukan analisis pembebanan gempa menggunakan koefisien 50 % gempa desain dengan kondisi waduk terisi. Analisis dilakukan pada lereng hulu dan hilir.

Analisis dilakukan dengan perangkat lunak *Geostudio (Slope/W)* dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Buka aplikasi *Geostudio* program *Slope/W*;
2. Masuk laman *Define Project* untuk melakukan pengaturan awal seperti nama, deskripsi, *slide function*, kondisi tekanan air (*pore water pressure*), dan arah *slip surface* serta metodenya *entry and exit*, lalu klik *close*;
3. Setelah itu, masuk ke halaman kerja untuk menggambar region melalui tool *draw region* untuk menentukan wilayah yang akan ditinjau. Atau dapat diimport file dengan format .dwg, dengan syarat semua garis zona pada *region* harus terhubung;
4. Selanjutnya, klik tool *Sketch* lalu *Axes* untuk menggambar sketsa sumbu guna memperjelas dimensi berupa jarak (*distance*) dan elevasi (*elevation*);
5. Langkah berikutnya ialah mendefinisikan jenis material dengan model material *Mohr-Coulomb*, klik tool *Define* lalu *Materials*. Input berupa berat satuan (*unit weight*), nilai kohesi (*cohesion*), dan sudut geser (*phi*);

6. Kemudian plotkan material yang telah didefinisikan, dengan tool *draw material* sesuai pada zona material yang ditentukan;
7. Berikutnya adalah menentukan budang gelincir menggunakan tool *define - slip surface - entry and exit* (disesuaikan kebutuhan analisis);
8. Penambahan beban gempa (*seismic load*) untuk analisis statis (OBE) dan dinamis (MDE), dengan klik *Define - seismic load* – masukkan koefisien *horizontal* dan *vertical*;
9. Langkah akhir yaitu *start solve* pada tool *start* pada bagan *Solve Manager*;
10. Output berupa bidang gelincir dengan nilai faktor keamanan.

5.4.1.2 Aliran Tunak (*Steady Flow*)

Analisis pada kondisi aliran tunak (*steady flow*) dilakukan dengan langkah serupa seperti analisis pada kondisi setelah konstruksi (*after construction*). Analisis dilakukan pada elevasi muka air normal sebelah hulu, dengan gempa tanpa kerusakan menggunakan 100 % koefisien gempa desain. Analisis dilakukan pada lerang hulu dan hilir.

5.4.1.3 Penarikan Cepat (*Rapid Drawdown*)

Analisis pada kondisi *rapid drawdown* dilakukan hampir serupa dengan analisis sebelumnya. Akan tetapi terdapat beberapa fungsi tambahan seperti *boundary condition* atau batas kondisi muka air, dengan pemisalan kondisi surut cepat dari muka air normal (NWL) ke muka air terendah (LWL). Analisis dilakukan pada kondisi muka air yang tidak tetap atau *Transient* dan dilakukan secara *parent analysis* dengan program *Seep/W*, fungsi *boundary condition* ditambahkan pada analisis *Seep/W* sebagai program induk. Untuk analisis *Seep/W* dijelaskan pada *sub bab 4.4.2*.

5.4.2 Rembesan Pada Tubuh Bendungan

Rembesan menjadi faktor penting dalam analisa stabilitas bendungan. Analisis rembesan melalui tubuh Bendungan Jragung dilakukan dengan menggunakan program *Seep/W*. Analisa rembesan dilakukan pada kondisi aliran tunak (*steady seepage*), pada muka air normal. Besarnya rembesan yang melalui tubuh bendungan harus lebih kecil dari ketentuan yang disyaratkan, yaitu sebesar 1 % dari inflow tahunan rata-rata yang masuk ke waduk.

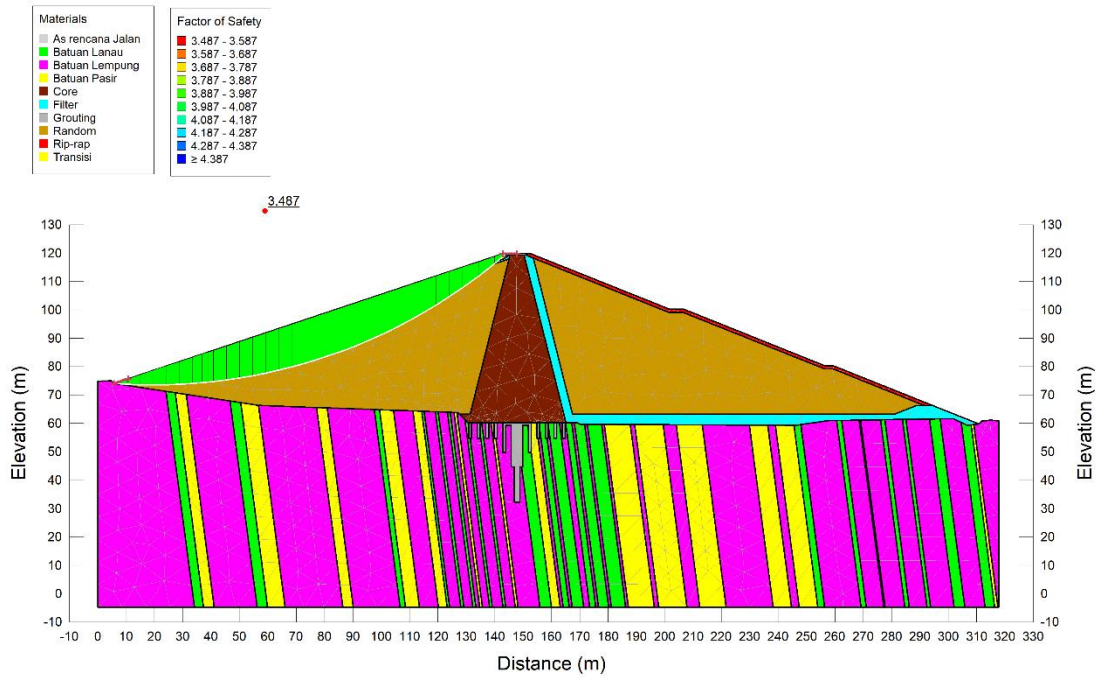
Analisis dilakukan dengan perangkat lunak *Geostudio (Seep/W)* dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Buka aplikasi *Geostudio* program *Seep /W*;
2. Masuk laman *Define Project* untuk melakukan pengaturan awal seperti nama, deskripsi, dan *Analysis Type : Steady-state* untuk kondisi aliran langgeng serta dapat memilih *Analysis Type : Transient* untuk kondisi rembesan terhadap waktu lalu klik *close*;
3. Selanjutnya, lakukan seperti halnya langkah 3 dan 4 pada *sub bab 4.4.1.1*.
4. Langkah berikutnya ialah mendefinisikan jenis material dengan model material *Saturated/unsaturated* (jenuh/tidak jenuh), klik tool *Define* lalu *Materials*. Input berupa fungsi *Vol. Water Content* (kadar air) dan *Hyd. Conductivity* (konduktifitas air);
5. Kemudian plotkan material yang telah didefinisikan, dengan tool *draw material* sesuai pada zona material yang ditentukan;
6. Berikutnya menentukan fungsi hidraulik *boundary condition* atau kondisi batas muka air, dapat dilakukan dengan tool *Define – Boundary Condition*. Fungsi ini digunakan untuk menambahkan kondisi elevasi muka air (*water total head*), zona filtrasi sebagai drainase arah laju air (*water rate*), dan kaki drainase arah tekanan air puncak (*water pressure head*);
7. Langkah akhkir yaitu *start solve* pada tool *start* pada bagan *Solve Manager*;
8. Output dari analisis yang diperlukan ialah besarnya rembesan permeter lebar (*water flux*), dengan tool *View Result Information* – klik area yang hendak ditinjau, lalu klik *Data Type – Gaus Region*.

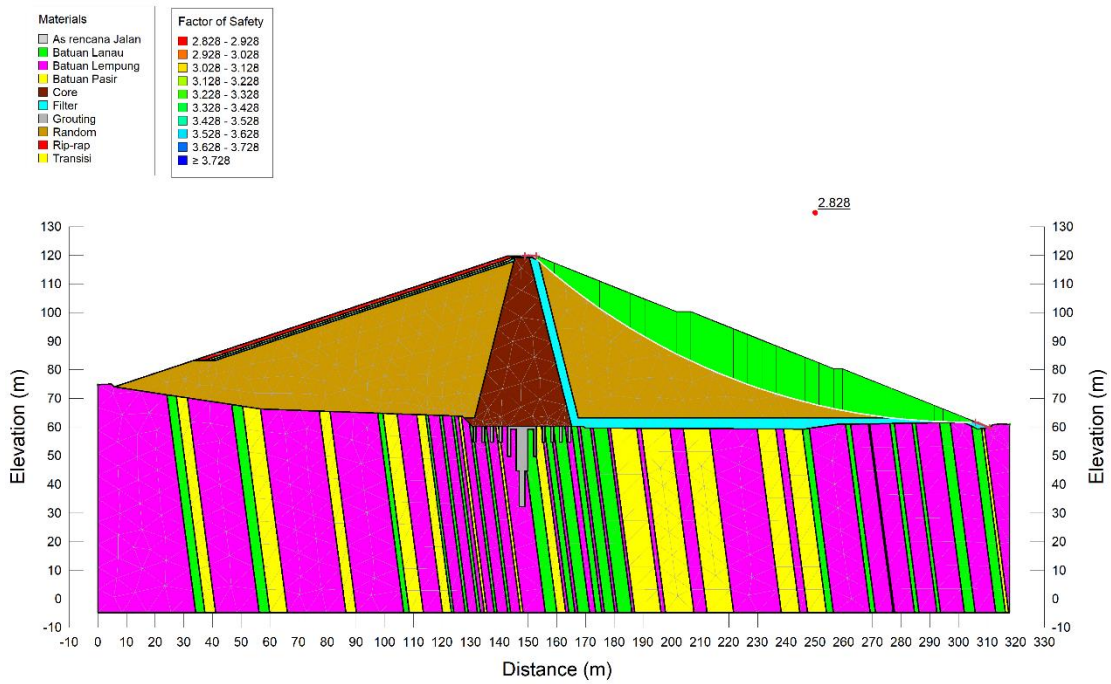
4.5 OUTPUT ANALISIS

5.5.1 Setelah Konstruksi (After Construction)

Analisis dilakukan sesaat setelah selesai pembangunan, kondisi tidak ada gempa.

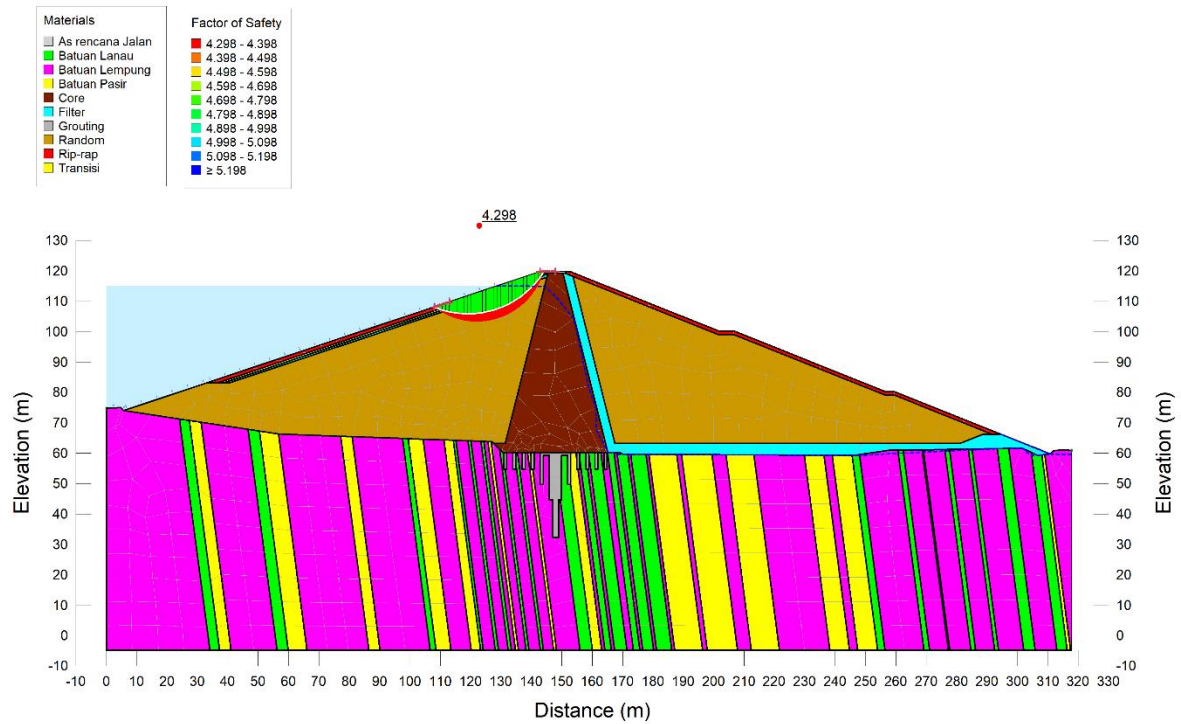


Gambar 4. 3 : Setelah Konstruksi Hulu Tanpa Gempa

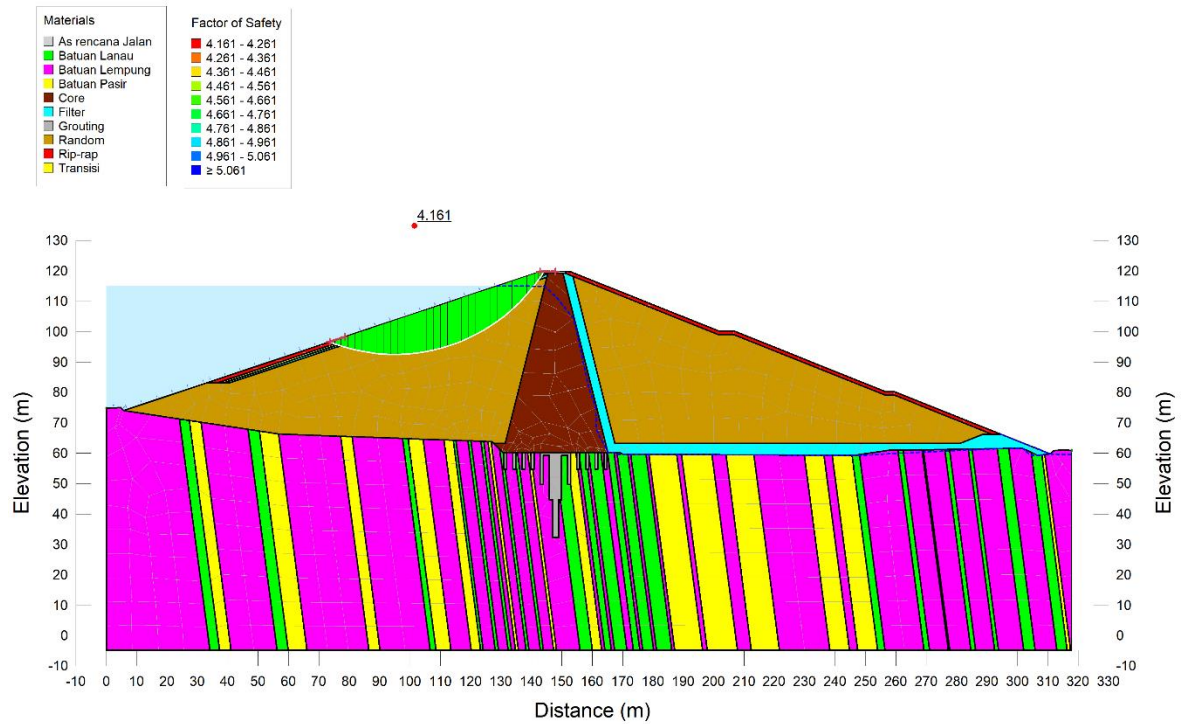


Gambar 4. 4 : Setelah Konstruksi Hilir Tanpa Gempa

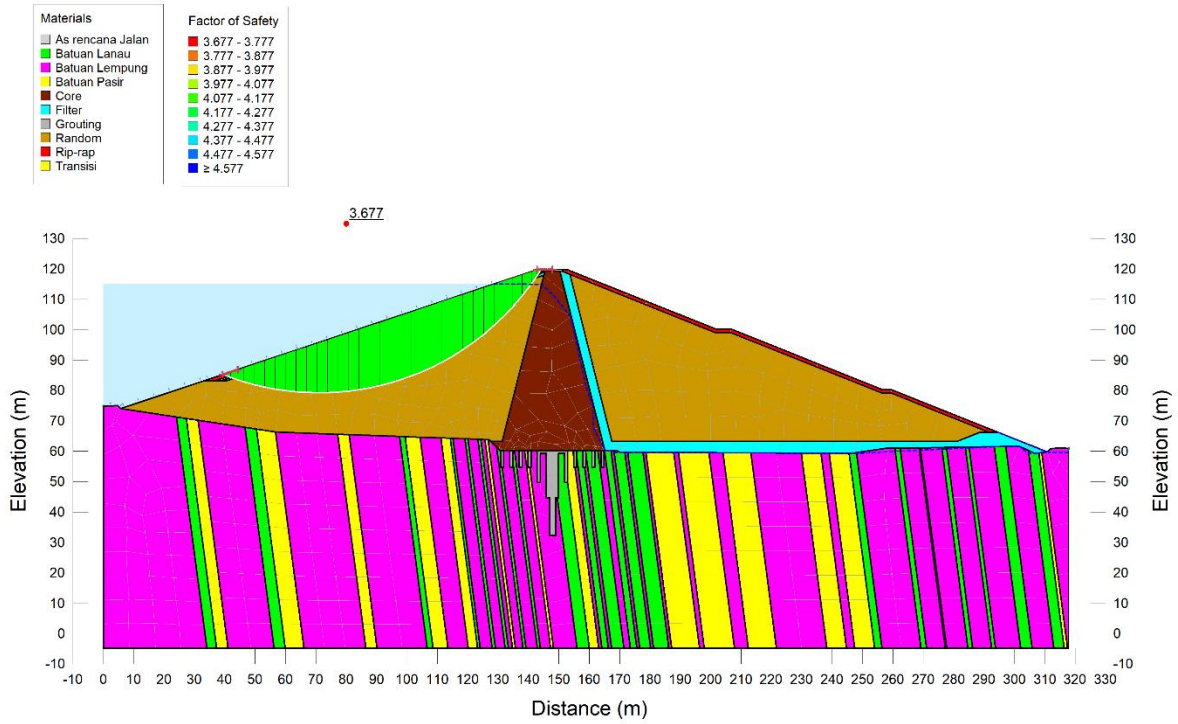
Setelah selesai pembangunan (kondisi waduk terisi), kondisi gempa 0,50 koefisien gempa OBE.



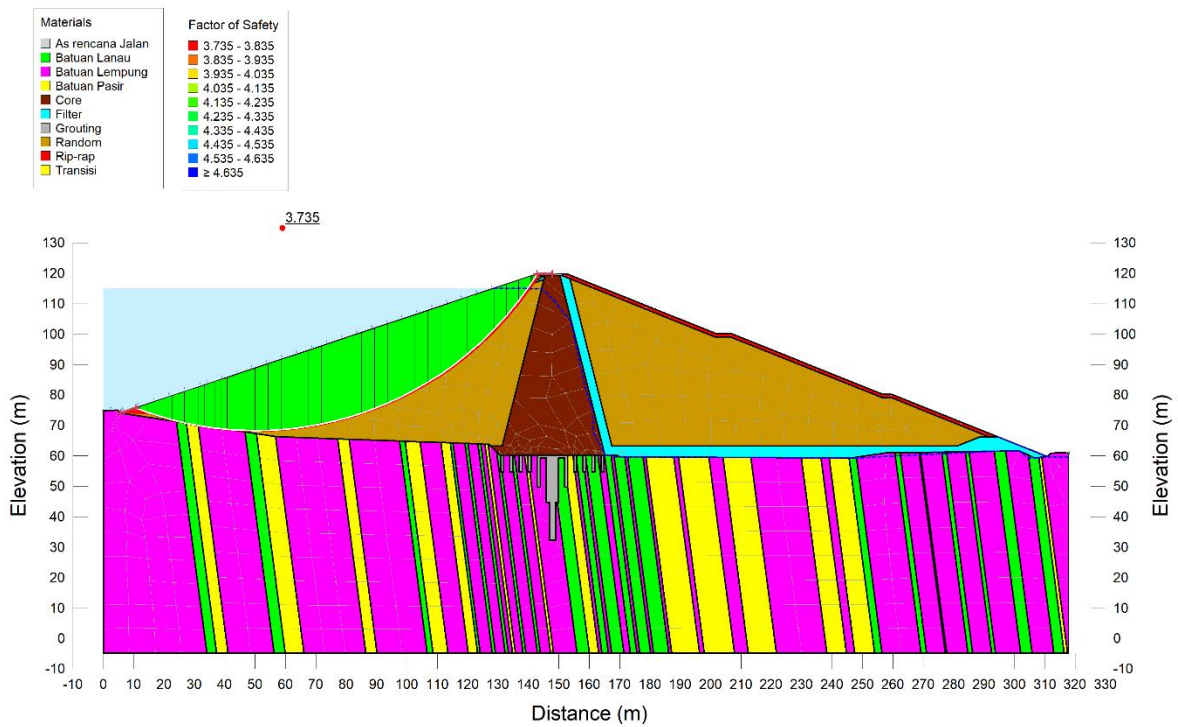
Gambar 4. 5 : Setelah Konstruksi Hulu Gempa 0,5 OBE 0,25 H



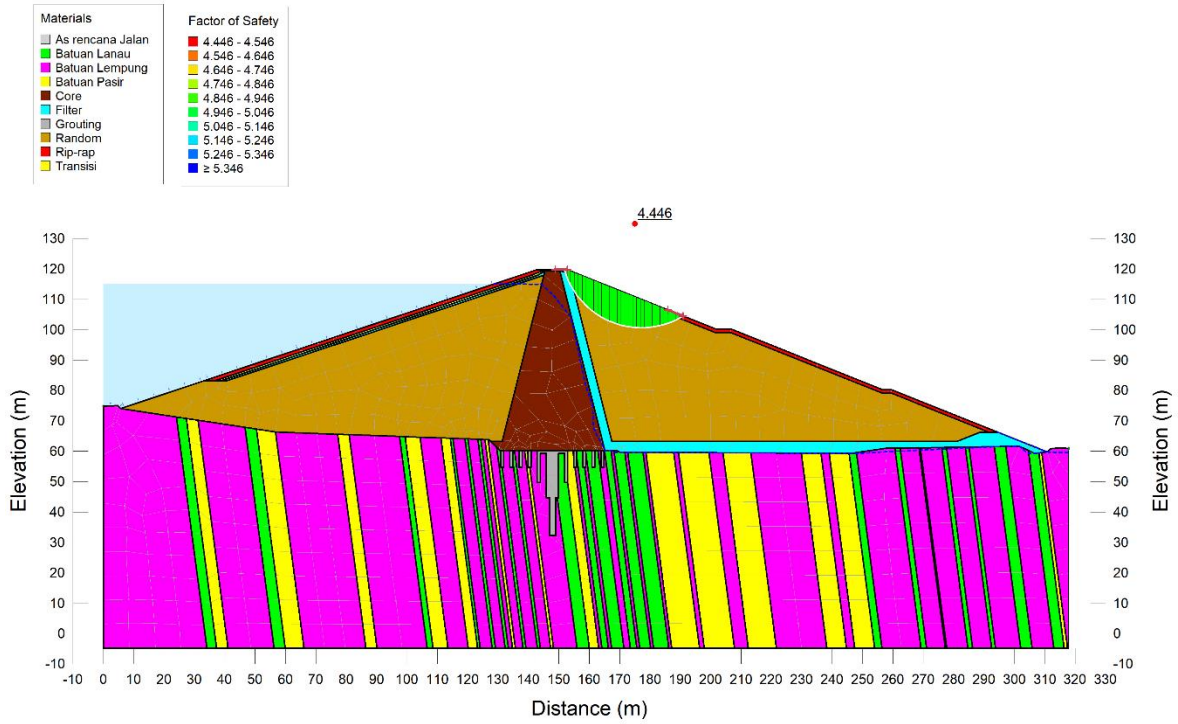
Gambar 4. 6 : Setelah Konstruksi Hulu Gempa 0,5 OBE 0,50 H



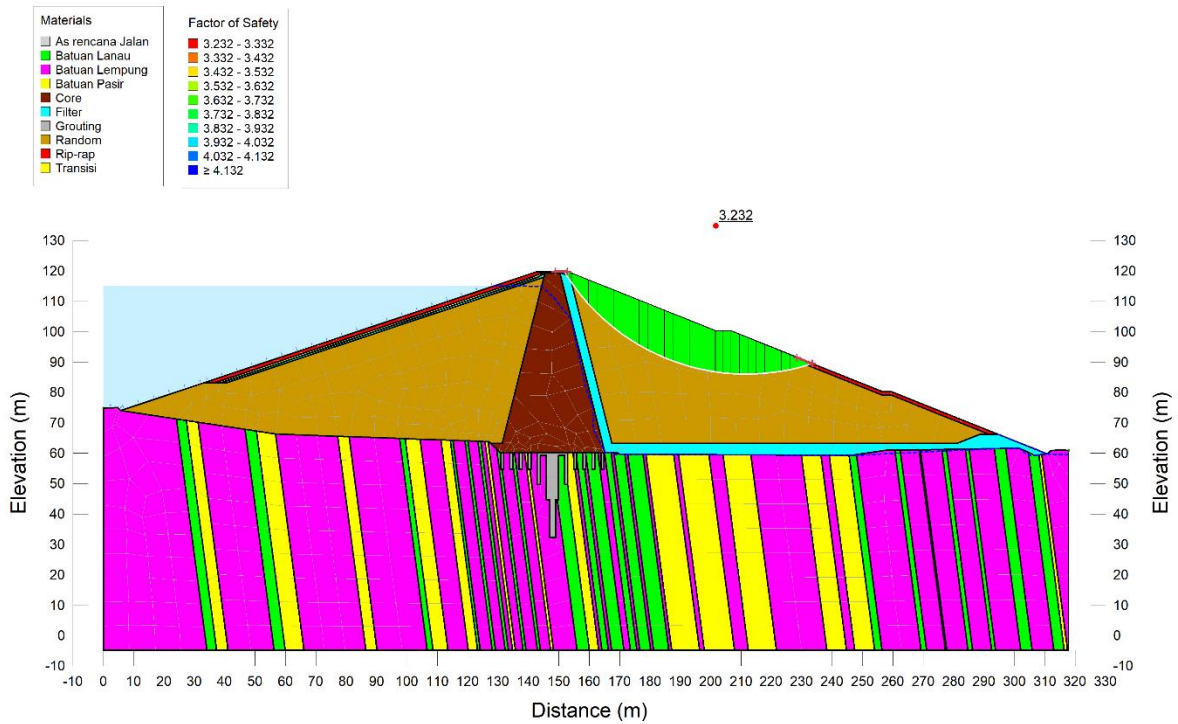
Gambar 4. 7 : Setelah Konstruksi Hulu Gempa 0,5 OBE 0,75 H



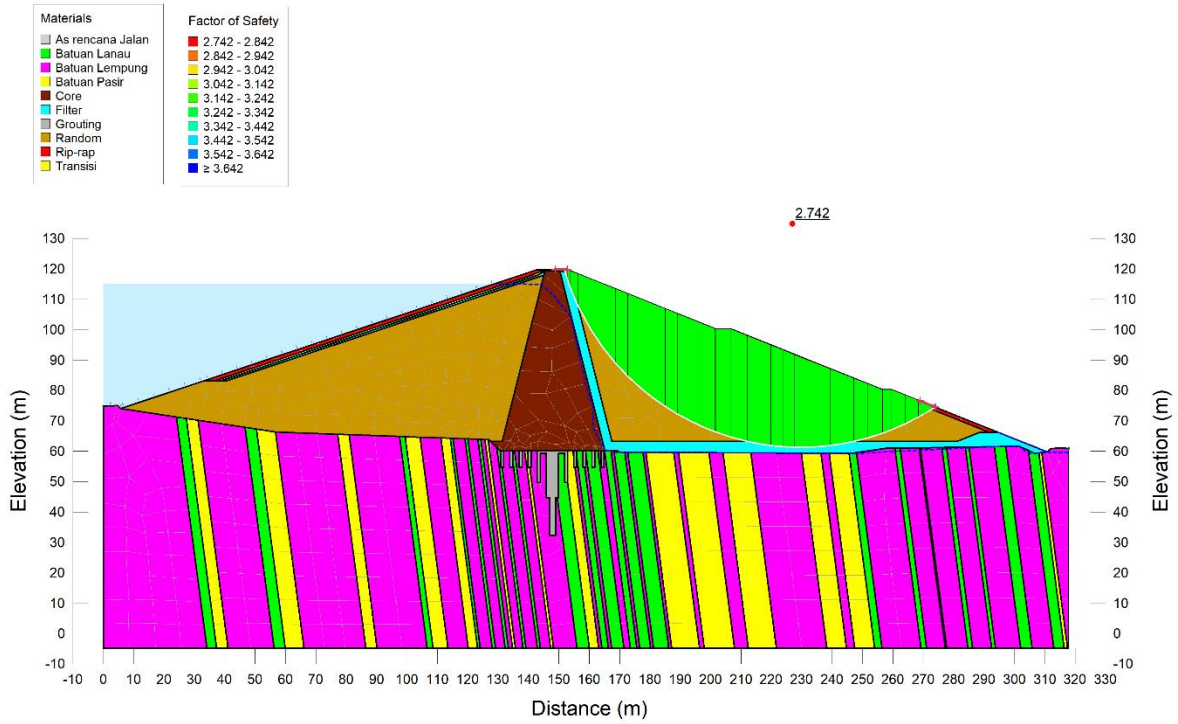
Gambar 4. 8 : Setelah Konstruksi Hulu Gempa 0,5 OBE 1 H



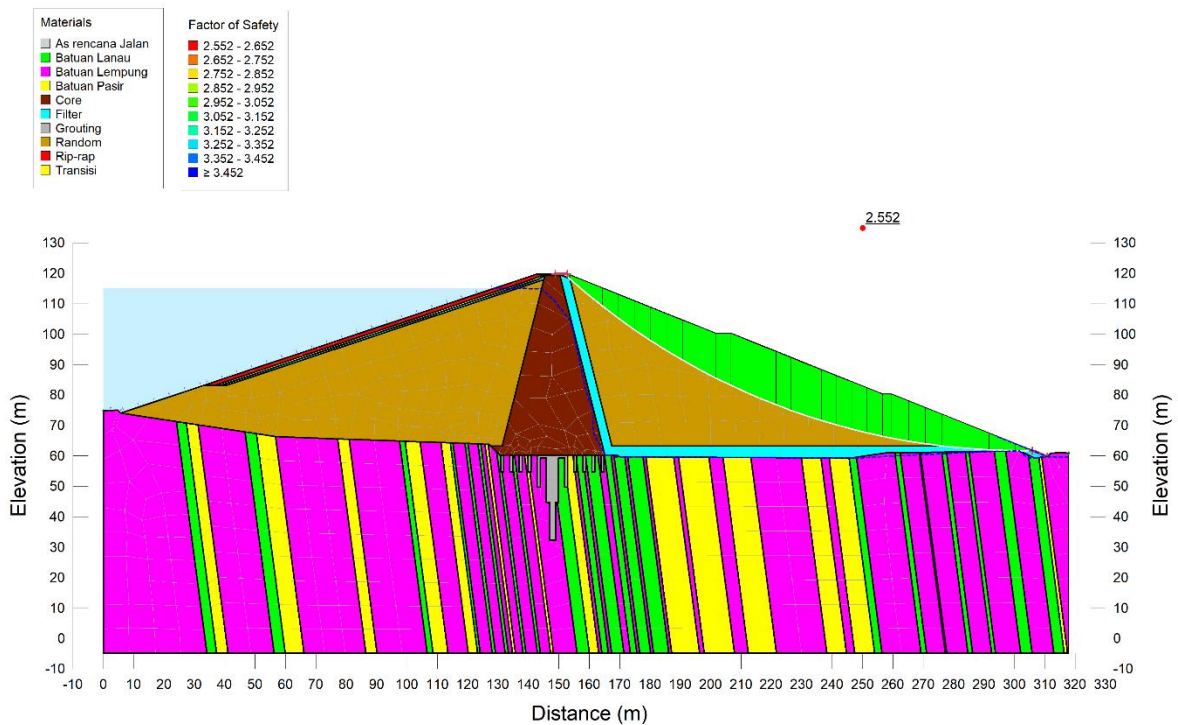
Gambar 4. 9 : Setelah Konstruksi Hilir Gempa 0,5 OBE 0,25 H



Gambar 4. 10 : Setelah Konstruksi Hilir Gempa 0,5 OBE 0,50 H

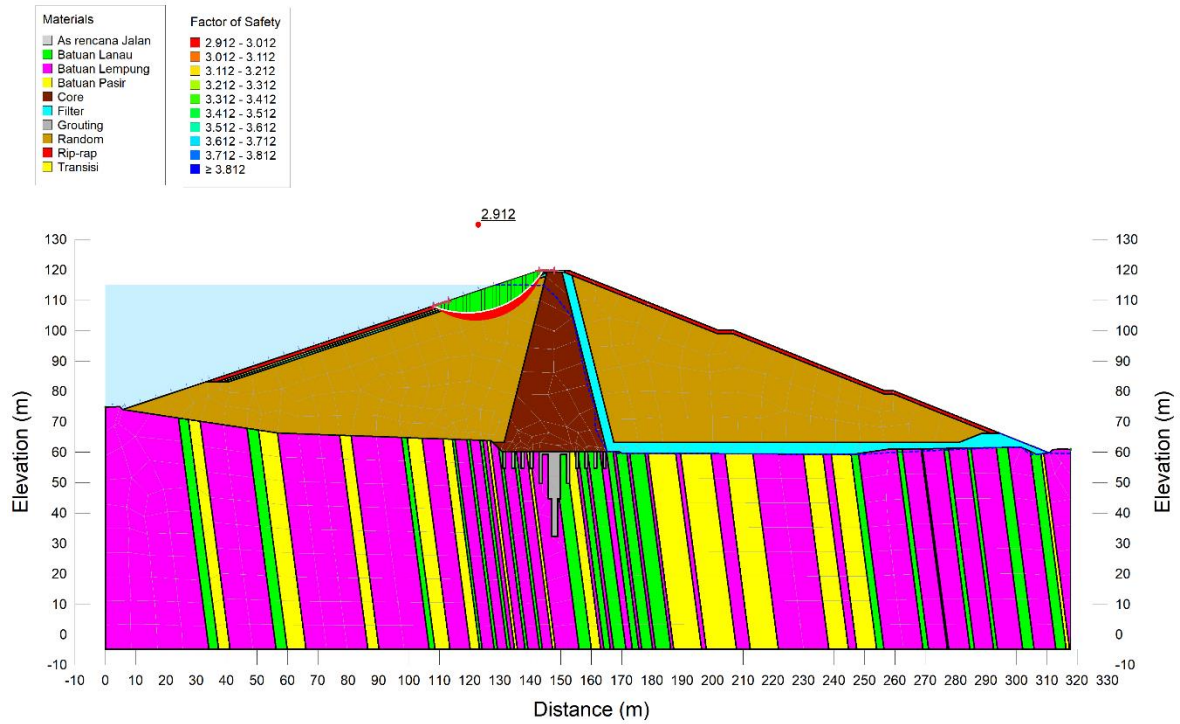


Gambar 4. 11 : Setelah Konstruksi Hilir Gempa 0,5 OBE 0,75 H

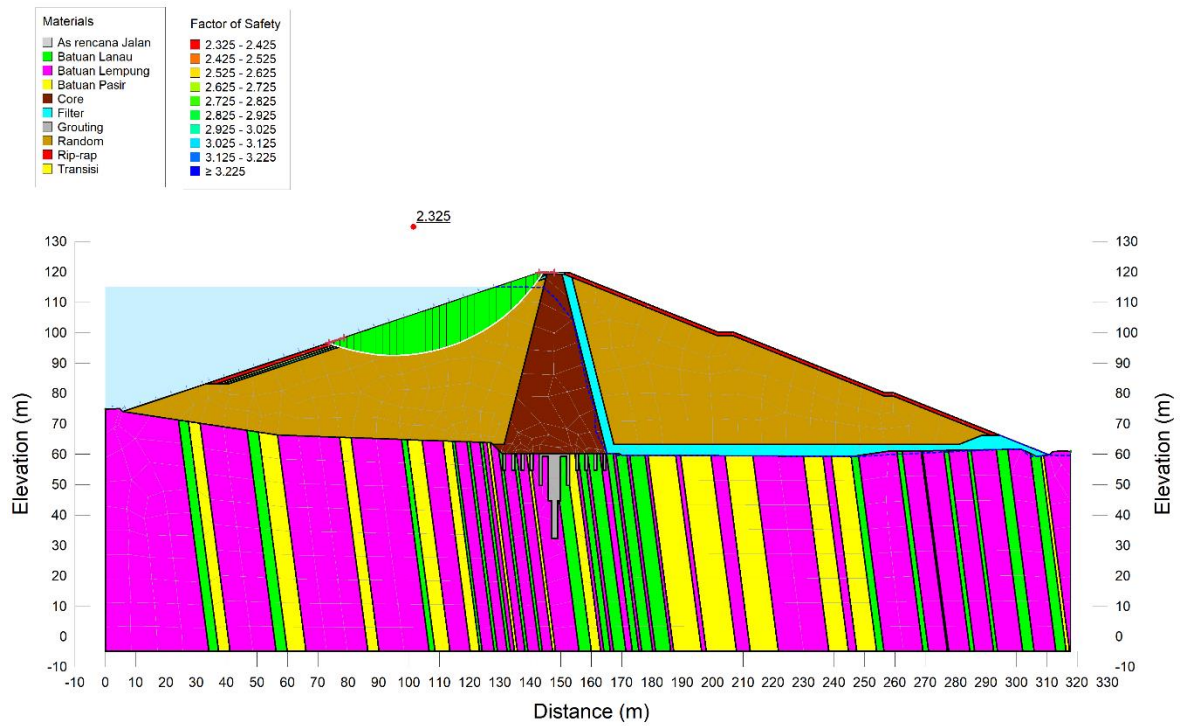


Gambar 4. 12 : Setelah Konstruksi Hilir Gempa 0,5 OBE 1 H

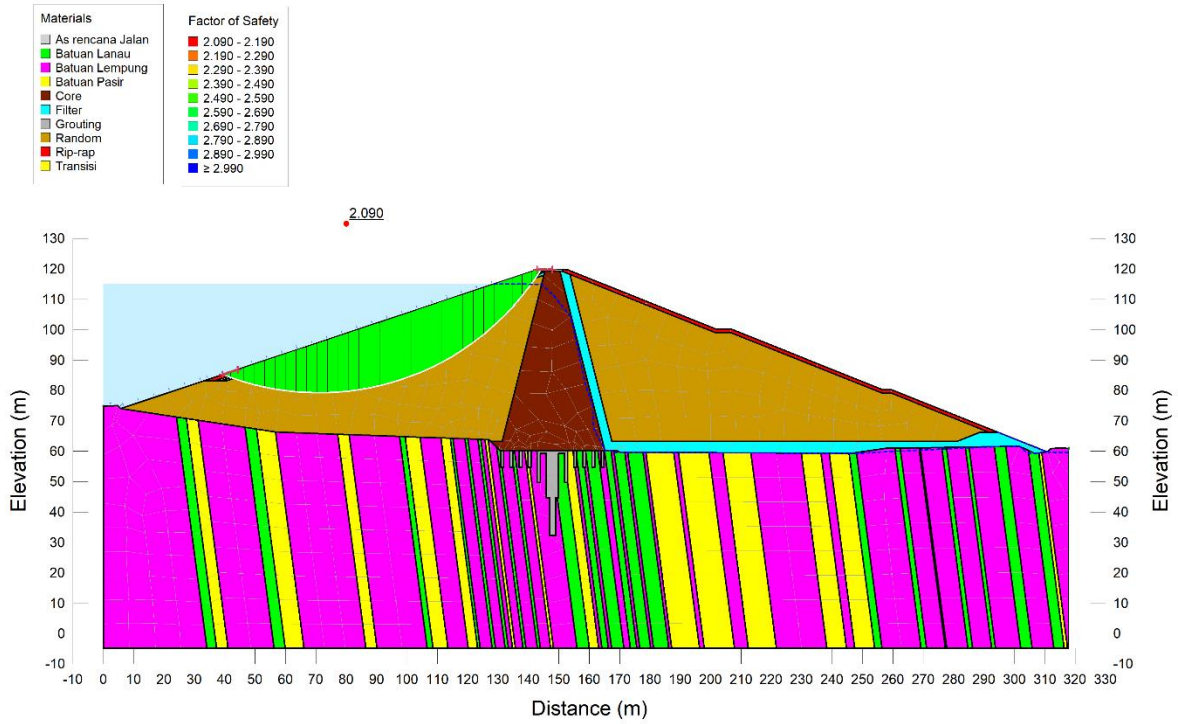
Setelah selesai pembangunan, kondisi gempa 0,50 koefisien gempa MDE.



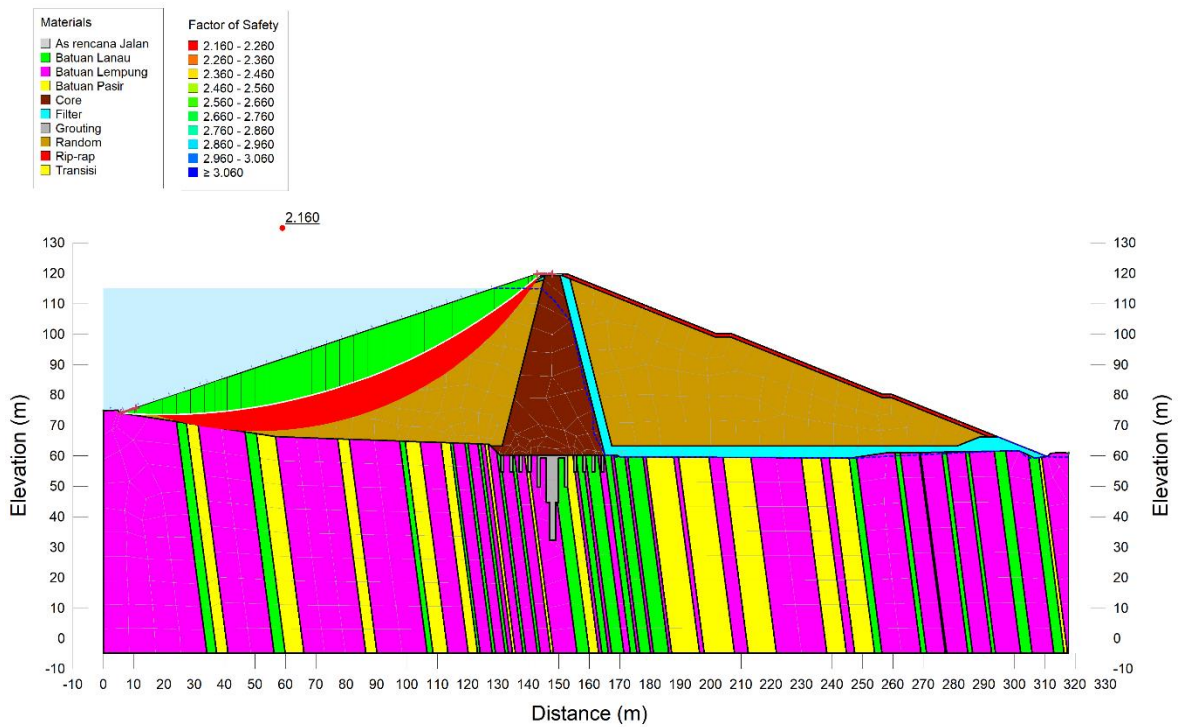
Gambar 4. 13 : Setelah Konstruksi Hulu Gempa 0,5 MDE 0,25 H



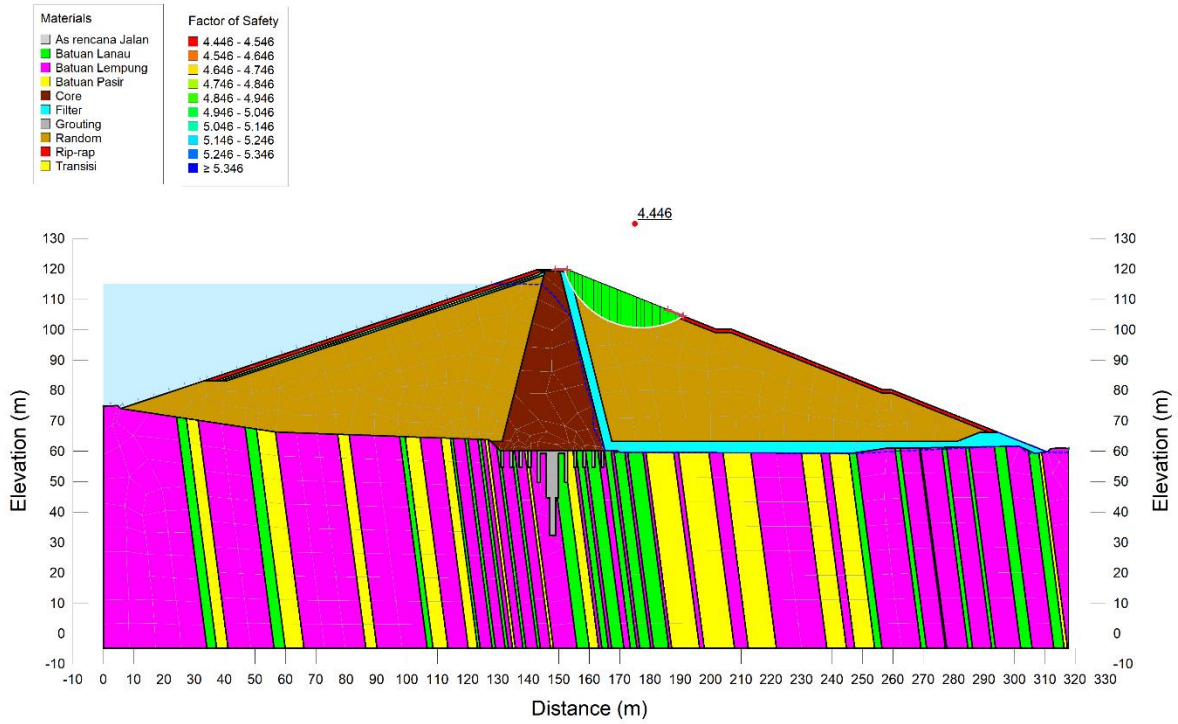
Gambar 4. 14 : Setelah Konstruksi Hulu Gempa 0,5 MDE 0,50 H



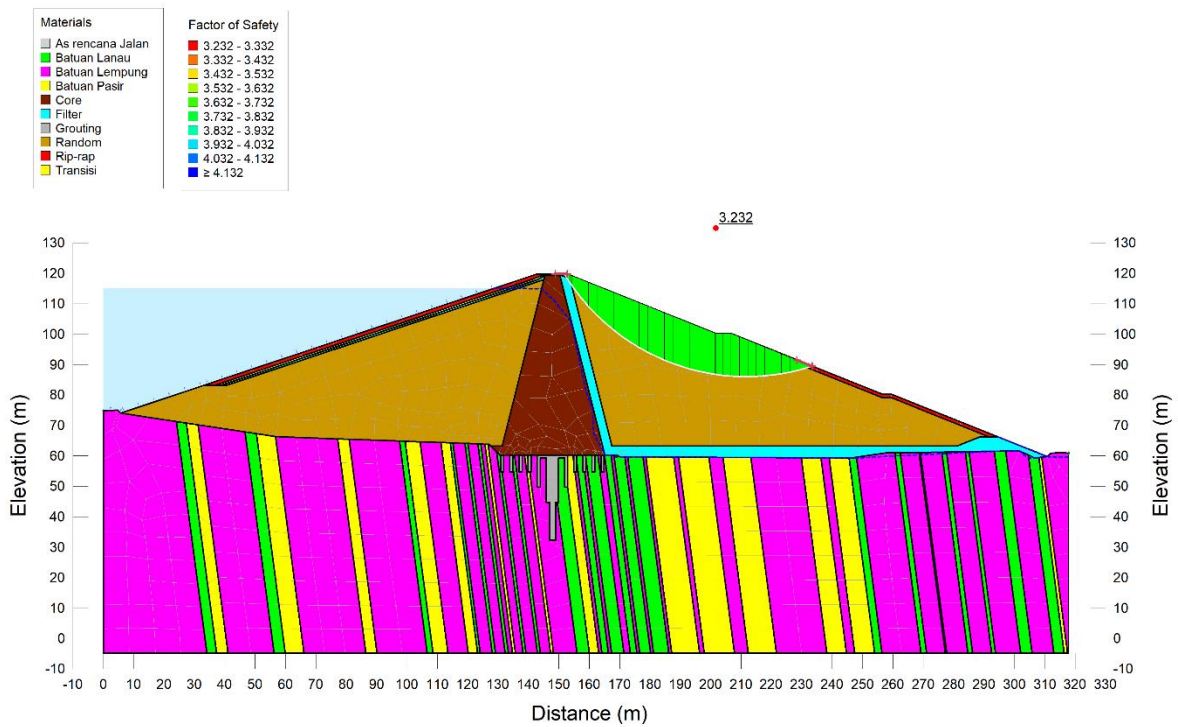
Gambar 4. 15 : Setelah Konstruksi Hulu Gempa 0,5 MDE 0,75 H



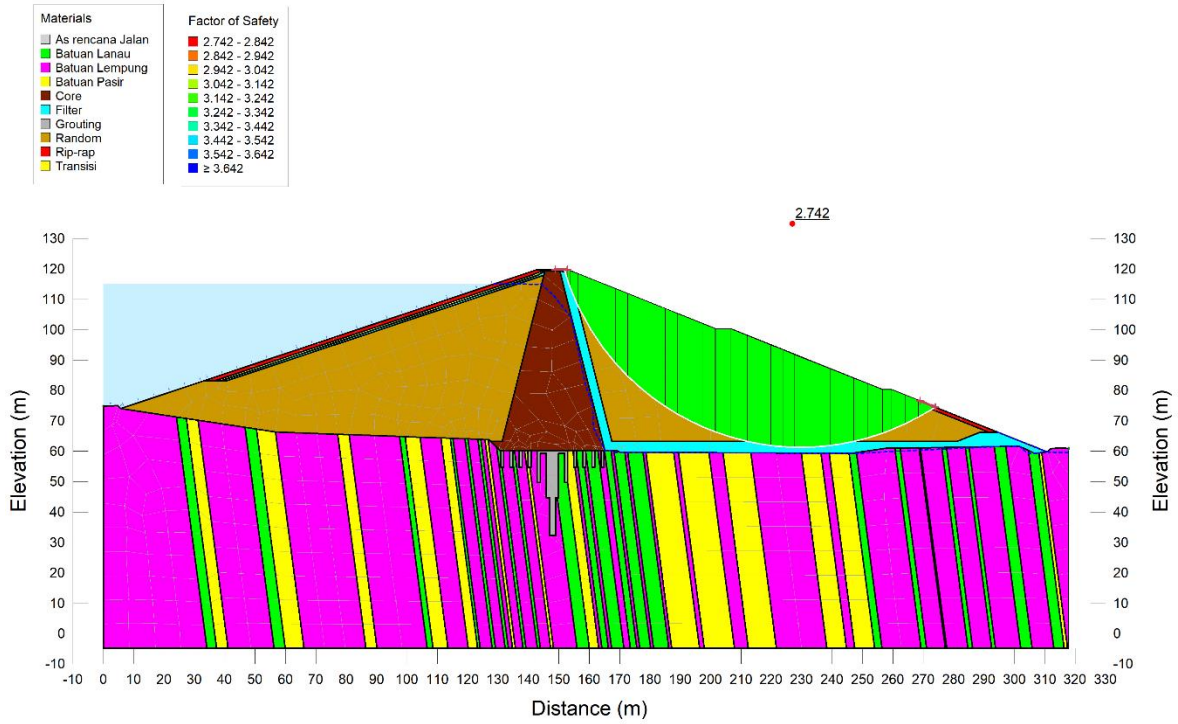
Gambar 4. 16 : Setelah Konstruksi Hulu Gempa 0,5 MDE 1 H



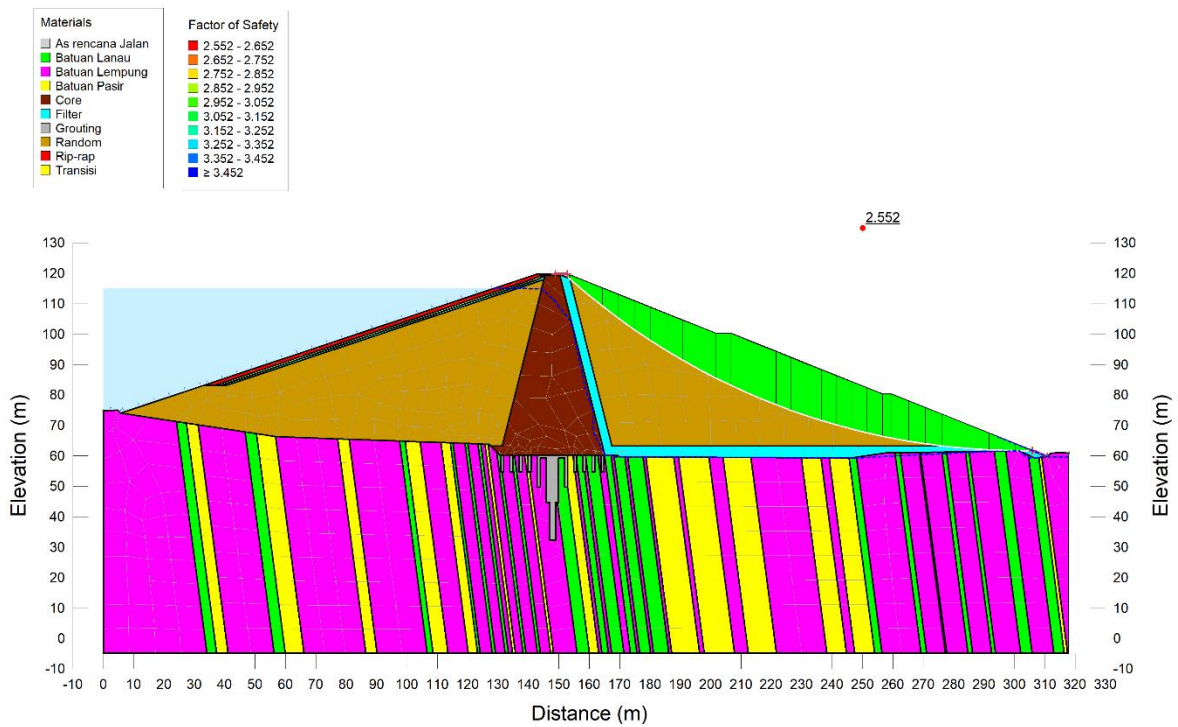
Gambar 4. 17 : Setelah Konstruksi Hilir Gempa 0,5 MDE 0,25 H



Gambar 4. 18 : Setelah Konstruksi Hilir Gempa 0,5 MDE 0,50 H



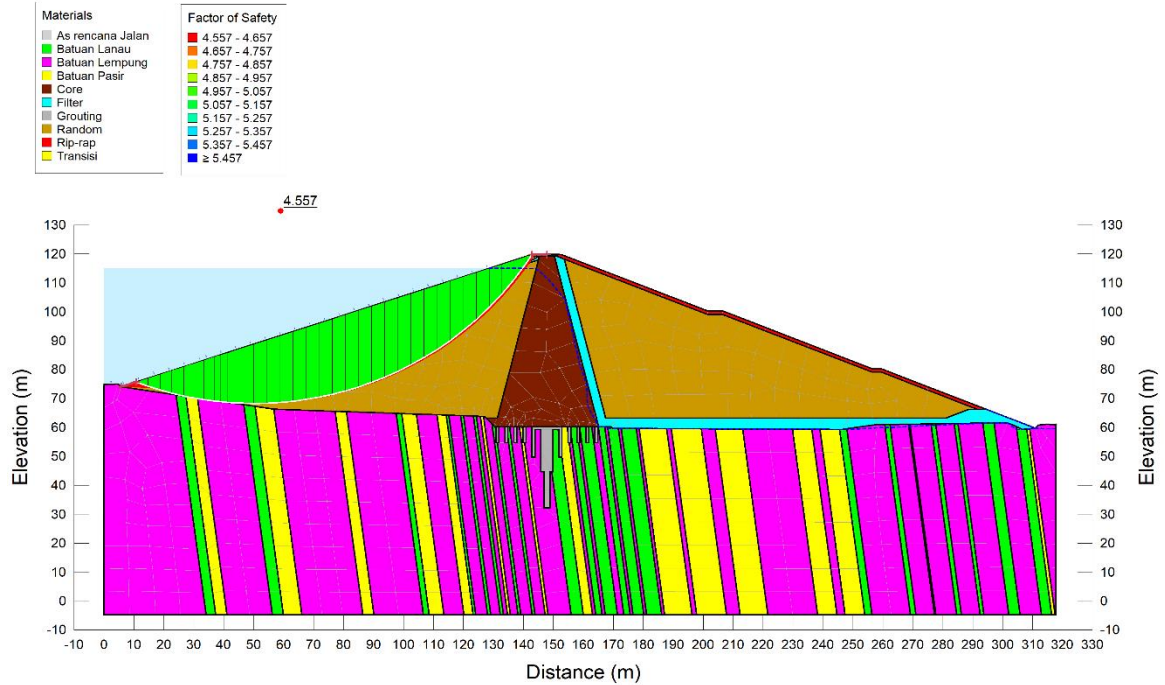
Gambar 4. 19 : Setelah Konstruksi Hilir Gempa 0,5 MDE 0,75 H



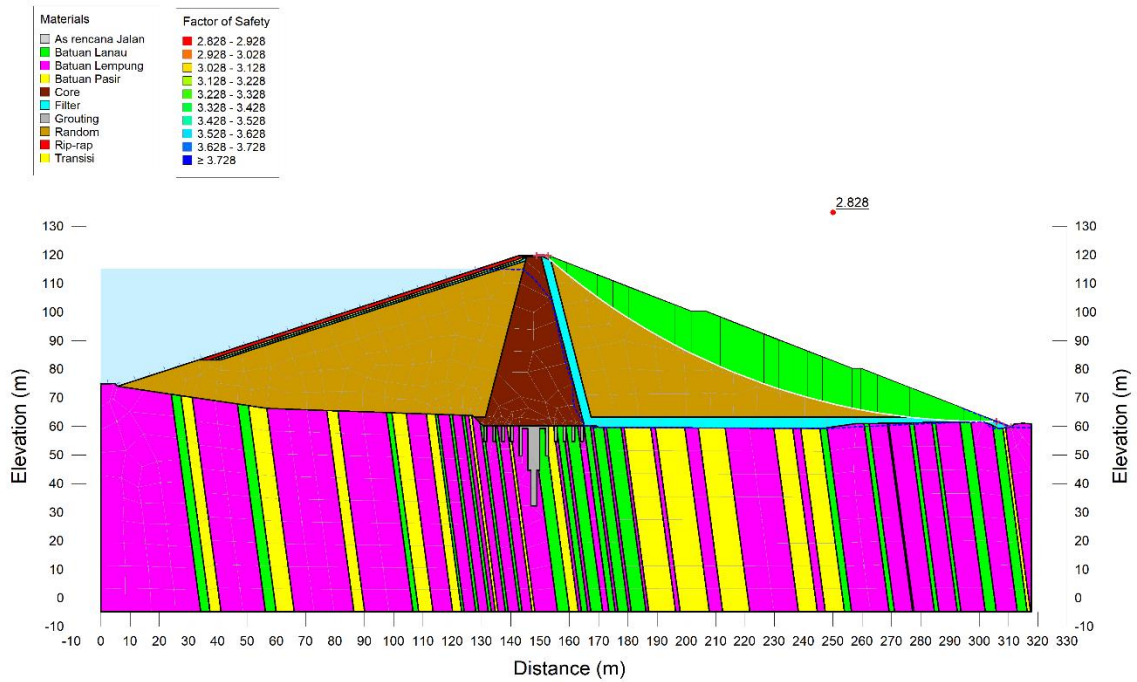
Gambar 4. 20 : Setelah Konstruksi Hilir Gempa 0,5 MDE 1 H

5.5.2 Aliran Tunak (Steady Flow)

Aliran tunak (*steady flow*) muka air normal (NWL) pada elevasi 115,00 m, tanpa gempa.

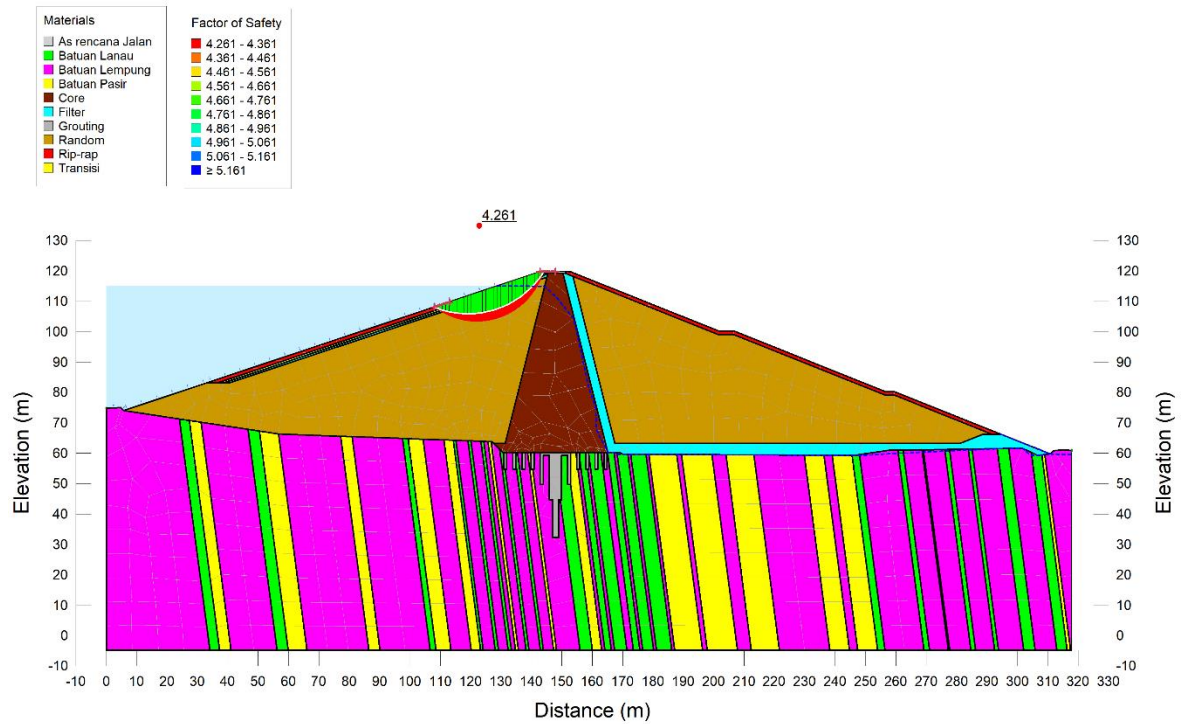


Gambar 4. 21 : Aliran Tunak Hulu Tanpa Gempa

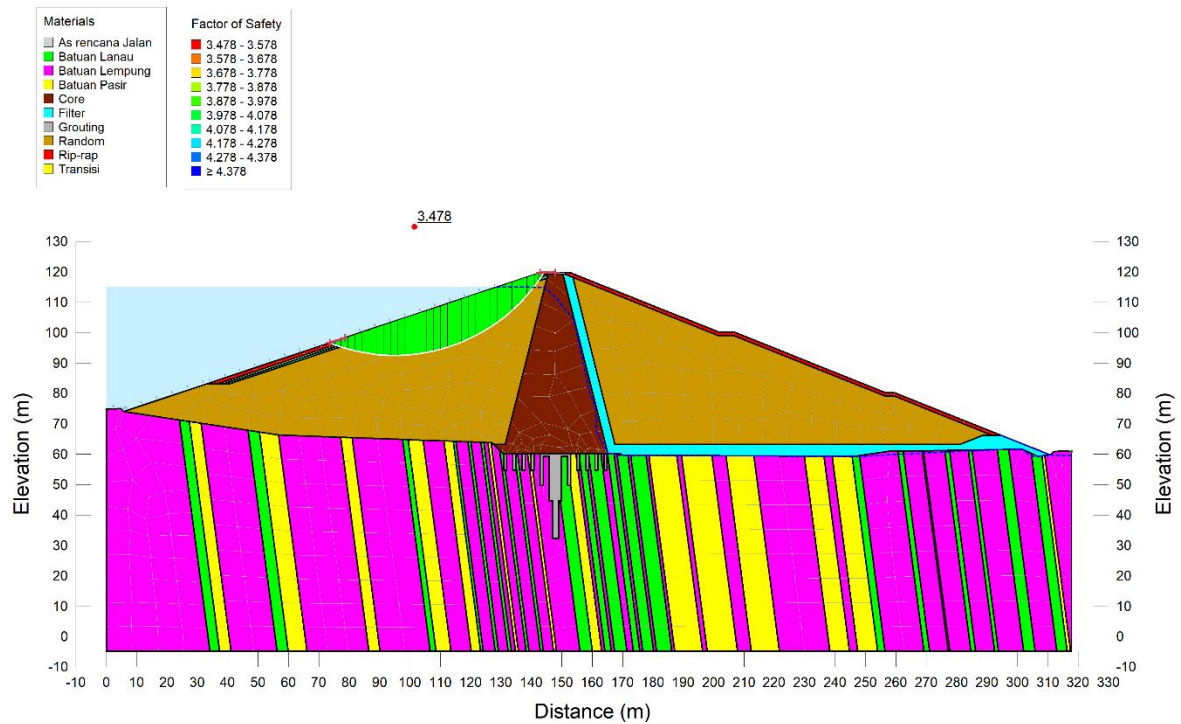


Gambar 4. 22 : Aliran Tunak Hilir Tanpa Gempa

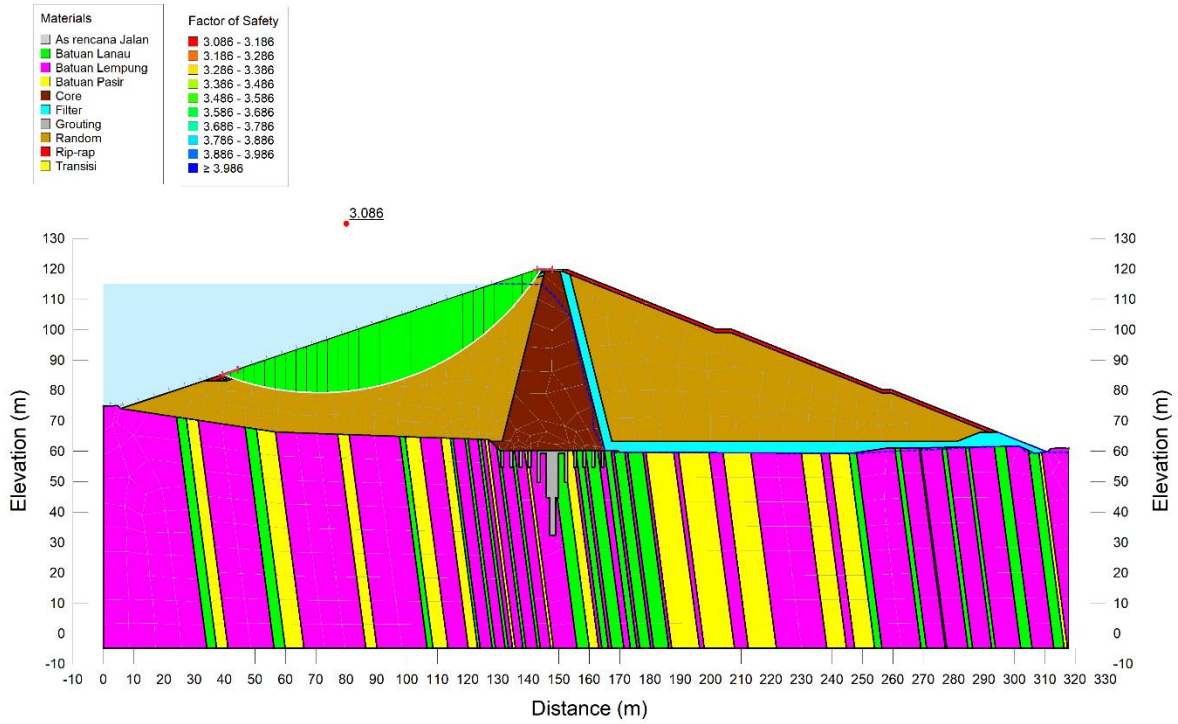
Aliran tunak (*steady flow*) muka air normal (NWL) pada elevasi 115,00 m, gempa OBE.



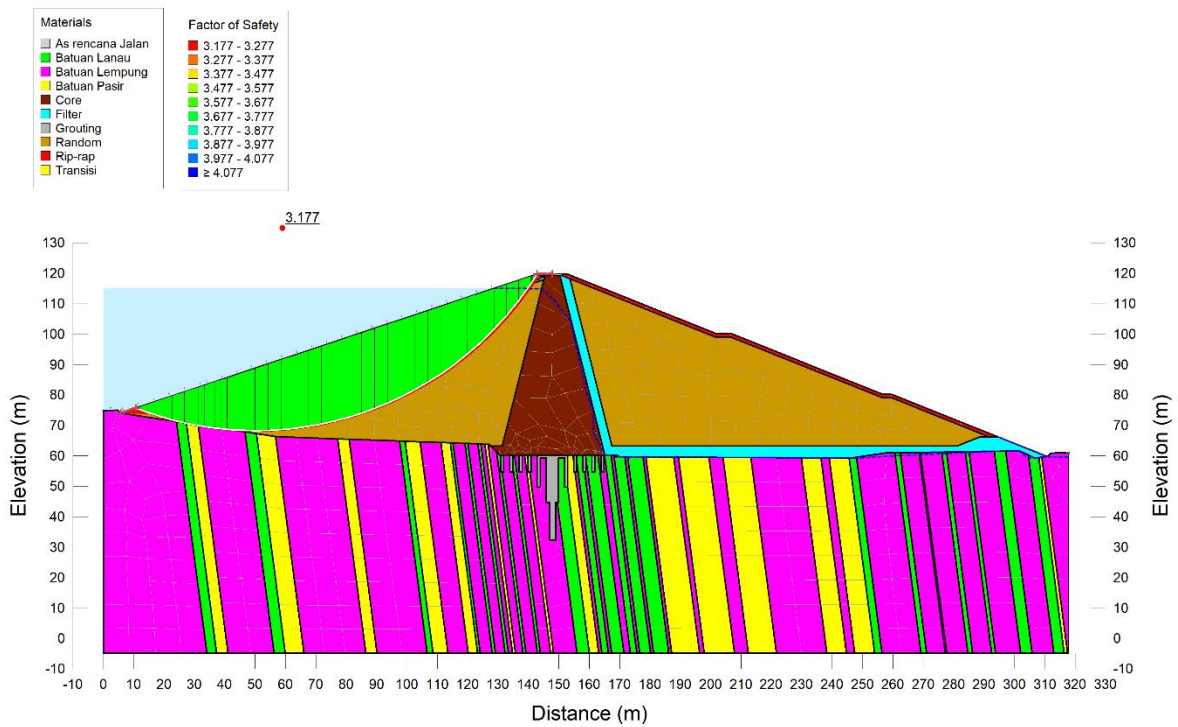
Gambar 4. 23 : Aliran Tunak Hulu Gempa OBE 0,25 H



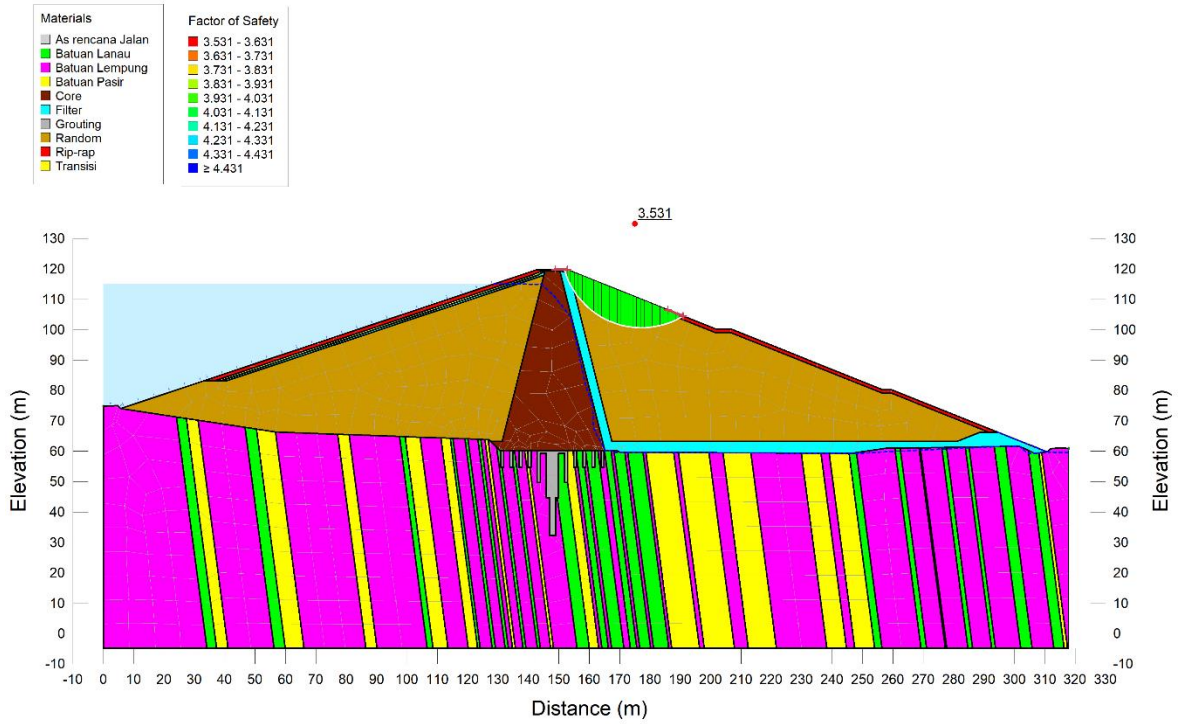
Gambar 4. 24 : Aliran Tunak Hulu Gempa OBE 0,50 H



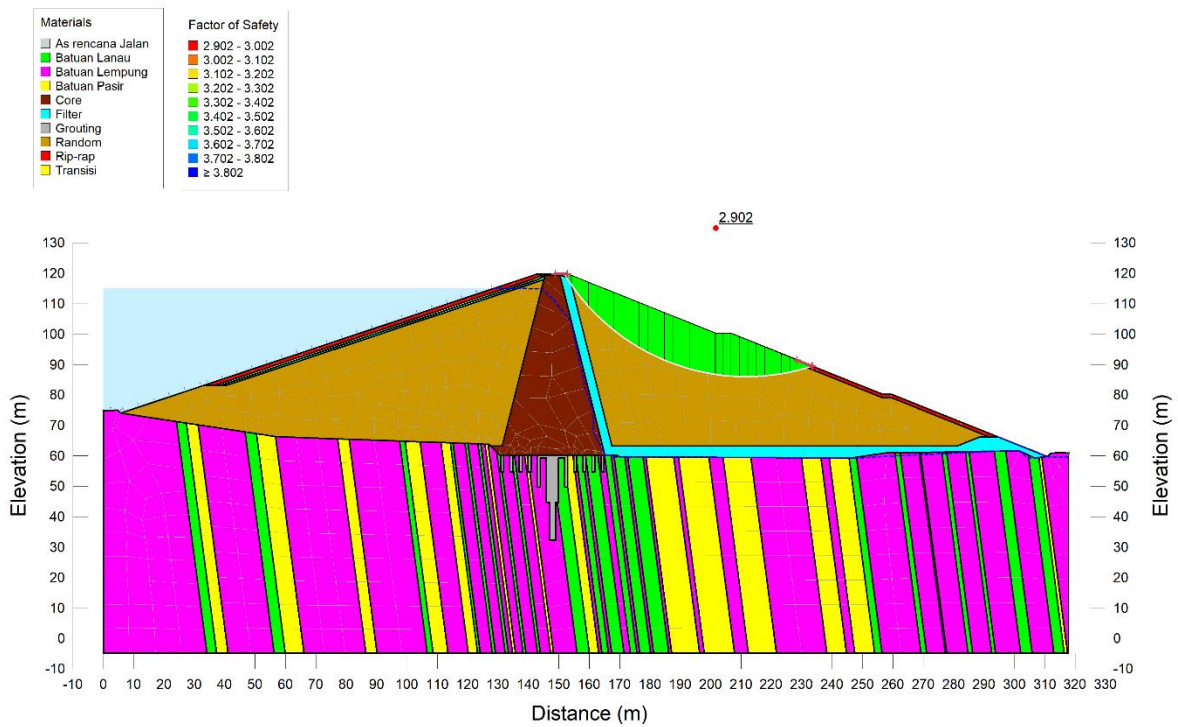
Gambar 4. 25 : Aliran Tunak Hulu Gempa OBE 0,75 H



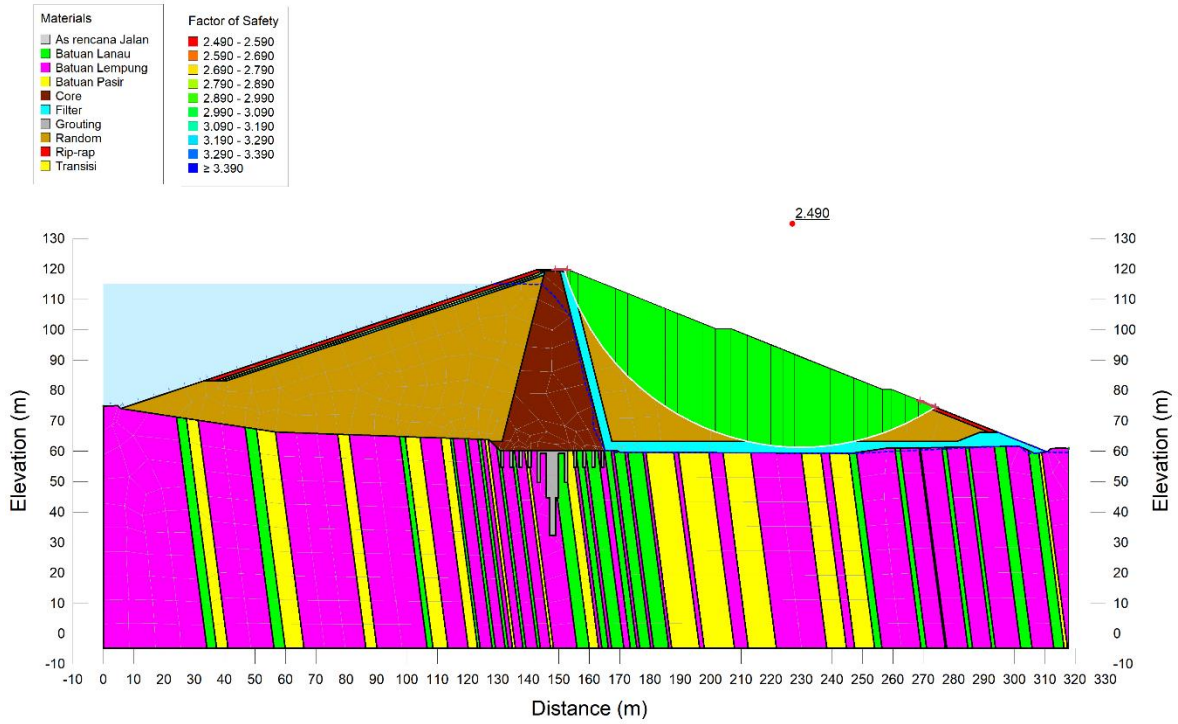
Gambar 4. 26 : Aliran Tunak Hulu Gempa OBE 0,1 H



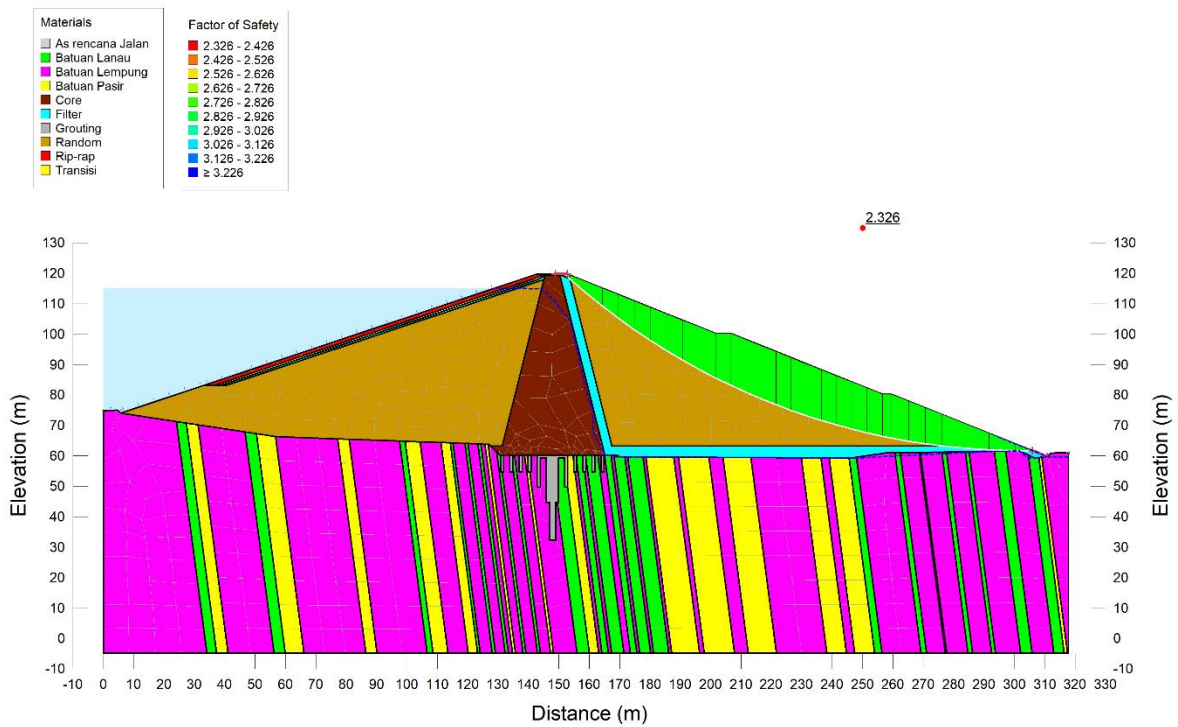
Gambar 4. 27 : Aliran Tunak Hilir Gempa OBE 0,25 H



Gambar 4. 28 : Aliran Tunak Hilir Gempa OBE 0,50 H

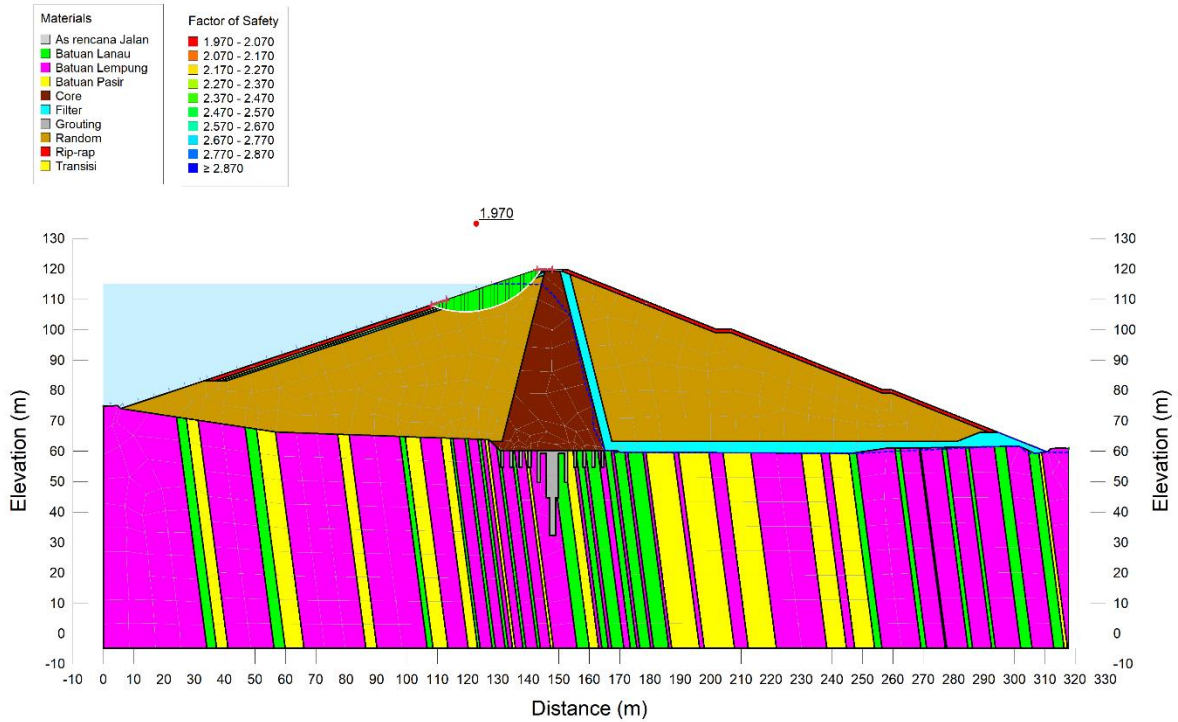


Gambar 4. 29 : Aliran Tunak Hilir Gempa OBE 0,75 H

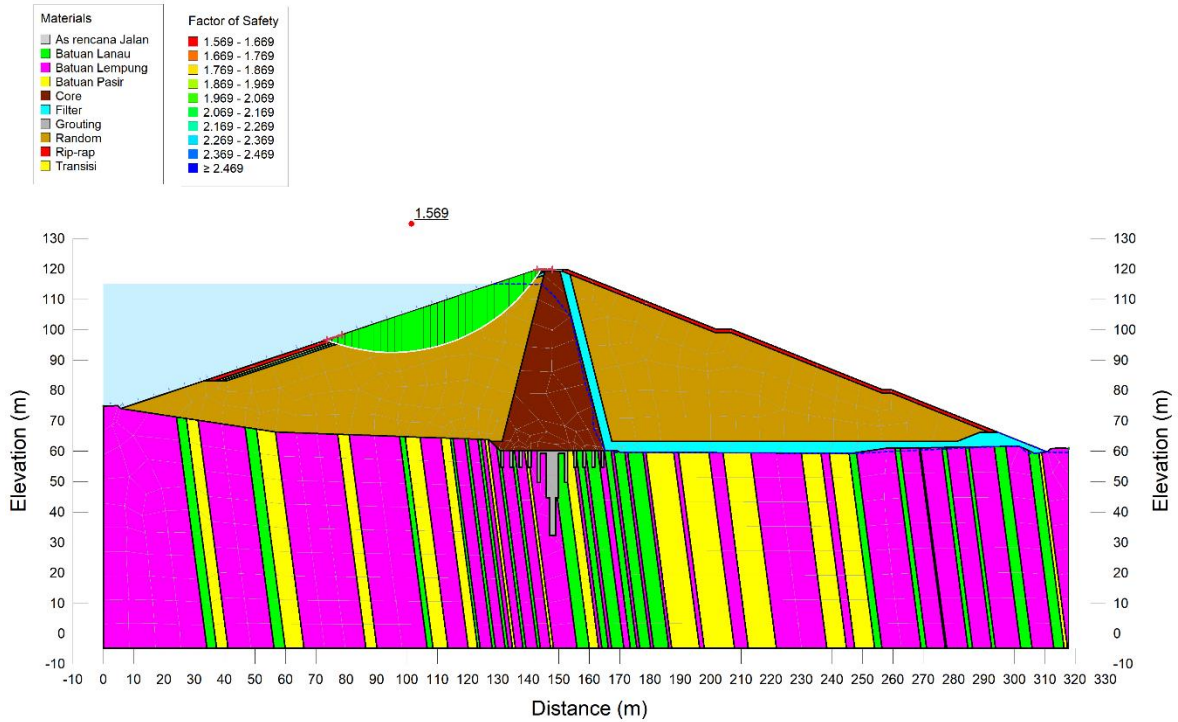


Gambar 4. 30 : Aliran Tunak Hilir Gempa OBE 1 H

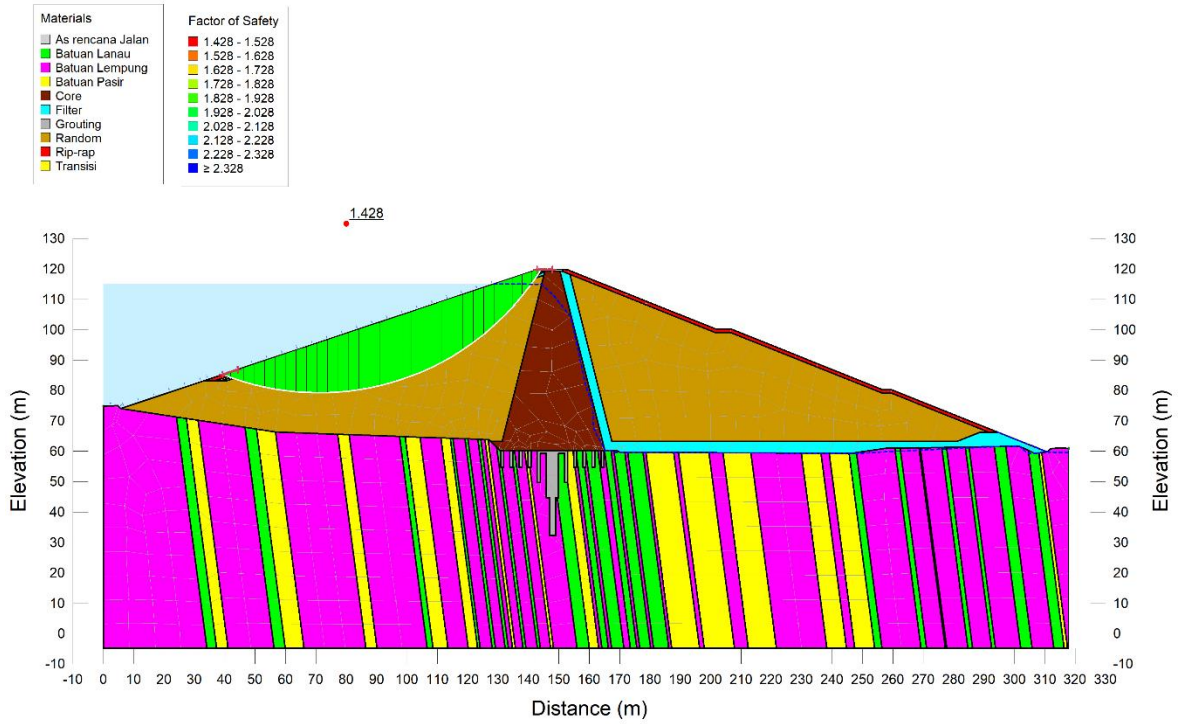
Aliran tunak (*steady flow*) muka air normal (NWL) pada elevasi 115,00 m, gempa MDE.



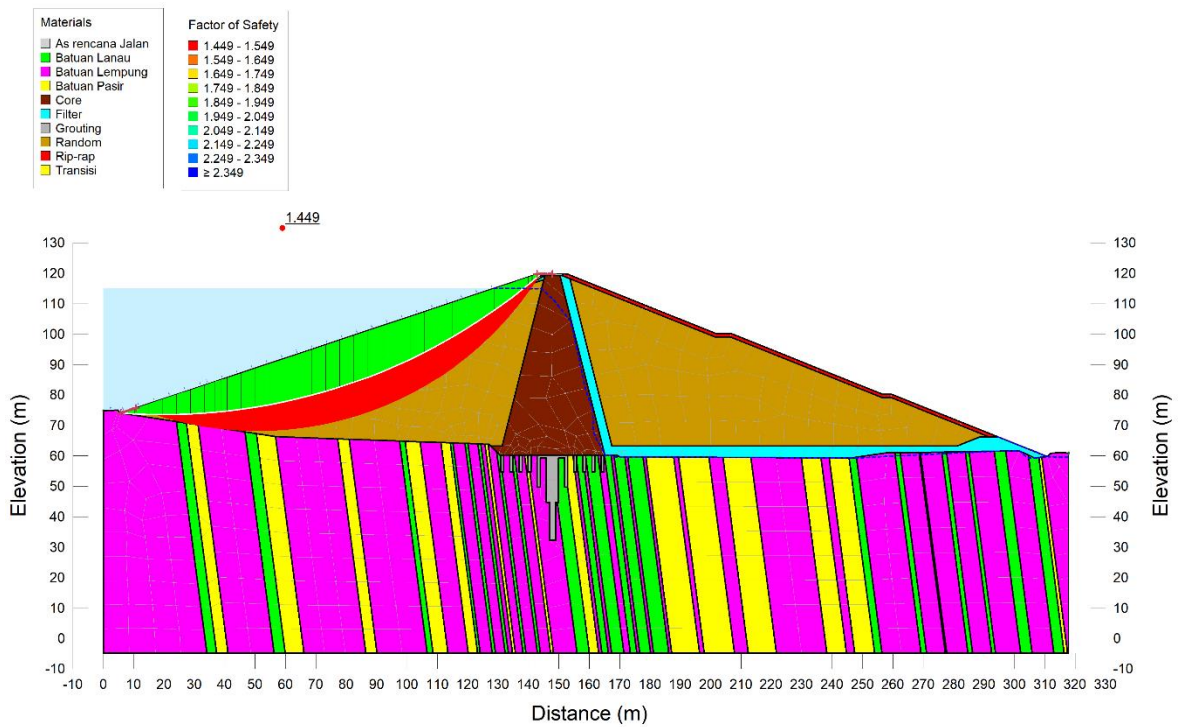
Gambar 4. 31 : Aliran Tunak Hulu Gempa MDE 0,25 H



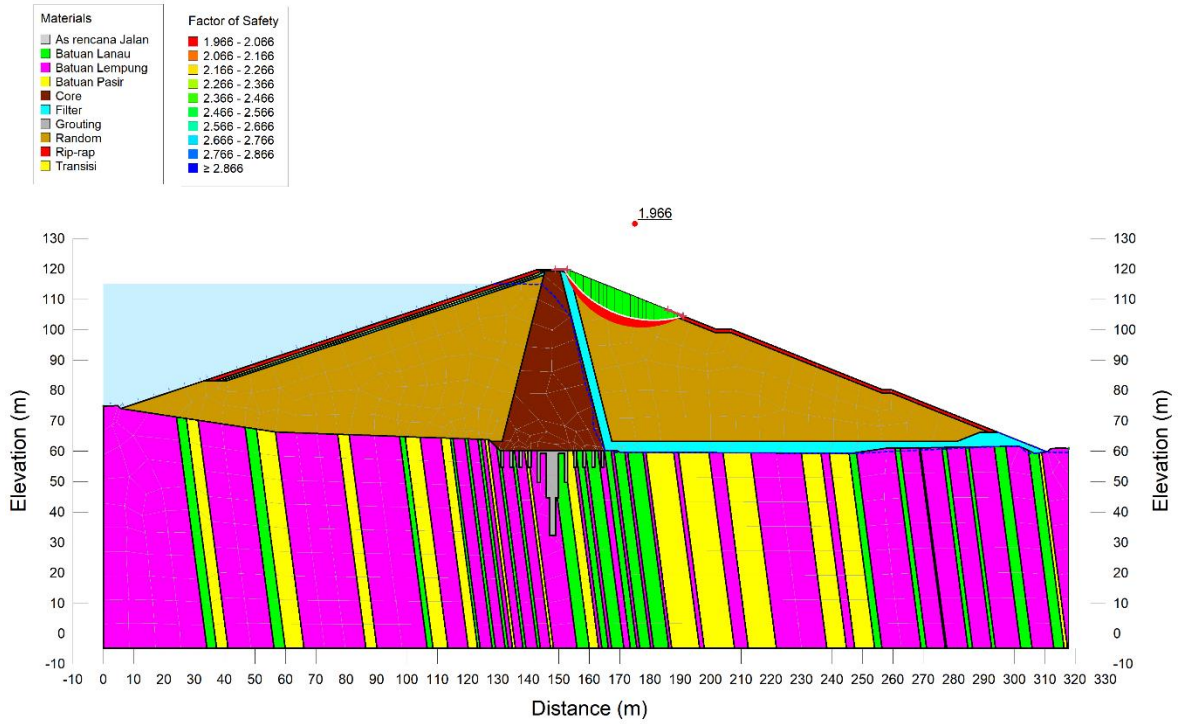
Gambar 4. 32 : Aliran Tunak Hulu Gempa MDE 0,50 H



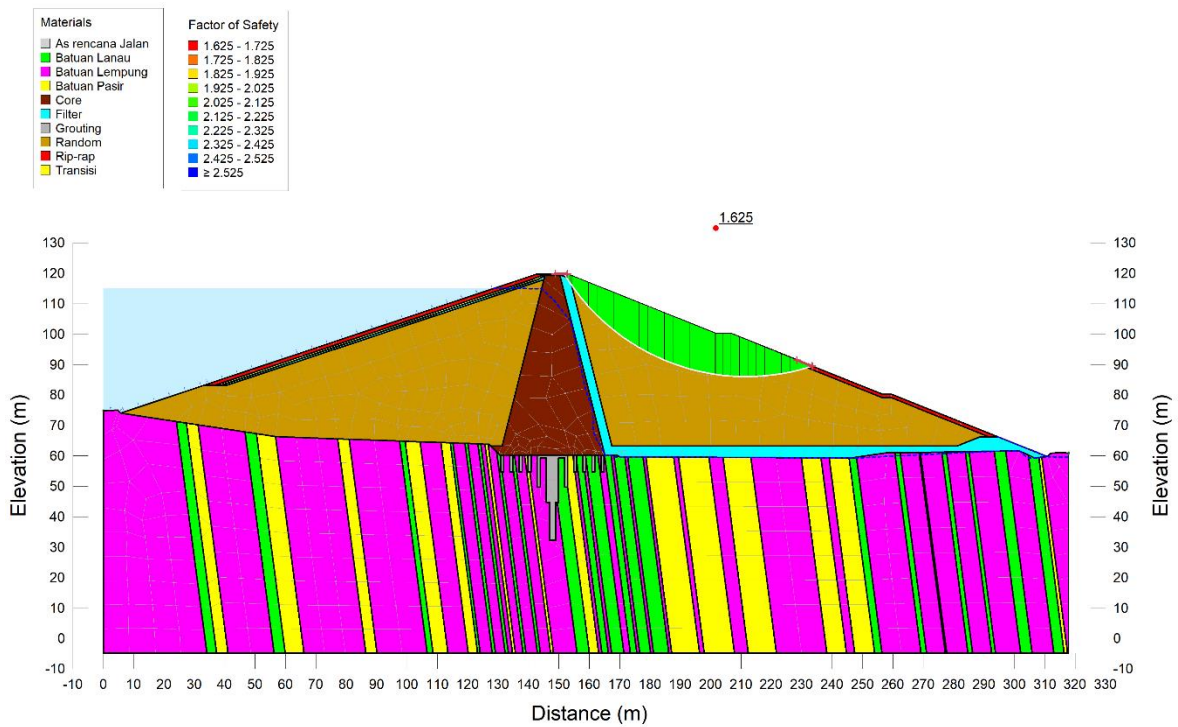
Gambar 4. 33 : Aliran Tunak Hulu Gempa MDE 0,75 H



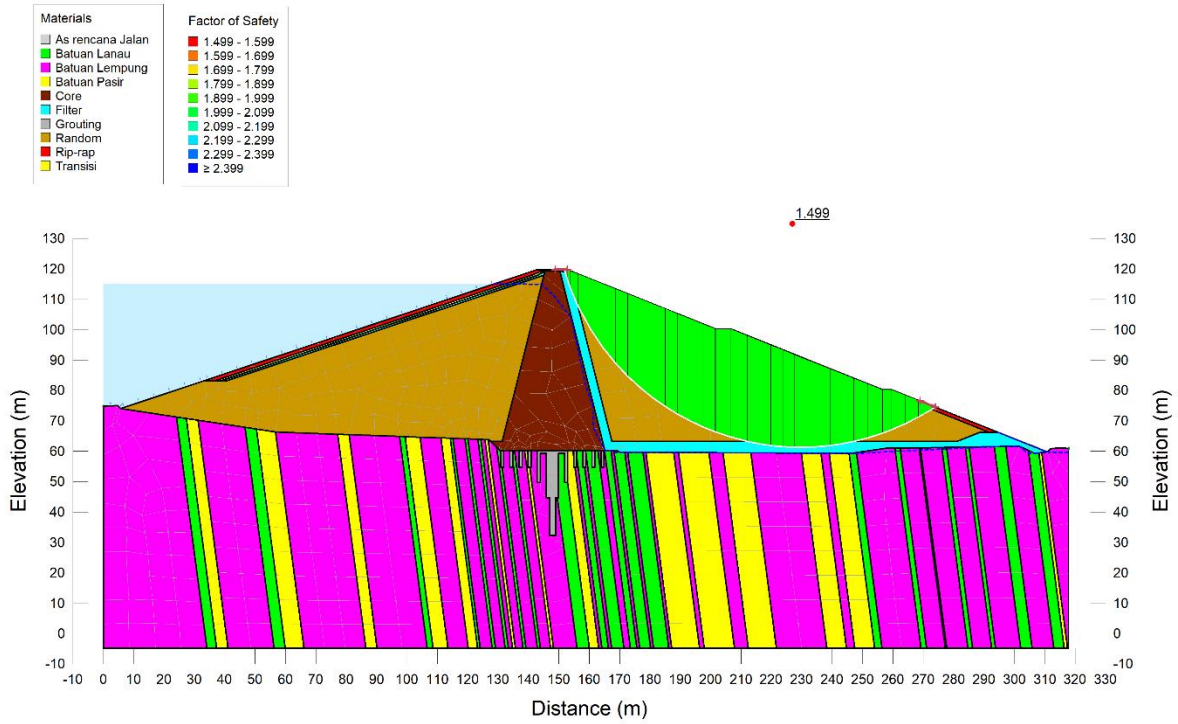
Gambar 4. 34 : Aliran Tunak Hulu Gempa MDE 1 H



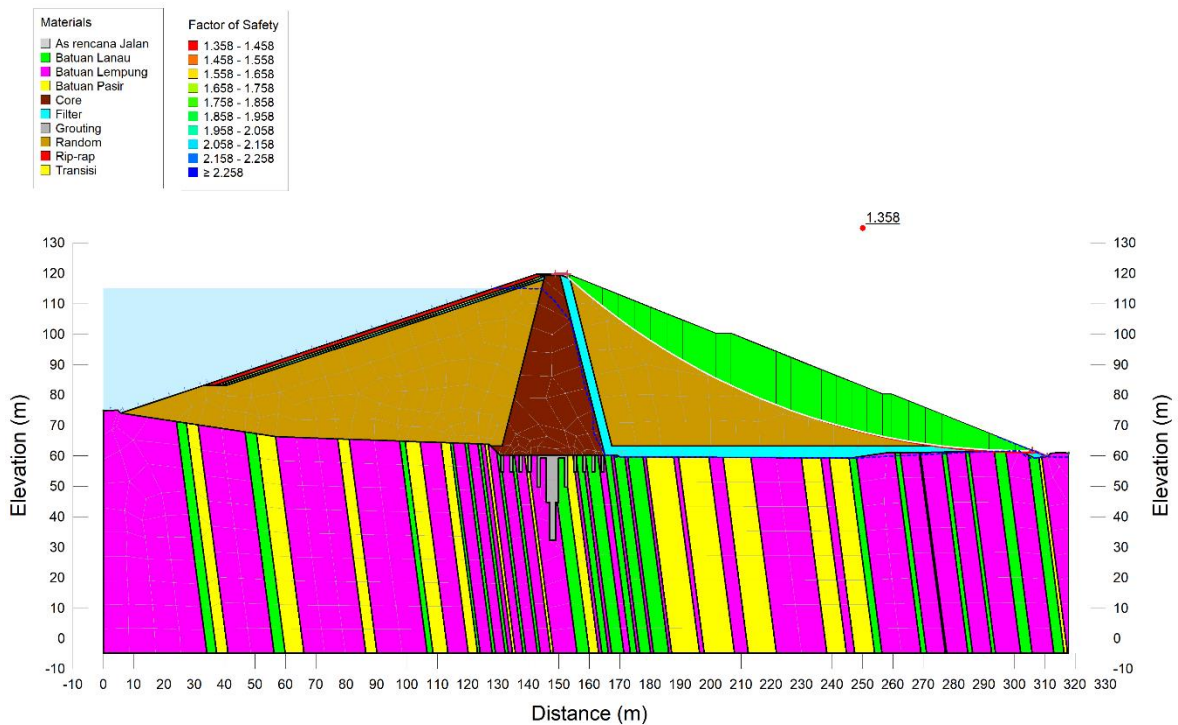
Gambar 4. 35 : Aliran Tunak Hilir Gempa MDE 0,25 H



Gambar 4. 36 : Aliran Tunak Hilir Gempa MDE 0,50 H



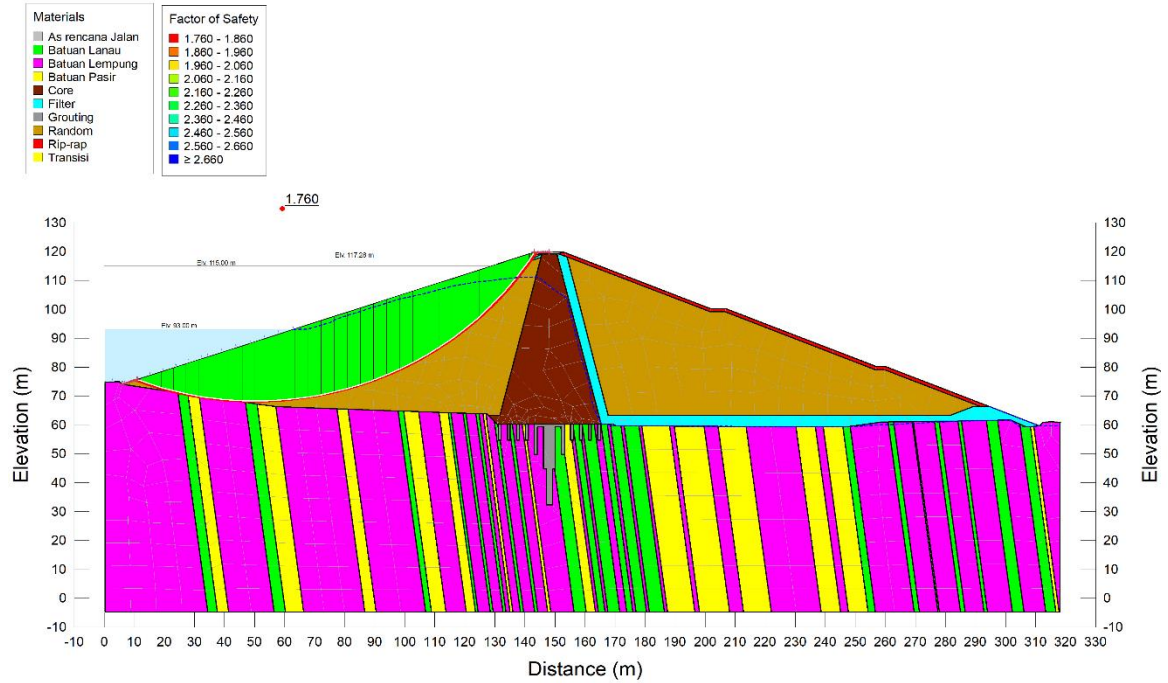
Gambar 4. 37 : Aliran Tunak Hilir Gempa MDE 0,75 H



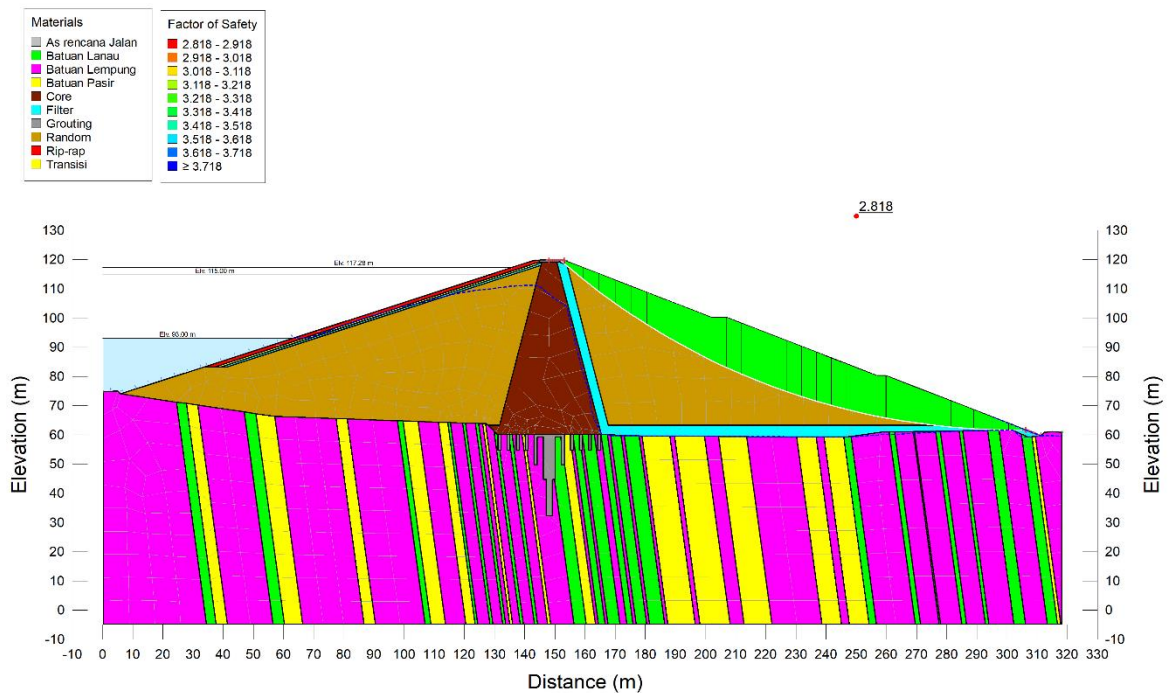
Gambar 4. 38 : Aliran Tunak Hilir Gempa MDE 1 H

5.5.3 Penarikan Cepat (*Rapid Drawdown*)

Pengoperasian waduk surut cepat dari muka air normal (NWL) pada elevasi 115,00 m ke muka air minimum (LWL) pada elevasi 93,00 m, tanpa gempa.

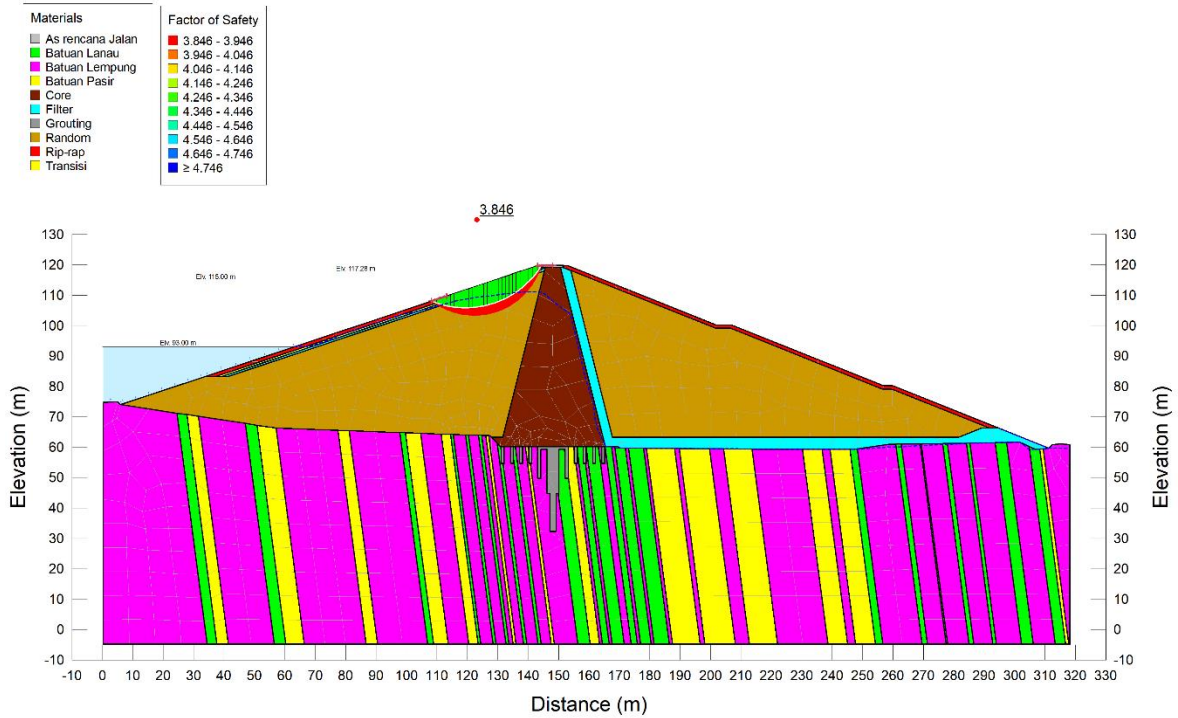


Gambar 4. 39 : Surut Cepat Hulu Tanpa Gempa

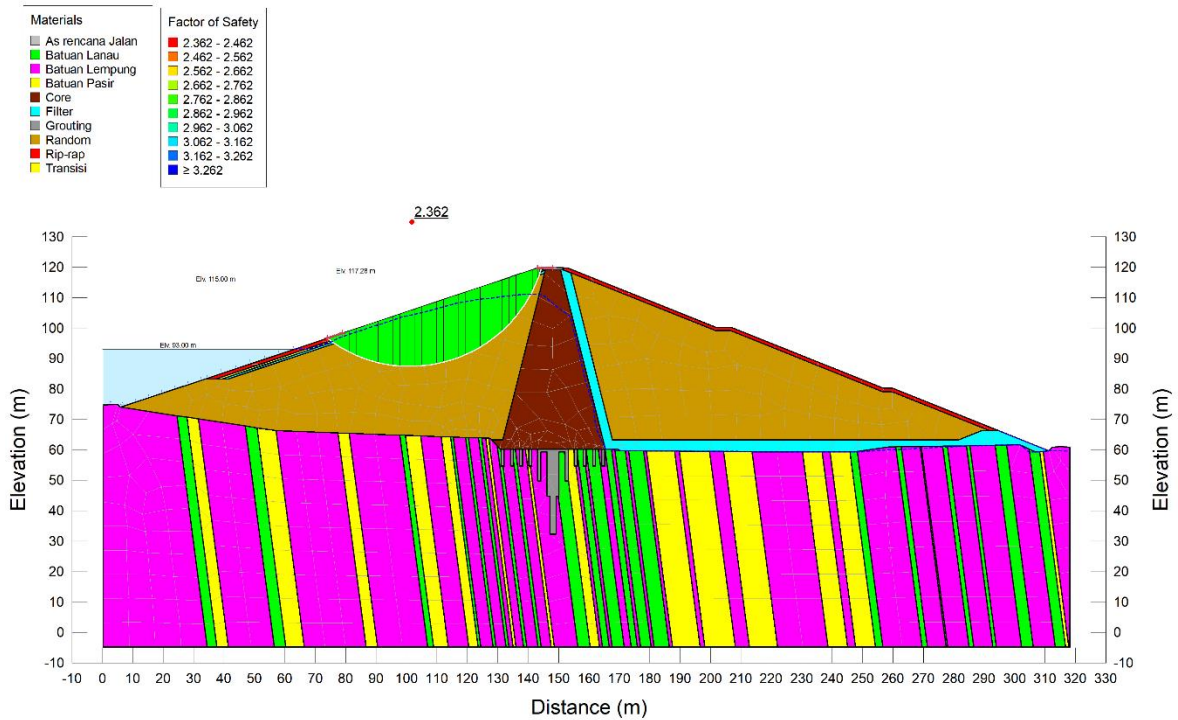


Gambar 4. 40 : Surut Cepat Hilir Tanpa Gempa

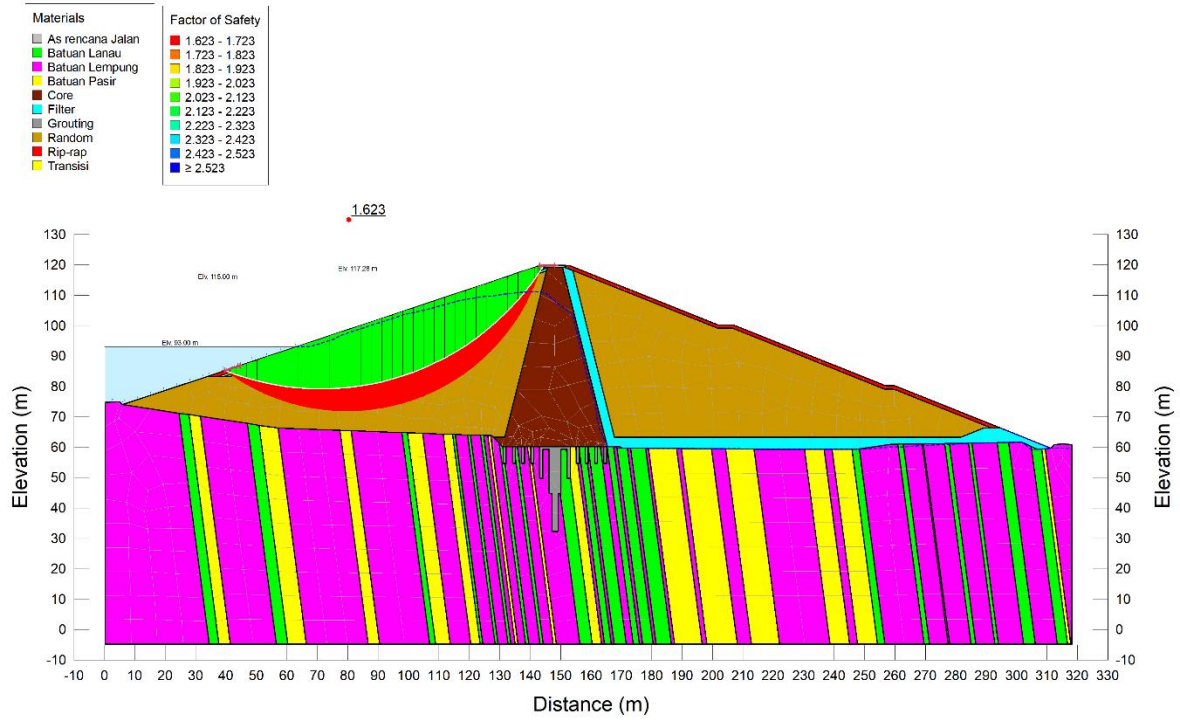
Pengoperasian waduk surut cepat dari muka air normal (NWL) pada elevasi 115,00 m ke muka air minimum (LWL) pada elevasi 93,00 m, gempa OBE.



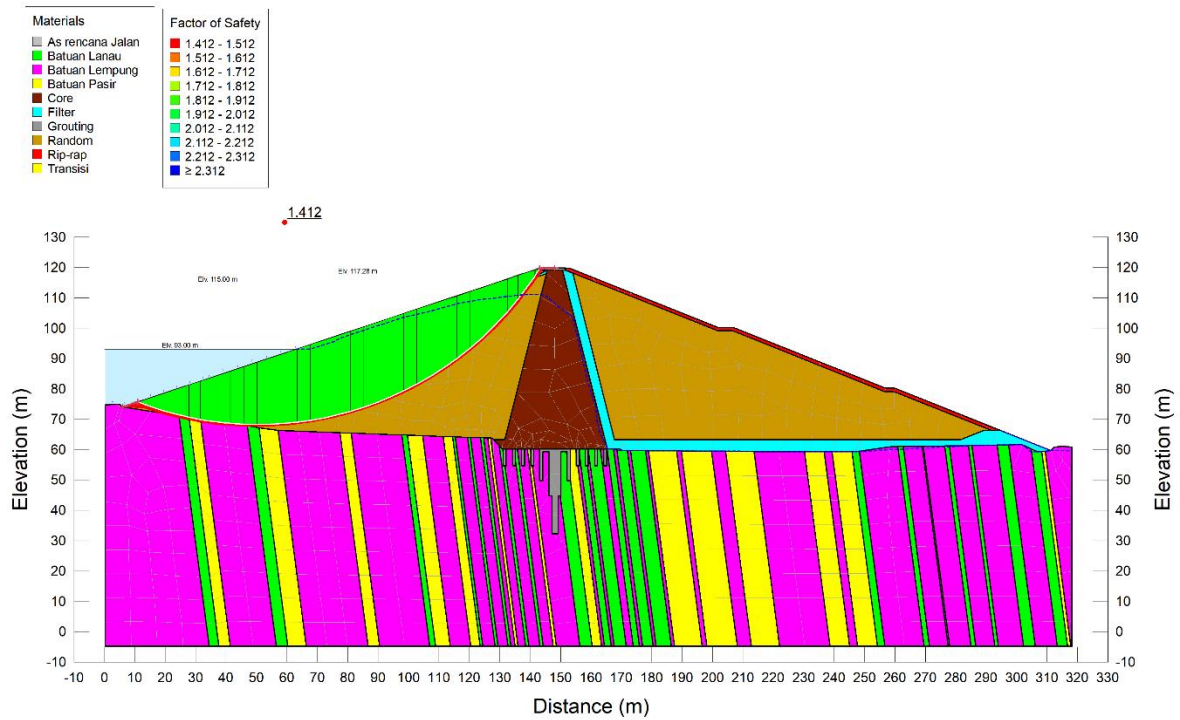
Gambar 4. 41 : Surut Cepat Hulu Gempa OBE 0,25 H



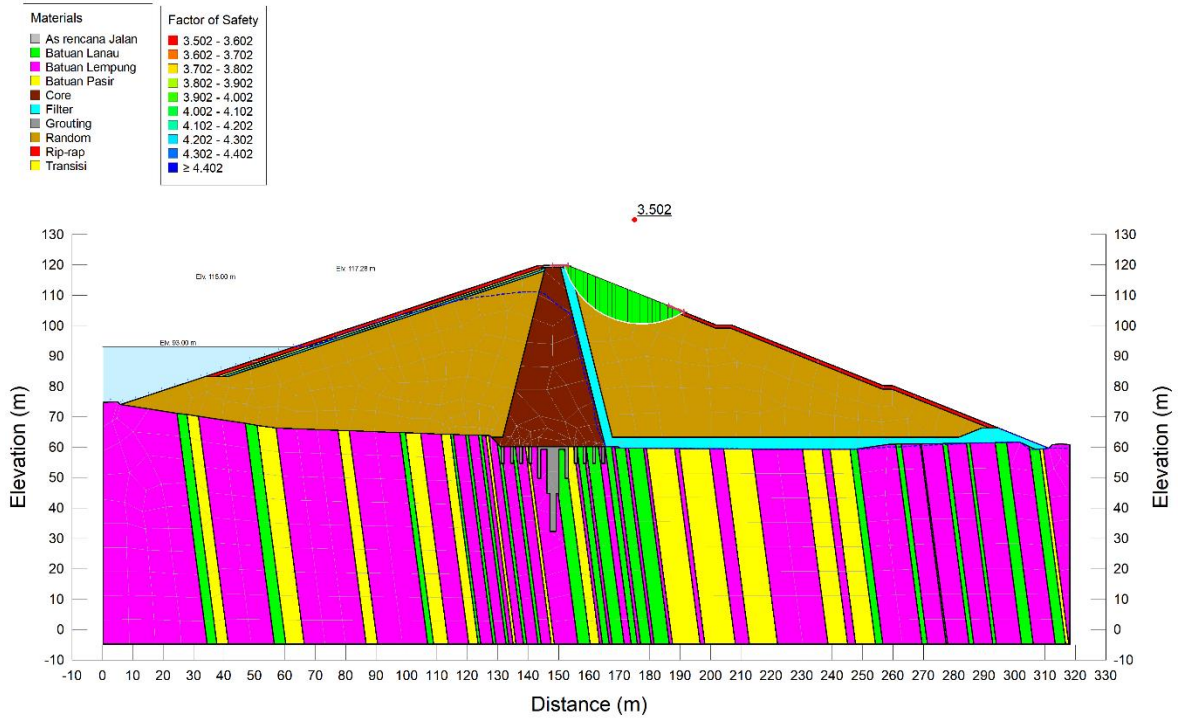
Gambar 4. 42 : Surut Cepat Hulu Gempa OBE 0,50 H



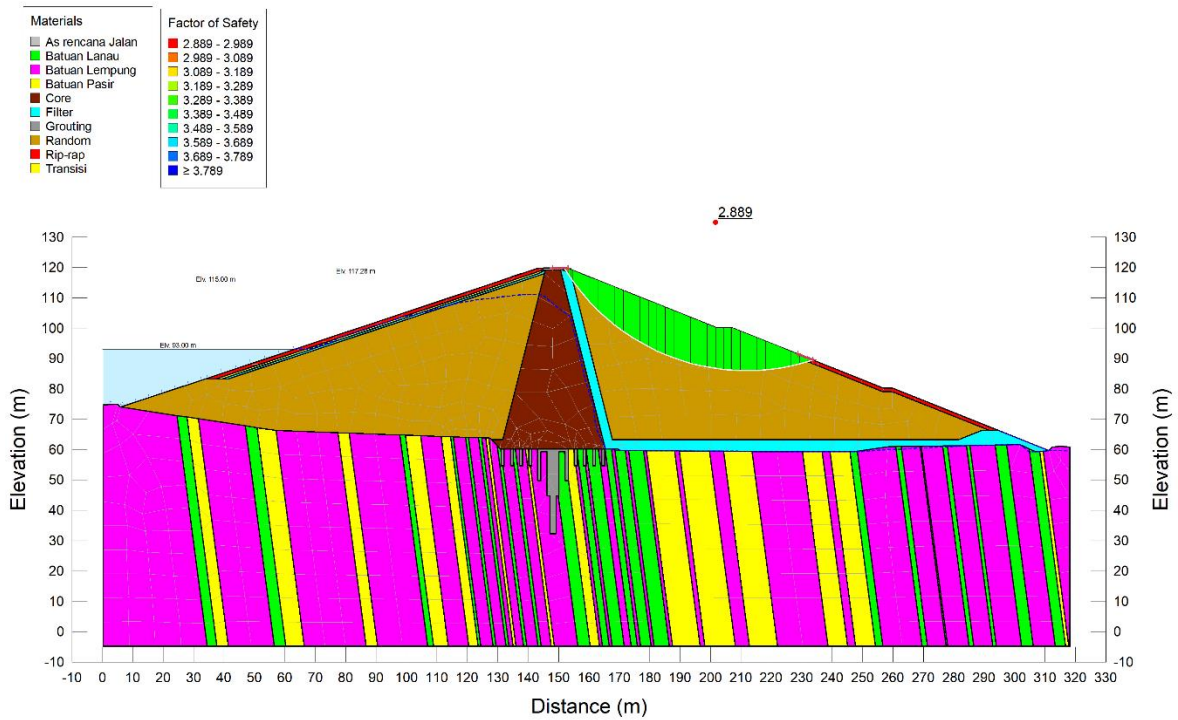
Gambar 4. 43 : Surut Cepat Hulu Gempa OBE 0,75 H



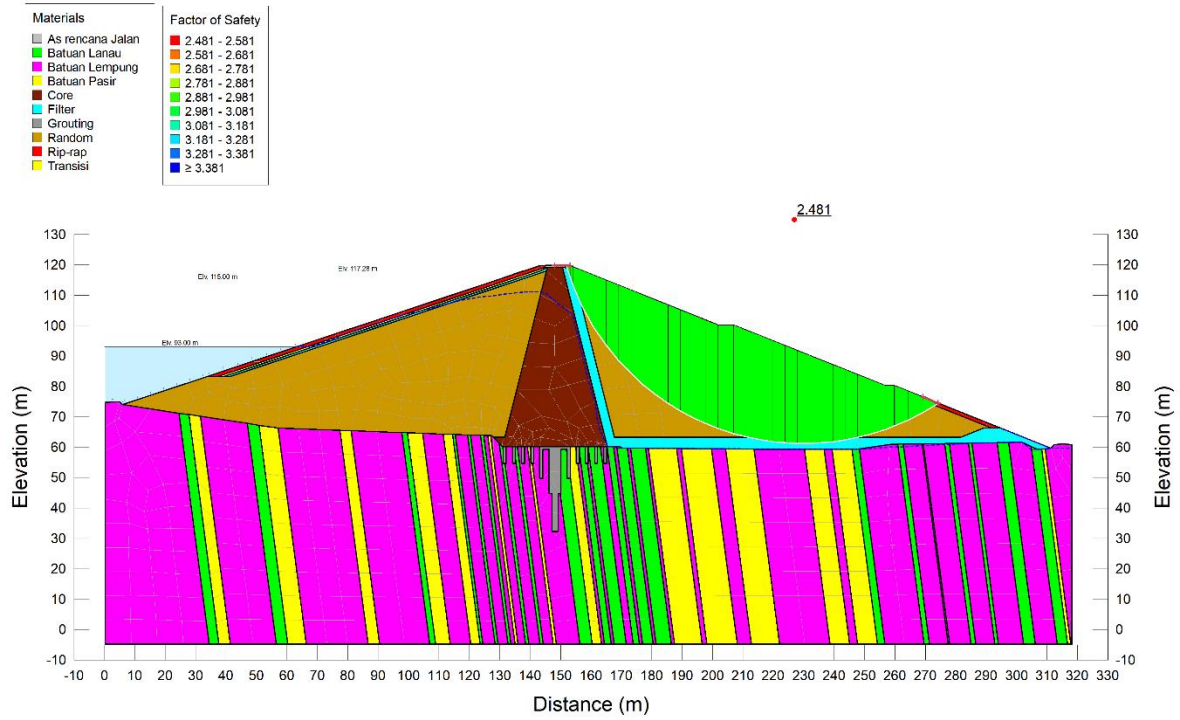
Gambar 4. 44 : Surut Cepat Hulu Gempa OBE 1 H



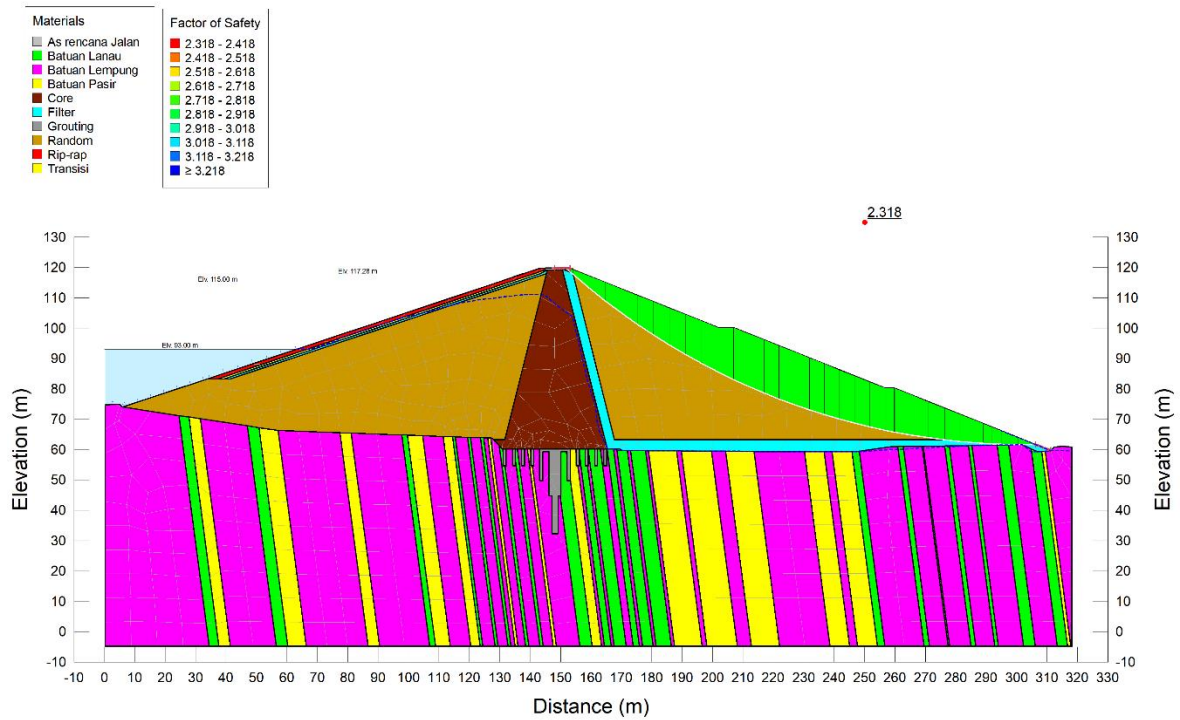
Gambar 4. 45 : Surut Cepat Hilir Gempa OBE 0,25 H



Gambar 4. 46 : Surut Cepat Hilir Gempa OBE 0,50 H

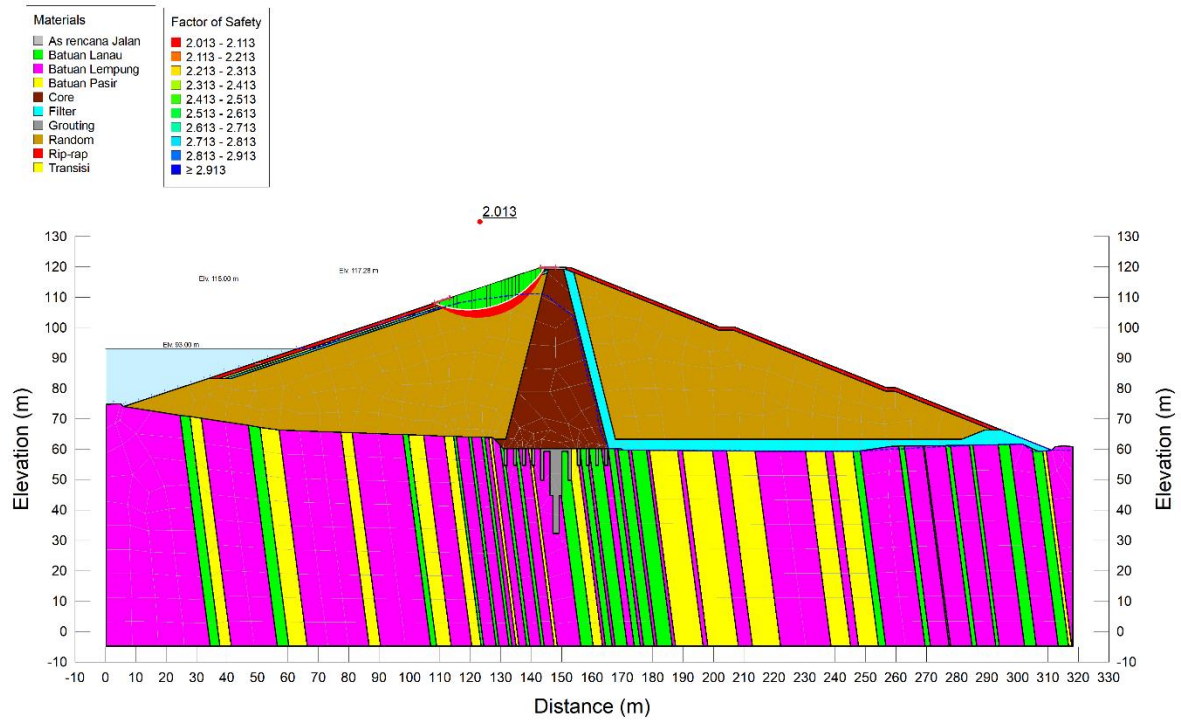


Gambar 4. 47 : Surut Cepat Hilir Gempa OBE 0,75 H

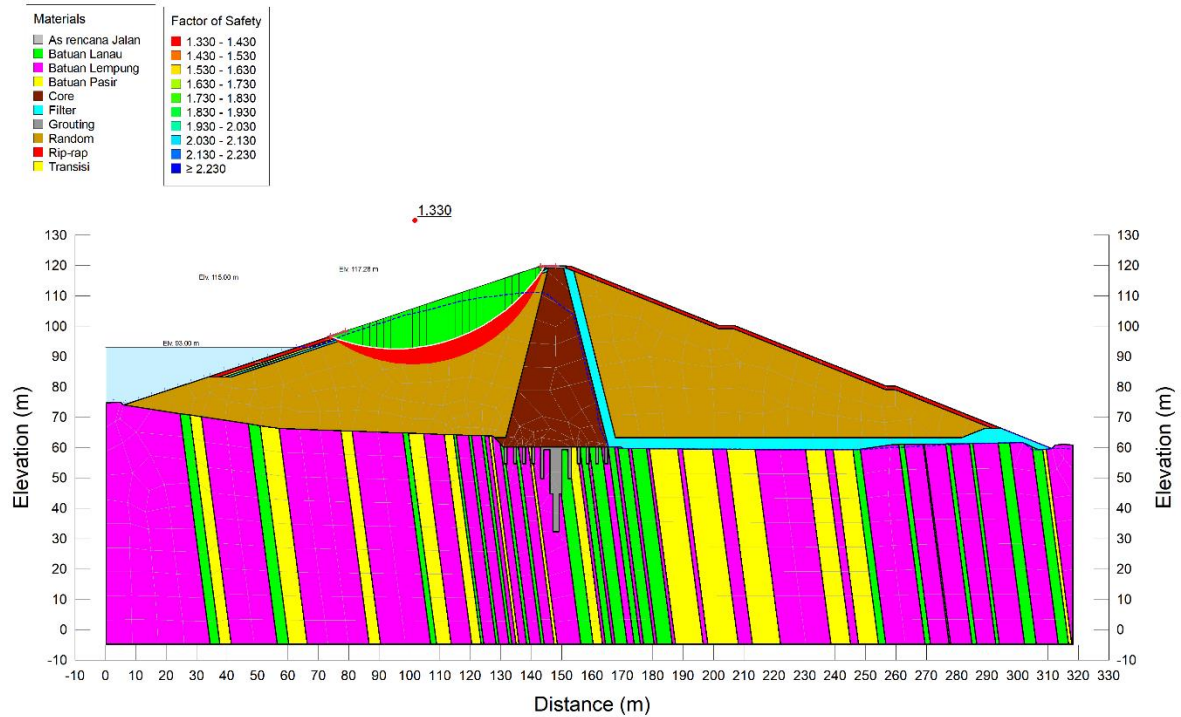


Gambar 4. 48 : Surut Cepat Hilir Gempa OBE 1 H

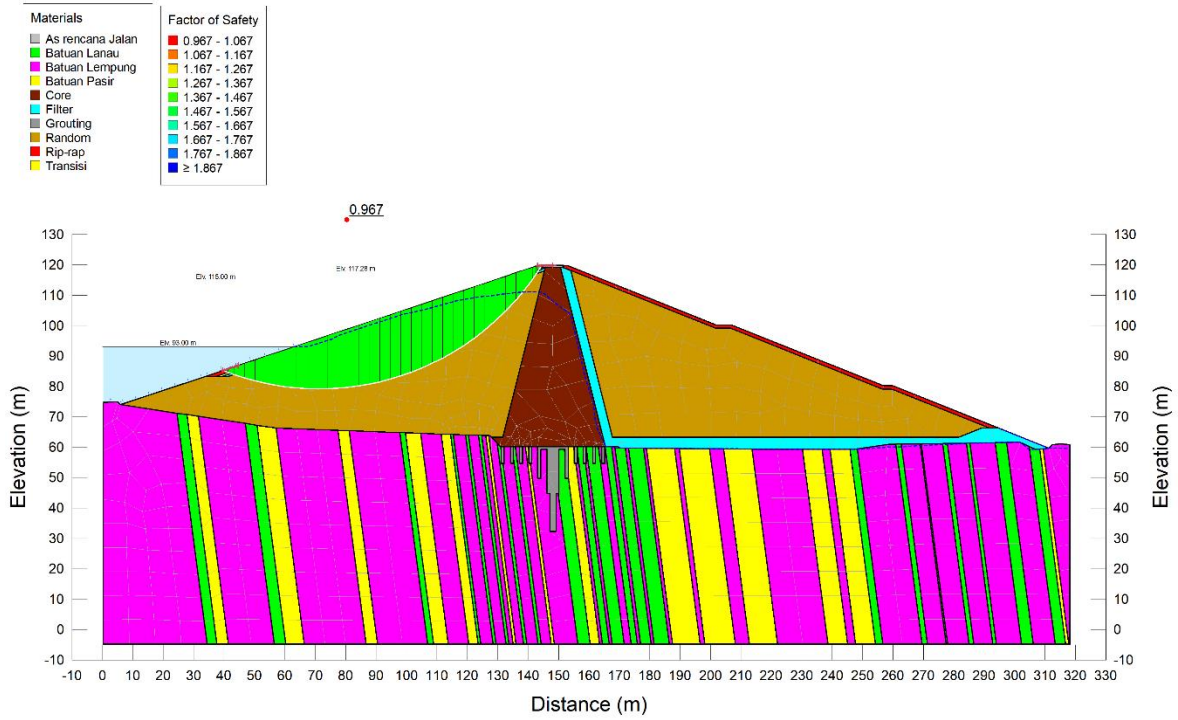
Pengoperasian waduk surut cepat dari muka air normal (NWL) pada elevasi 115,00 m ke muka air minimum (LWL) pada elevasi 93,00 m, gempa MDE.



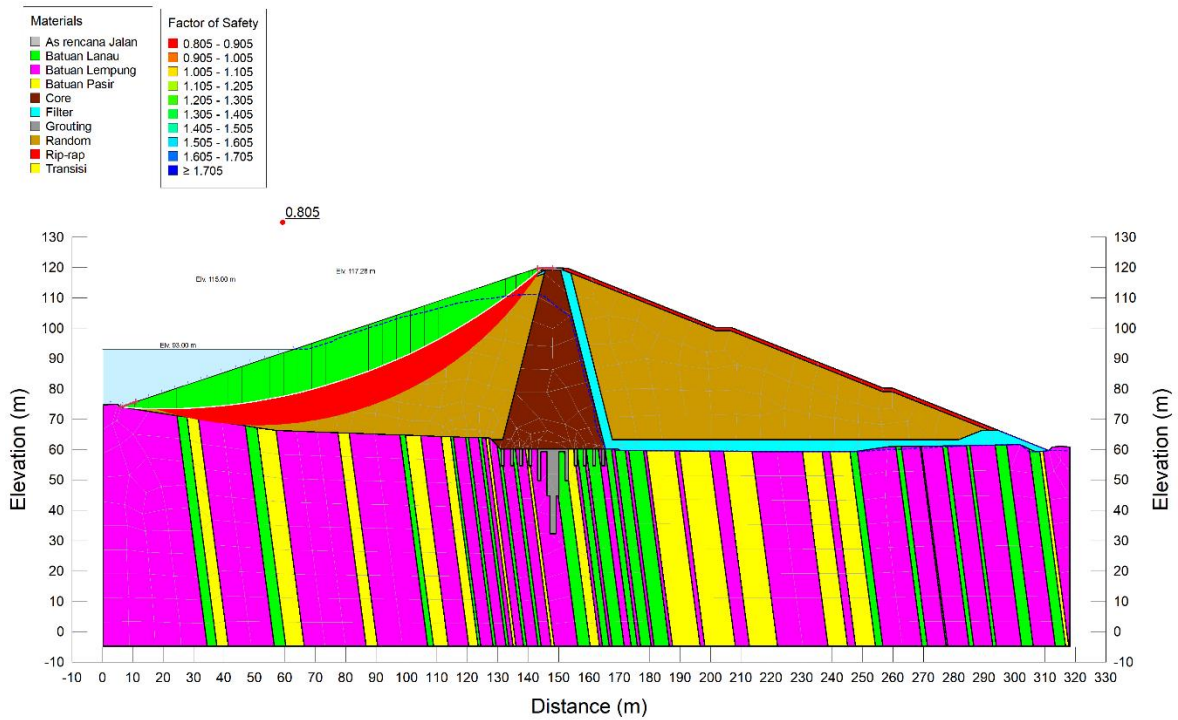
Gambar 4. 49 : Surut Cepat Hulu Gempa MDE 0,25 H



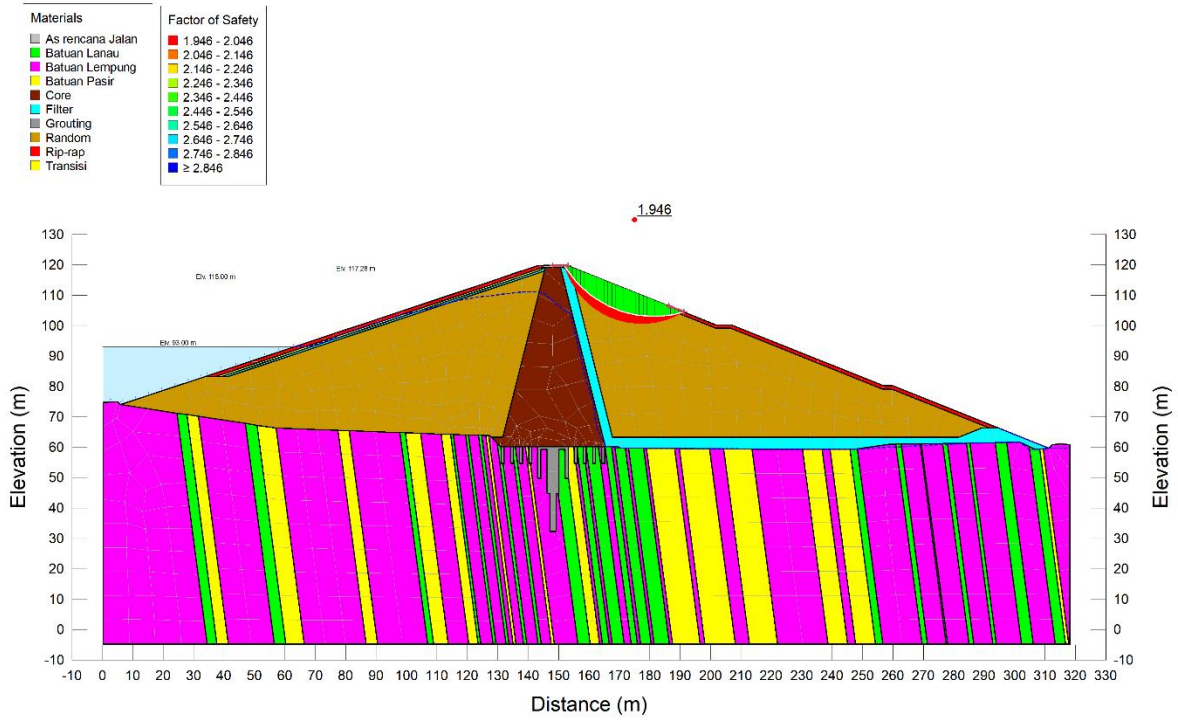
Gambar 4. 50 : Surut Cepat Hulu Gempa MDE 0,50 H



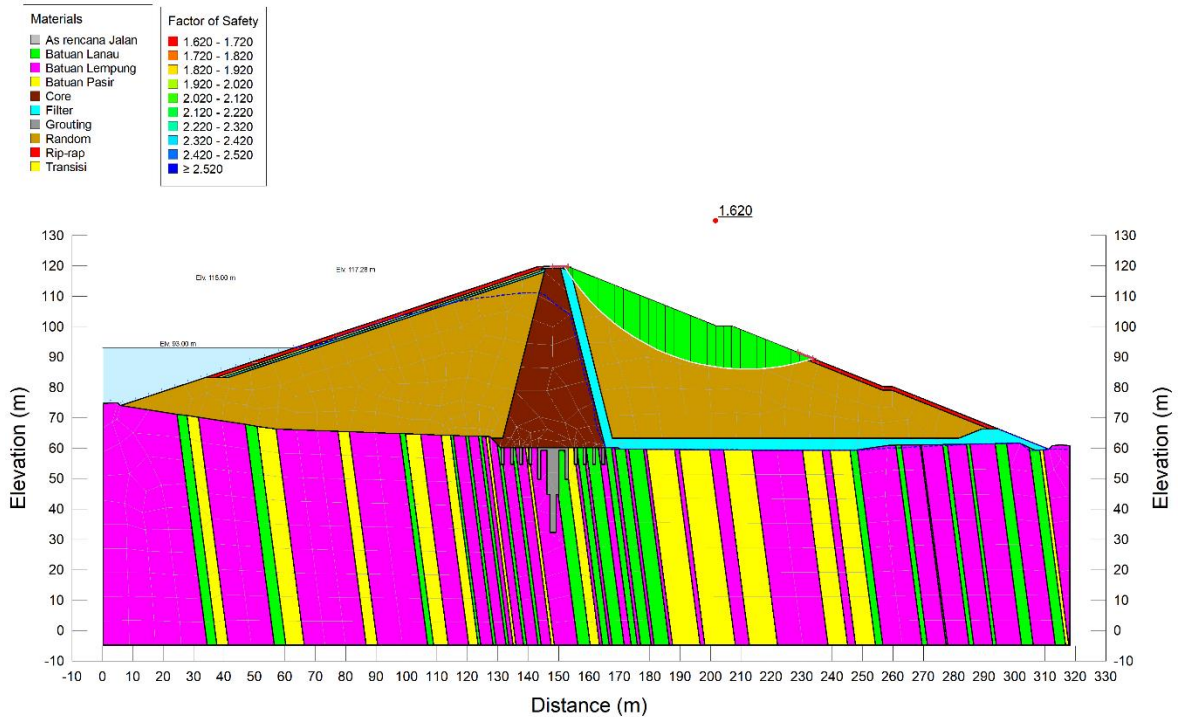
Gambar 4. 51 : Surut Cepat Hulu Gempa MDE 0,75 H



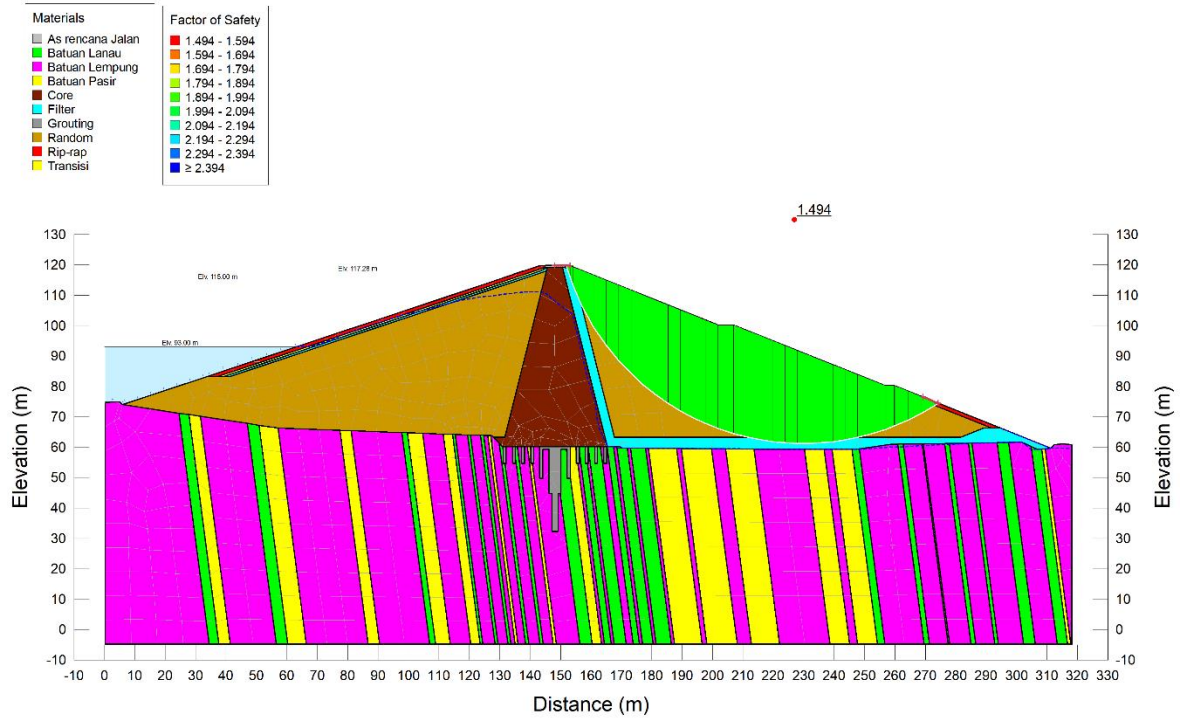
Gambar 4. 52 : Surut Cepat Hulu Gempa MDE 1 H



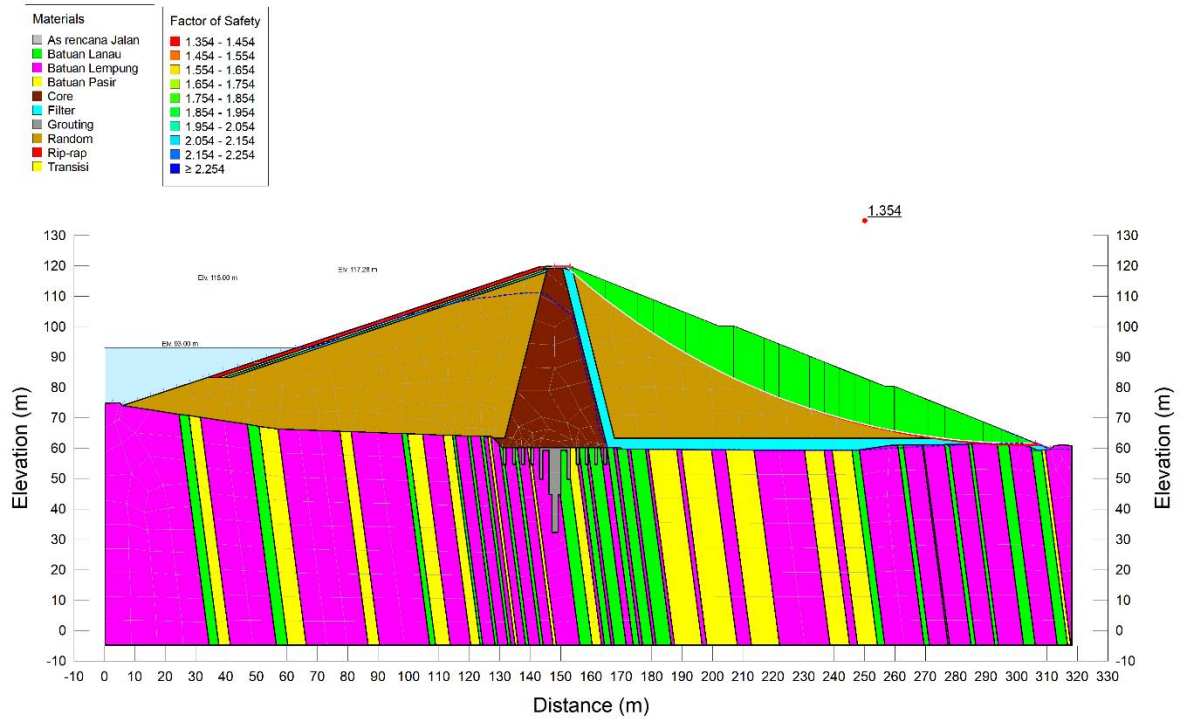
Gambar 4. 53 : Surut Cepat Hilir Gempa MDE 0,25 H



Gambar 4. 54 : Surut Cepat Hilir Gempa MDE 0,50 H

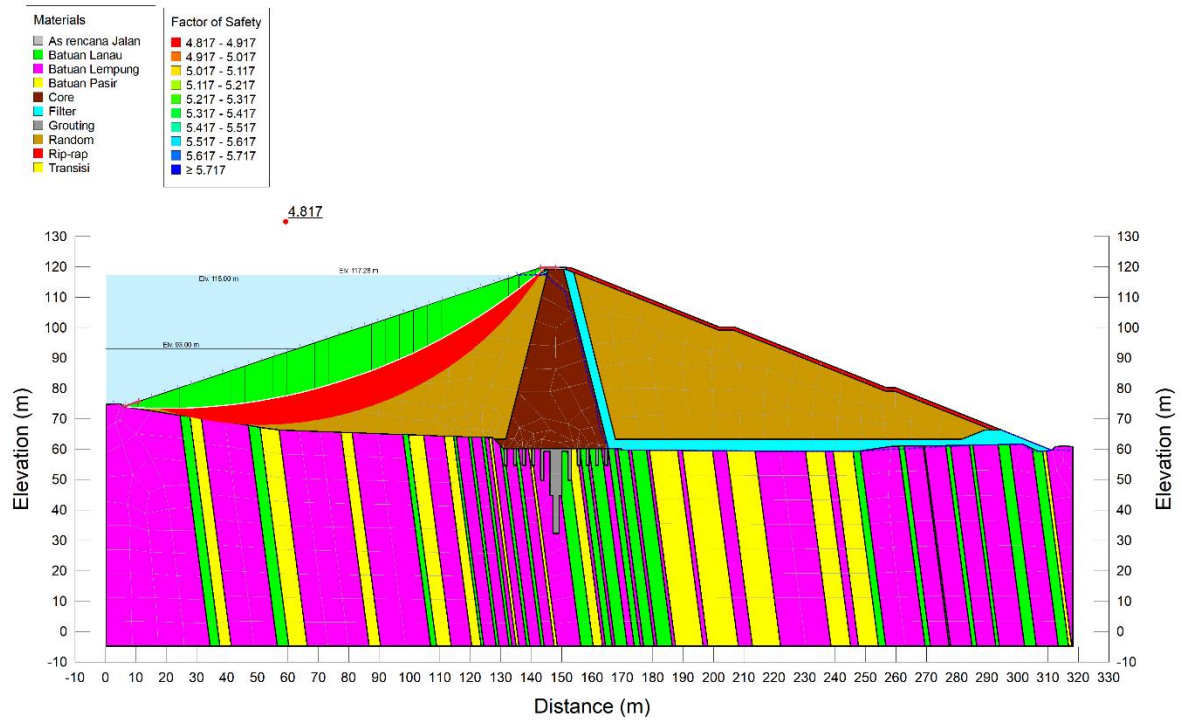


Gambar 4. 55 : Surut Cepat Hilir Gempa MDE 0,75 H

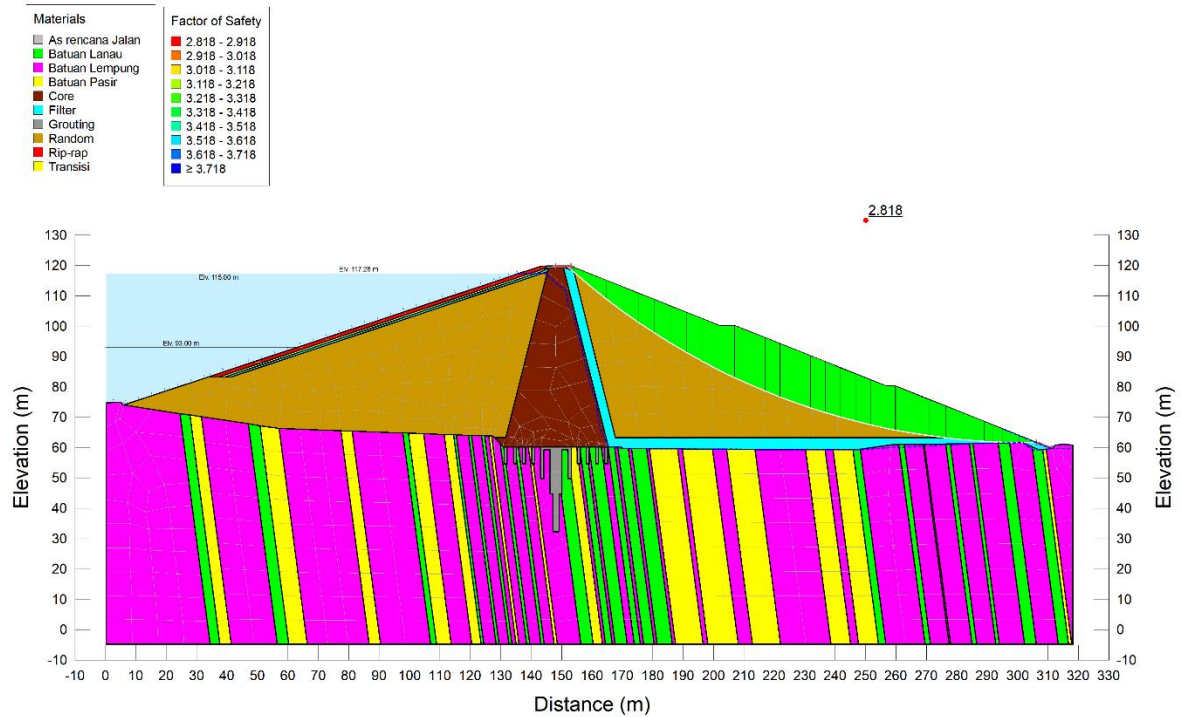


Gambar 4. 56 : Surut Cepat Hilir Gempa MDE 1 H

Pengoperasian waduk pada muka air maksimum/banjir (FWL) pada elevasi 117,28 m, tanpa gempa.

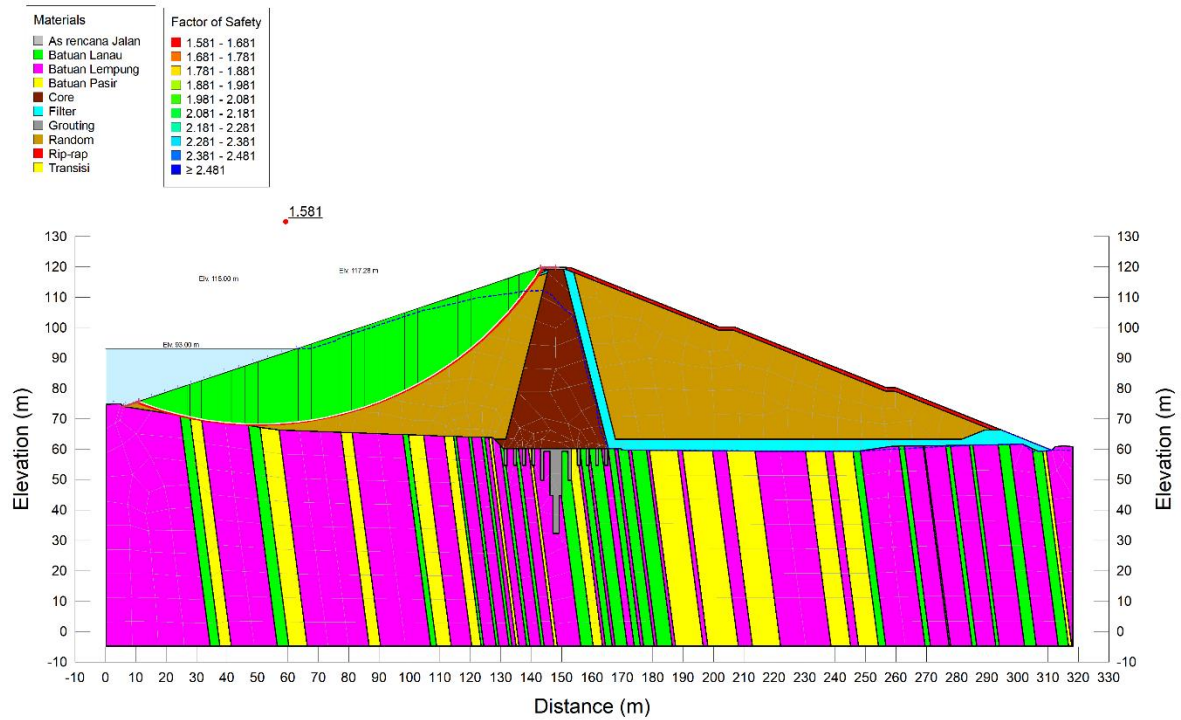


Gambar 4. 57 : Muka Air Maksimum Hulu Tanpa Gempa

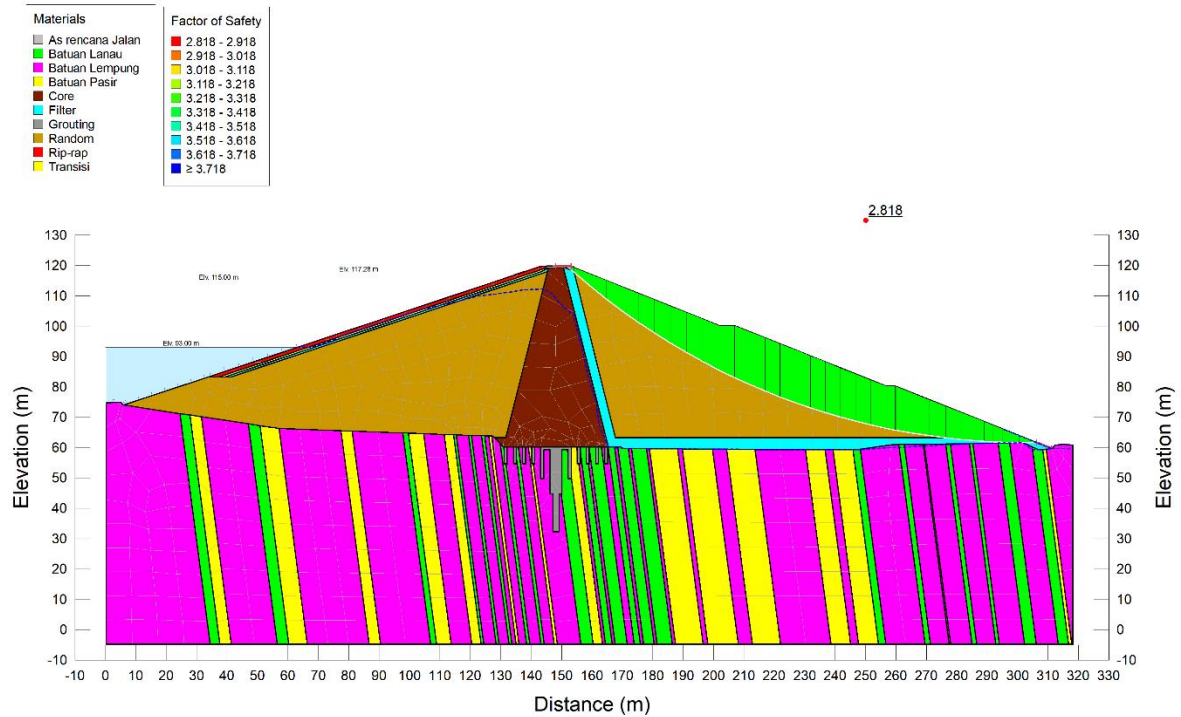


Gambar 4. 58 : Muka Air Maksimum Hilir Tanpa Gempa

Kondisi darurat, muka air maksimum/banjir (FWL) pada elevasi 117,28 m ke muka air terendah (LWL) pada elevasi 93,00 m, tanpa gempa.



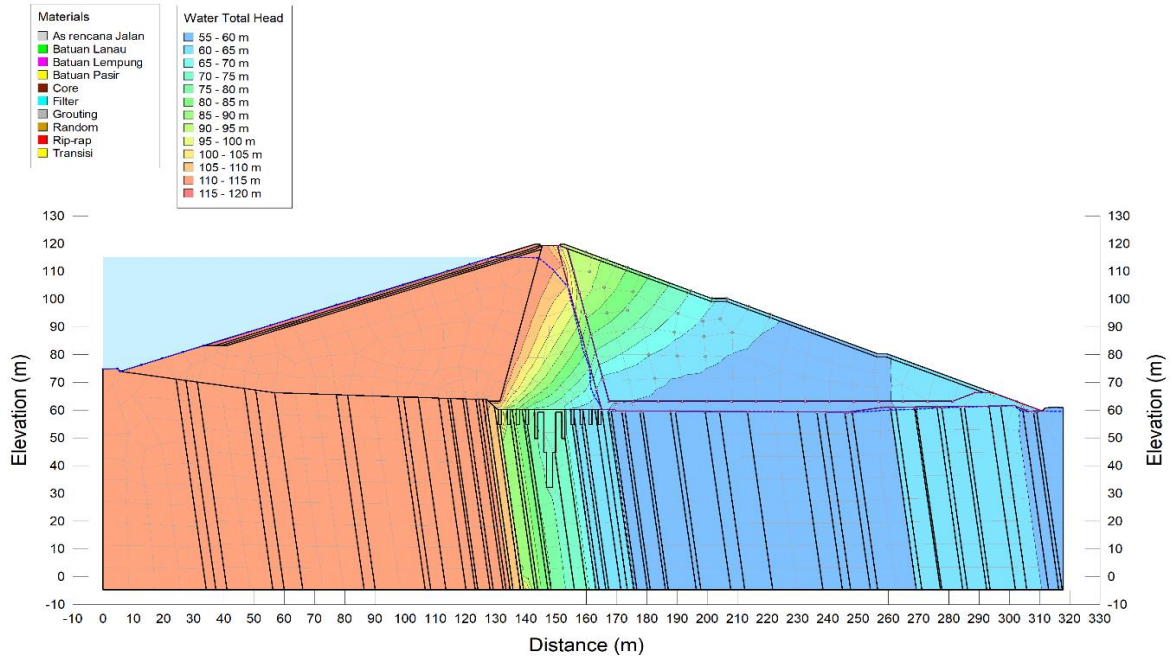
Gambar 4. 59 : Kondisi Darurat FWL ke LWL Hulu Tanpa Gempa



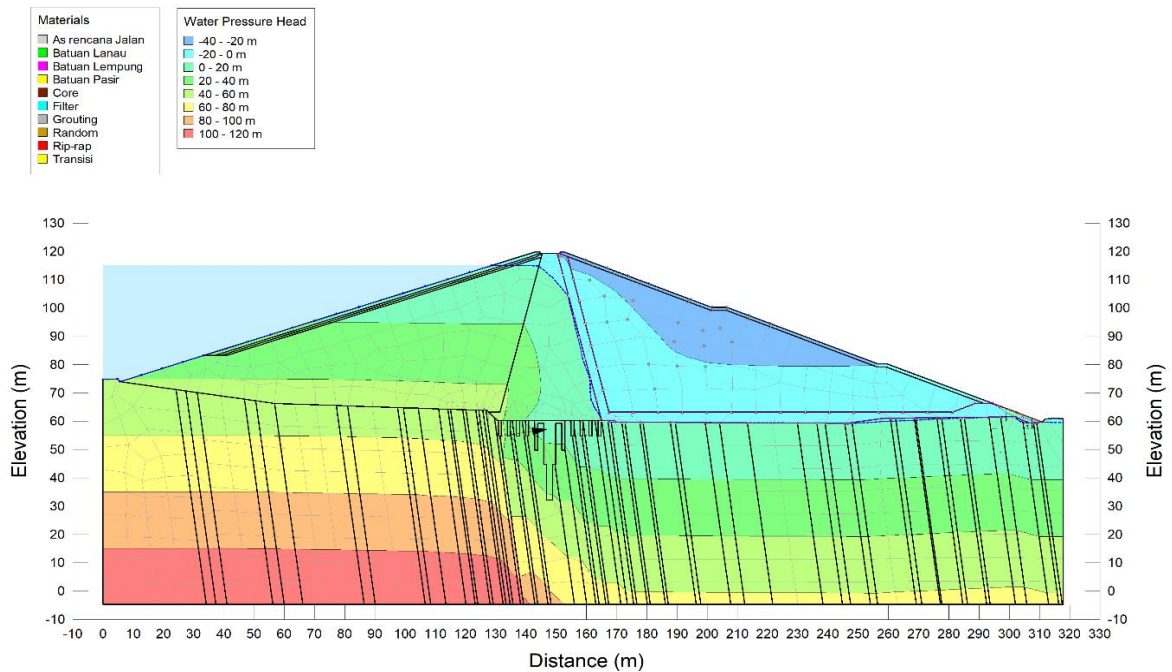
Gambar 4. 60 : Kondisi Darurat FWL ke LWL Hilir Tanpa Gempa

5.5.4 Rembesan (Seepage)

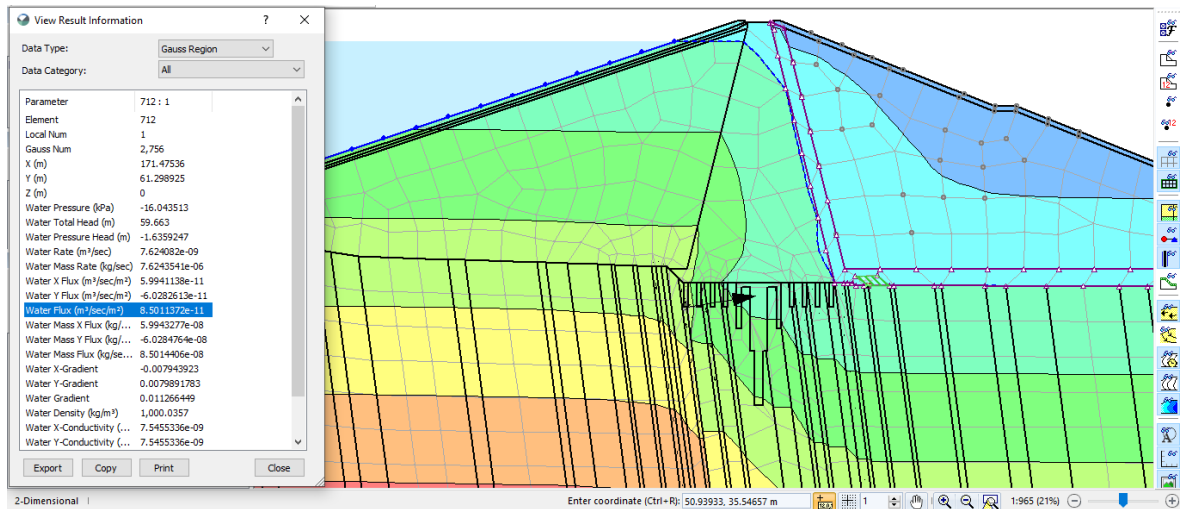
Berikut ini merupakan hasil analisis rembesan yang meliputi *water total head*, *water pressure head* dan *water flux*.



Gambar 4. 61 : Garis Freatik Bendungan Jragung Pada Kondisi Aliran Tunak NWL Elv. 115,00 m



Gambar 4. 62 : Kondisi Tekanan Air Pori Bendungan Jragung Pada Kondisi Aliran Tunak NWL Elv. 115,00 m



Gambar 4. 63 : Nilai *Water Flux*

Dari hasil analisis rembesan didapati besarnya rembesan per meter lebar (*water flux*) yang melalui bagian zona filtrasi ialah :

$$qf = 8,5011372 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{detik per meter lebar bendungan.}$$

4.6 JUSTIFIKASI KEAMANAN BENDUNGAN

Hasil analisis berupa nilai faktor keamanan menjadi acuan dalam memberikan justifikasi terhadap keamanan bendungan. Analisa serta justifikasi dilakukan dalam dua segmen, yang meliputi stabilitas lereng dan rembesan pada tubuh bendungan.

5.6.1 Stabilitas Lereng Statis dan Dinamis

Justifikasi dilakukan dengan cara membandingkan antara angka keamanan (*safety factor*) hasil analisis dengan angka syarat faktor keamanan ($FK > FK \text{ Syarat}$). Berdasarkan SNI 8064-2016, justifikasi keamanan tersaji pada **Tabel 4.9**.

Tabel 4. 9 : Justifikasi Stabilitas Lereng Statis (OBE)

BEBAN GEMPA OBE									
NO	KONDISI	FK Syarat	y/H	k	kv	Angka Keamanan (FK)		KETERANGAN	
						Hulu U/S	Hilir D/S	Hulu U/S	Hilir D/S
1.	Sesaat setelah selesai pembangunan, kondisi tidak ada gempa.	1,3	-	-	-	3,487	2,828	Aman	Aman
2.	Sesaat setelah selesai pembangunan, kondisi ada gempa (0,50 koef. Gempa OBE).	1,2	0,25	0,046	0,023	4,298	4,446	Aman	Aman
			0,50	0,043	0,0215	4,161	3,232	Aman	Aman
			0,75	0,039	0,0195	3,677	2,742	Aman	Aman
			1,00	0,035	0,0175	3,735	2,552	Aman	Aman
3.	Aliran Tunak (steady flow) muka air normal (NWL) muka air normal elv. 115,00 m, tidak ada gempa.	1,5	-	-	-	4,557	2,828	Aman	Aman
4.	Aliran Tunak (steady flow) muka air normal (NWL) muka air normal elv. 115,00 m, ada gempa OBE.	1,2	0,25	0,093	0,046	4,261	3,531	Aman	Aman
			0,50	0,085	0,043	3,478	2,902	Aman	Aman
			0,75	0,078	0,039	3,086	2,490	Aman	Aman
			1,00	0,070	0,035	3,177	2,326	Aman	Aman
5.	Pengoperasian waduk surut cepat dari muka air normal (NWL) elv. 115,00 m ke muka air operasi minimum (LWL) elv. 93,00 m, tidak ada gempa.	1,3	-	-	-	1,760	2,818	Aman	Aman
6.	Pengoperasian waduk surut cepat dari muka air normal (NWL) elv. 115,00 m ke muka air operasi minimum (LWL) elv. 93,00 m, ada gempa OBE.	1,1	0,25	0,093	0,046	3,846	3,502	Aman	Aman
		1,1	0,50	0,085	0,043	2,362	2,889	Aman	Aman
		1,1	0,75	0,078	0,039	1,623	2,481	Aman	Aman
		1,1	1,00	0,070	0,035	1,412	2,318	Aman	Aman

BEBAN GEMPA OBE									
NO	KONDISI	FK Syarat	y/H	k	kv	Angka Keamanan (FK)		KETERANGAN	
						Hulu U/S	Hilir D/S	Hulu U/S	Hilir D/S
7.	Pengoperasian waduk muka air maksimum/banjir (FWL) elv. 117,28 m, tidak ada gempa.	1,3	-	-	-	4,817	2,818	Aman	Aman
8.	Kondisi darurat, muka air maksimum/banjir (FWL) elv. 117,28 m ke elvasi muka air terendah (LWL) pada bangunan keluaran elv. 93,00 m, tidak ada gempa.	1,2	-	-	-	1,581	2,818	Aman	Aman

Tabel 4. 10 : Justifikasi Stabilitas Lereng Dinamis (MDE)

BEBAN GEMPA MDE									
NO	KONDISI	FK Syarat	y/H	k	kv	Angka Keamanan (FK)		KETERANGAN	
						Hulu U/S	Hilir D/S	Hulu U/S	Hilir D/S
						1.	Sesaat setelah selesai pembangunan, kondisi ada gempa (0,50 koef. Gempa MDE). Tekanan air pori di inti lempung 50 % kali berat tanah.	1,0	0,25
0,50	0,220	0,110	2,325	3,232	Aman				Aman
0,75	0,201	0,1005	2,090	2,742	Aman				Aman
1,00	0,181	0,0905	2,160	2,552	Aman				Aman

BEBAN GEMPA MDE									
NO	KONDISI	FK Syarat	y/H	k	kv	Angka Keamanan (FK)		KETERANGAN	
						Hulu	Hilir	Hulu	Hilir
						U/S	D/S	U/S	D/S
2.	Aliran Tunak (steady flow) muka air normal (NWL) muka air normal elv. 115,00 m, ada gempa MDE.	1,0	0,25	0,479	0,240	1,970	1,996	Aman	Aman
			0,50	0,440	0,220	1,569	1,625	Aman	Aman
			0,75	0,401	0,201	1,428	1,499	Aman	Aman
			1,00	0,363	0,181	1,449	1,358	Aman	Aman
3.	Pengoperasian waduk surut cepat dari muka air normal (NWL) elv. 115,00 m ke muka air operasi minimum (LWL) elv. 93,00 m, ada gempa MDE.	1,0	0,25	0,479	0,240	2,013	1,946	Aman	Aman
			0,50	0,440	0,220	1,330	1,620	Aman	Aman
			0,75	0,401	0,201	0,967	1,494	Tidak Aman	Aman
			1,00	0,363	0,181	0,805	1,354	Tidak Aman	Aman

Pada bagian hulu dan hilir, angka keamanan pada lereng saat kondisi tanpa beban gempa menunjukkan nilai yang relatif lebih tinggi dari pada kondisi beban gempa OBE atau MDE. Hal tersebut diakibatkan pada kondisi tanpa beban gempa material timbunan dari tubuh bendungan relatif stabil terhadap tekanan dan tegangan yang dihasilkan oleh getaran gempa. Oleh karena itu, beban gempa OBE dan MDE memiliki angka keamanan yang lebih rendah. Pada kondisi tanpa beban gempa maupun beban gempa bagian hilir memiliki angka keamanan yang relatif lebih kecil dari pada hulu. Dikarenakan adanya tekanan hidrostatis dari volume muka air bendungan yang bertambah pada bagian hulu, mengakibatkan tekanan yang tinggi pada bagian hilir. Selain itu, juga diakibatkan material bendungan yang jenuh, berat jenis bertambah, sehingga stabilitas lereng hilir berkurang.

Berdasarkan hasil analisa stabilitas lereng, angka keamanan dari perhitungan tanpa beban gempa dan kondisi gempa OBE angka keamanan terpenuhi. Sedangkan pada kondisi gempa MDE diperoleh dua analisis yang tidak memenuhi angka syarat keamanan ($FK < FK$ Syarat). Yaitu pada kondisi pengoperasian waduk surut cepat lereng hulu dengan Y/H 0,75 dan 1,00. Oleh sebab itu, perlu dilakukan analisis lanjutan berupa perhitungan alihan tetap

atau deformasi dengan cara *Makdisi dan Seed* dengan syarat alihan tetap yang terjadi tidak boleh melebihi setengah tinggi jagaan (Alihan tetap < 50 % H jagaan). Dikarenakan data yang kurang memadai serta minimnya literatur perhitungan alihan tetap, penulis tidak dapat melanjutkan ke tahap tersebut.

5.6.2 Keamanan Terhadap Rembesan

Bahaya rembesan terhadap keamanan bendungan dapat disimak di bawah berdasarkan faktor debit dan garis freatik.

5.6.2.1 Debit Rembesan

Berdasarkan hasil analisis rembesan per meter lebar (*water flux*) yang melalui bagian zona filtrasi didapati nilai rembesan sebagai berikut :

$q_f = 8,5011372 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{detik per meter lebar bendungan} = 0,00734498254 \text{ liter/hari per meter lebar bendungan.}$

Keamanan bendungan terhadap bahaya debit rembesan dapat dijustifikasi dengan **Tabel 4.11.**

Tabel 4. 11 : Keamanan Debit Rembesan (Look, 2007)

<i>Dam height (m)</i>	<i>Seepage, litres/day/metre, (litres/minute/metre)</i>	
	OK	Not OK
< 5	< 25 (0,02)	< 50 (0,03)
5 - 10	< 50 (0,03)	< 100 (0,07)
10 - 20	< 100 (0,07)	< 200 (0,14)
20 - 40	< 200 (0,14)	< 400 (0,28)
> 40	< 400 (0,28)	< 800 (0,56)

Berdasarkan **Tabel 4.11** persyaratan dengan tinggi bendungan 59,5 m, debit izin rembesan yaitu < 400 liter/hari. Sementara hasil analisis menunjukkan debit rembesan lebih kecil dari debit syarat.

5.6.2.2 Pengaruh Garis Freatik

Bendungan urugan terlebih tipe zonal dengan inti tegak memiliki drainase vertikal (*vertical drain*) dan keluaran melalui drainase horizontal (*horizontal drain*). Melalui analisis pemodelan, bentuk garis freatik dapat diamati. Dalam analisis ini garis freatik dapat dilihat

pada **Gambar 4.61** dan **4.62**. Sebelumnya, garis freatik (*freatic line*) merupakan garis batas kejenuhan pada struktur tubuh bendungan. Garis freatik akan memisahkan area yang mengalami rembesan dengan area yang tidak mengalami rembesan.

Melalui analisis rembesan menggunakan program *Seep/W* pada aplikasi *Geostudio 2022.1* dapat diamati arah garis freatik. Garis freatik bermula sejajar dengan muka air lurus menembus tubuh bendungan zona rip-rap, transisi, random dan inti kemudian turun pada zona filter, dan keluar melalui ujung *horizontal drain*. Dapat ditarik kesimpulan berdasarkan arah garis freatik pada analisis, bahwa garis freatik tidak keluar jalur drainase dan tidak memotong tubuh bendungan. Oleh karena itu, secara analisa garis freatik bendungan dinyatakan aman.

BAB V

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Kesimpulan dari analisa keamanan tubuh bendungan terhadap stabilitas lereng dan rembesan pada Bendungan Jragung antara lain sebagai berikut :

1. Bendungan Jragung merupakan bendungan bertipe urugan zonal dengan inti tegak. Timbunan pembentuk tubuh bendungan terdiri atas zona berbeda-beda, meliputi :
 - a) Timbunan Inti Kedap Air, material berjenis *clay* atau lempung bergradasi halus dengan persentasi lolos saringan 200 $>50\%$ dan kedap air atau lambat dalam meluluskan air dengan nilai permeabilitas $< 1 \cdot 10^{-5} \text{ gr/cm}^3$.
 - b) Timbunan Filter Halus dan Kasar/Transisi, material berjenis *sand* sampai *gravel* yaitu material berbutiran gradasi melindungi sisi luar gradasi inti agar tidak terjadi *piping* material, material lulus air dengan nilai permeabilitas $> 1 \cdot 10^{-3} \text{ gr/cm}^3$.
 - c) Timbunan Random, berjenis *silt clay* sampai dengan *coble* yaitu material dengan butiran gradasi tidak homogen, bersifat non plastis dan plastis, bersifat lulus air atau semi kedap air dengan nilai permeability $> 1 \times 10^{-3} \text{ gr/cm}^3$.
 - d) Timbunan Rip Rap, berjenis *boulder* yaitu material dengan ukuran $> 40 \text{ cm}$ sampai 200 cm , bersifat non plastis dengan durabilitas tinggi.
2. Analisa stabilitas lereng Bendungan Jragung dilakukan menggunakan program *Slope/W* aplikasi *Geostudio 2022.1* dengan dua pembebanan gempa, meliputi analisa stabilitas statik OBE (*Operating Base Earthquake*) dan dinamik MDE (*Maximum Design Earthquake*).
3. Analisa stabilitas lereng dilakukan dengan cara Koefisien Gempa Termodifikasi dengan peninjauan dilakukan pada $Y = 0,25 H; 0,50 H; 0,75 H;$ dan H (tinggi bendungan). Analisis dilakukan pada kondisi selesai konstruksi (*after construction*), aliran tunak (*steady flow*), muka air banjir (*flood water level*) dan kondisi penarikan cepat (*rapid drawdown*). Dari analisis tersebut terdapat dua lereng yang tidak memenuhi syarat keamanan ($FK < FK_{min}$). Yaitu pada pengoperasian waduk surut cepat dari muka air normal (NWL) elv. 115,00 m ke muka air operasi minimum (LWL) elv. 93,00 m, gempa MDE, lereng hulu Y/H 0,75 dan 1,00 dengan FK masing-masing 0,967 dan 0,805.

4. Analisa keamanan Bendungan Jragung terhadap risiko bahaya rembesan menggunakan program *Seep/W* aplikasi *Geostudio 2022.1* meliputi analisa debit rembesan dan pengamatan garis freatik. Bendungan dinyatakan aman berdasarkan analisa debit rembesan dan pengamatan garis freatik.

5.2 SARAN

Saran dari penulis atas analisa keamanan tubuh bendungan terhadap stabilitas lereng dan rembesan pada Bendungan Jragung sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng didapati dua lereng tidak aman. Menurut Pedoman Konstruksi dan Bangunan, Analisis Stabilitas Bendungan Akibat Beban Gempa, Kep. Men. Permukiman dan Prasarana Wilayah No. 30/KPTS/M/2004, 1 Oktober 2004, perlu dilakukan analisis lanjutan berupa perhitungan alihan tetap atau deformasi dengan cara *Makdisi dan Seed* dengan syarat alihan tetap yang terjadi tidak boleh melebihi setengah tinggi jagaan (Alihan tetap < 50 % H jagaan).
2. Perlu dilakukan uji laboratorium serta studi komparasi dengan data material timbunan bendungan sebagai bahan analisa kelayakan material timbunan bendungan.
3. Dapat dilakukan analisa menggunakan aplikasi lain untuk digunakan sebagai pembanding.
4. Dapat dilakukan dengan metode lain, seperti FEM (*Finite Element Methode*).

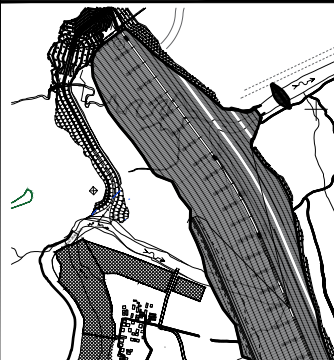
DAFTAR PUSTAKA

- Atterberg, A. (1974). *Concerning Physical Soil Research (Ueber die Physikalische Bodenuntersuchung)*. COLD REGIONS RESEARCH AND ENGINEERING LAB HANOVER N H. <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA002376>
- Bowles, J. E. (1984). *Physical and geotechnical properties of soils*. McGraw-Hill Book, USA, 578. <https://archive.org/details/physicalgeotechn0000bowl>
- Braja M. Das, K. S. (2016). *Principles of Geotechnical Engineering*. Cengage Learning. https://books.google.co.id/books/about/Principles_of_Geotechnical_Engineering.html?id=U_O5DQAAQBAJ&redir_esc=y
- Craig, R. (2004). *Craig's Soil Mechanics*. Books.Google.Com.
- Darcy, H. (1856). *Les Fontaines publiques de la ville de Dijon*. V. Dalmont. https://books.google.co.id/books/about/Les_Fontaines_publiques_de_la_ville_de_D.h?hl=id=9nhKBU2-GJEC&redir_esc=y
- DATA TEKNIK JRAGUNG. (2020).
- Ervianto, W. (2004). *Manajemen Proyek Konstruksi, Edisi 2*. Yogyakarta, Salemba Empat.
- Hadimuljono, B. (2016). *Sambutan Menteri PUPR : Bendungan Tipe Urugan*. In Bendungan Tipe Urugan.
- Hardiyatmo, H. C. (2018). *Mekanika Tanah 2 Edisi Keenam*. UGM PRESS - Badan Penerbit Dan Publikasi Universitas Gadjah Mada. <https://ugmpress.ugm.ac.id/en/product/sains-teknologi/mechanika-tanah-2-edisi-keenam>
- Hardiyatmo, H. C. (2019). *Mekanika Tanah I: Edisi ke Tujuh*. UGM PRESS - Badan Penerbit Dan Publikasi Universitas Gadjah Mada; UGM PRESS - Badan Penerbit dan Publikasi Universitas Gadjah Mada. <https://ugmpress.ugm.ac.id/id/product/teknik-sipil/mechanika-tanah-i-edisi-ke-tujuh>
- Kartasapoetra, A. (1991). *Teknologi Pengairan Pertanian Irigasi*. Bina Aksara. Jakarta.
- Laporan Utama - Detail Desain Bendungan Jragung*. (2015).
- Look, B. G. (2007). *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. London. Taylor and Francis.
- Mangare, J. (2016). *Penerapan Metode Analitical Hierarchy Process Untuk Pemilihan Sistem Pengaman Pantai*. Jurnal Sipil Statik. ejournal.unsrat.ac.id
- Modul Analisa Stabilitas Bendungan : Perhitungan Rembesan Pelatihan Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar*. (2017). Kementerian PUPR : Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia. file:///C:/Users/User/Downloads/99805_12._Analisa_Stabilitas_Bendungan_-_Perhitungan_Rembesan__bulak_balik_.pdf
- Pedoman Konstruksi dan Bangunan, Analisis Stabilitas Bendungan Akibat Beban Gempa*,

- Kep. Men. Permukiman dan Prasarana Wilayah No. 30/KPTS/M/2004, 1 Oktober 2004.* (2004).
- Pedoman Teknis Klasifikasi Bahaya Bendungan, SK Dirjen SDA No. 257/KPTS/D/2011, 30 Mei 2011.* (2011).
- Preparation of Jragung Multipurpose Dam Project.* (2019). 2(3455).
- PUPR, K. (n.d.). *Permen PUPR No. 27/PRT/M/2015 Tahun 2015*. Retrieved January 21, 2024, from <https://peraturan.bpk.go.id/Details/144525/permen-pupr-no-27prtm2015-tahun-2015>
- Pusat, P. (2010). *PP No. 37 Tahun 2010 Tentang Bendungan*. <https://Peraturan.Go.Id/>. <https://peraturan.go.id/id/pp-no-37-tahun-2010>
- Robin Fell, J.-J. F. (2007). *Internal Erosion of Dams and Their Foundations | Selected and Reviewed*. CRC Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9781482266146>
- Sani, A. (2008). *Analisis Kapasitas Waduk dengan Metode Ripple dan Behaviour (Studi Kasus Pada Waduk Mamak Sumbawa)*. Yogyakarta. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Slope Stability Modeling.* (2023). Seequent Limited, The Bentley Subsurface Company. All rights reserved. <https://downloads.geoslope.com/geostudioresources/books/23/1/SlopeStabilityModeling.pdf>
- SNI 8064-2016 : Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Tipe Urugan.* (2016). BSNI.
- Soedibyo, I. (1993). *Teknik Bendungan*. Pradnya Paramita. <https://pu.go.id/pustaka/biblio/teknik-bendungan/LB4LG>
- Sosrodarsono, S., Takeda, & Kensaku. (1977). *Bendungan Tipe Urugan*. Pradnya Paramita, 327.
- SPESIFIKASI TEKNIK Pekerjaan : Pembangunan Bendungan Jragung Paket I Kabupaten Semarang.* (n.d.).
- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical Soil Mechanics*. Theoretical Soil Mechanics. <https://doi.org/10.1002/9780470172766>
- Verhoef, P. N. W. (1994). *Geologi Untuk Teknik Sipil*. In P. N. W. Verhoef (Ed.), *Penerbit Erlangga*. Penerbit Erlangga. <https://pu.go.id/pustaka/biblio/geologi-untuk-teknik-sipil/6J4JJ>
- W, S., & Asmoro W. (2007). *Evaluasi Kinerja Waduk Wadas Lintang*. Universitas Diponegoro, Semarang.

LAMPIRAN

GAMBAR CROSS SECTION DAN LONG SECTION MAINDAM



PEMBERI TUGAS :
 KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
 DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR
 BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI PEMALI JUANA
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA

PEKERJAAN PEMBANGUNAN BENDUNGAN
 JRAGUNG PAKET I,
 KAB. SEMARANG

NOMOR KONTRAK :
 KU 03.01/Ao.8.2/IX/01
 TANGGAL : 25 SEPTEMBER 2020

KONSULTAN SUPERVISI :

 PT. RAYAKONSULT. KSO.
 PT. HILMY ANUGERAH, PT. TUAH AGUNG ANUGERAH,
 PT. CIRIAJASA ENGINEERING CONSULTANT

PENYEDIA JASA :

PT. WASKITA KARYA (Persero) Tbk.
 Jl. MT Haryono Kav. No.10,Cawang
 Jakarta 134340
 Telp. (021)8515521 - Fax. (031)8515509

JUDUL GAMBAR :
PLAN & LONG SECTION MAINDAM

REV	CATATAN	TANGGAL
0	For Approval	08-04-2021
1	For Approval	11-07-2022

	NAMA	TTD	TANGGAL
Digambar oleh	Ghora Lautra D.		
Diperiksa oleh	Fandy Dwi H.		
Diperiksa oleh	Phonda Hertaman		

DIAJUKAN OLEH,
 PENYEDIA JASA

ILHAM RUDIANTO, S.T.
 MANAJER PROYEK
 MEMERIKSA / MENYETUJUI,
 KONSULTAN SUPERVISI

CHANDRA ADRIAWAN, S.T., M.T.
 KETUA TIM
 MENYETUJUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 KOORDINATOR DIREKSI LAPANGAN

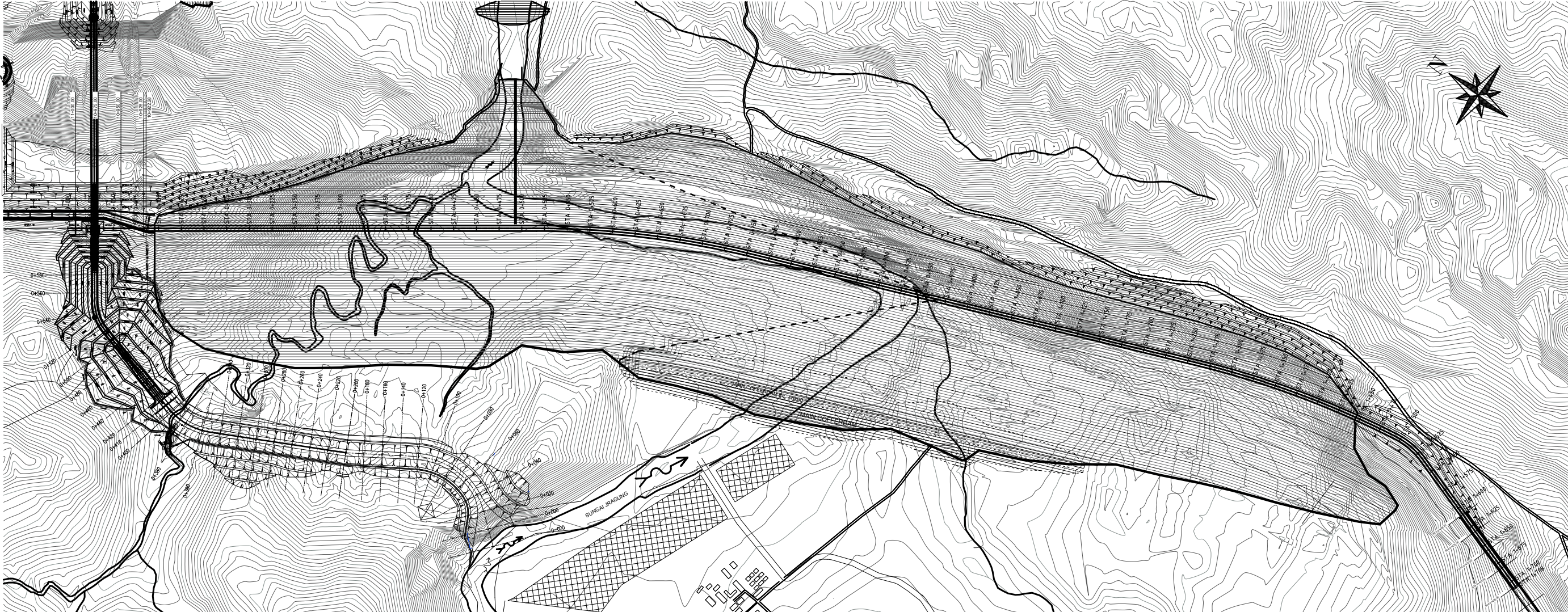
HERU MUKTI WIJAYA S.T.
 NIP. 198611192014021003

MENGETAHUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 PPK BENDUNGAN II

RINO ARI WIBOWO, S.T., M.Eng.
 NIP. 198205022008121002

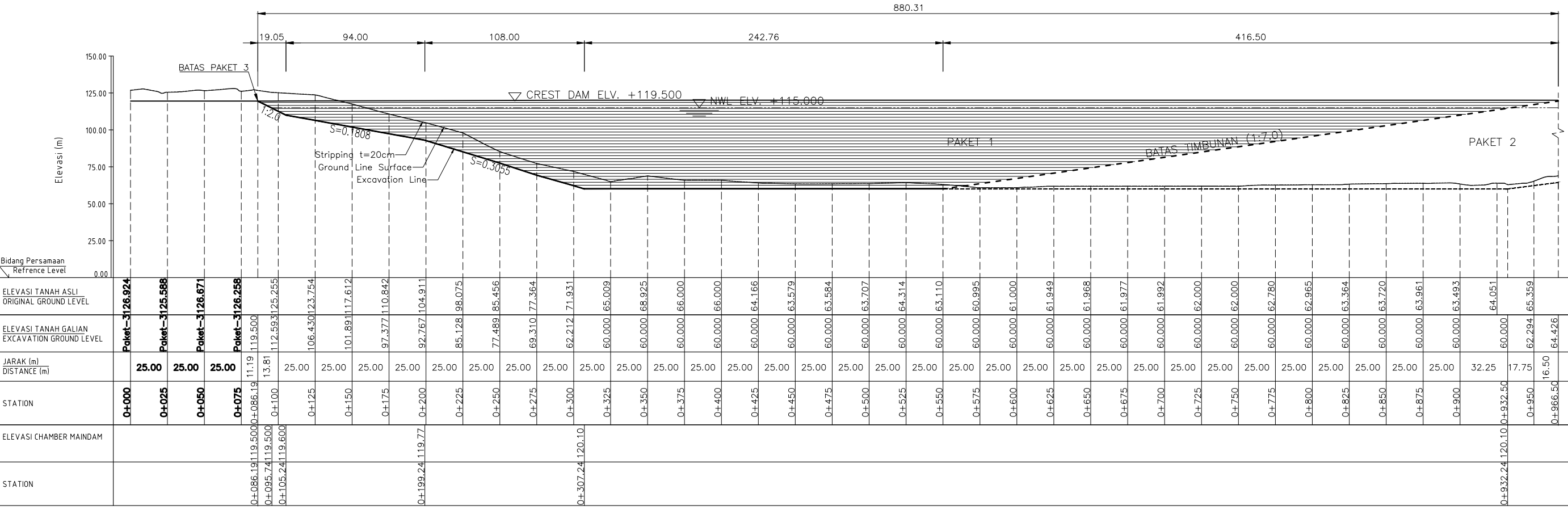
NOMOR GAMBAR :
JRG1 - SDWG - DE - 006

SKALA :	UKURAN KERTAS :	NO. LEMBAR :
A	A3	1 / 40



SITUASI MAINDAM

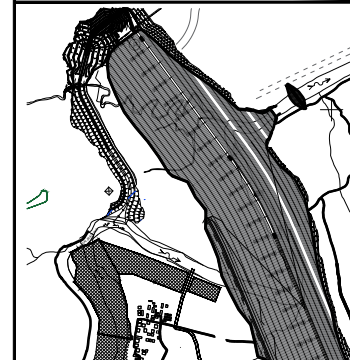
Skala : -



POTONGAN MEMANJANG MAINDAM

Skala : A





PEMBERI TUGAS :
 KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
 DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR
 BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI PEMALI JUANA
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA

PEKERJAAN PEMBANGUNAN BENDUNGAN
 JRAGUNG PAKET I,
 KAB. SEMARANG

NOMOR KONTRAK :
 KU 03.01/Ao.8.2/IX/01
 TANGGAL : 25 SEPTEMBER 2020

KONSULTAN SUPERVISI :

 PT. RAYAKONSULT. KSO.
 PT. HILMY ANUGERAH, PT. TUAH AGUNG ANUGERAH,
 PT. CIRIAJASA ENGINEERING CONSULTANT

PENYEDIA JASA :

PT. WASKITA KARYA (Persero) Tbk.
 Jl. MT Haryono Kav. No.10, Cawang
 Jakarta 134340
 Telp. (021)8515521 - Fax. (031)8515509

JUDUL GAMBAR :
DETAIL MAINDAM (1/2)

REV	CATATAN	TANGGAL
0	For Approval	08-04-2021
1	For Approval	11-07-2022

	NAMA	TTD	TANGGAL
Digambar oleh	Ghora Lautra D.		
Diperiksa oleh	Fandy Dwi H.		
Diperiksa oleh	Phonda Hertaman		

DIAJUKAN OLEH,
 PENYEDIA JASA

ILHAM RUDIANTO, S.T.
 MANAJER PROYEK

MEMERIKSA / MENYETUJUI,
 KONSULTAN SUPERVISI

CHANDRA ADRIAWAN, S.T., M.T.
 KETUA TIM

MENYETUJUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 KOORDINATOR DIREKSI LAPANGAN

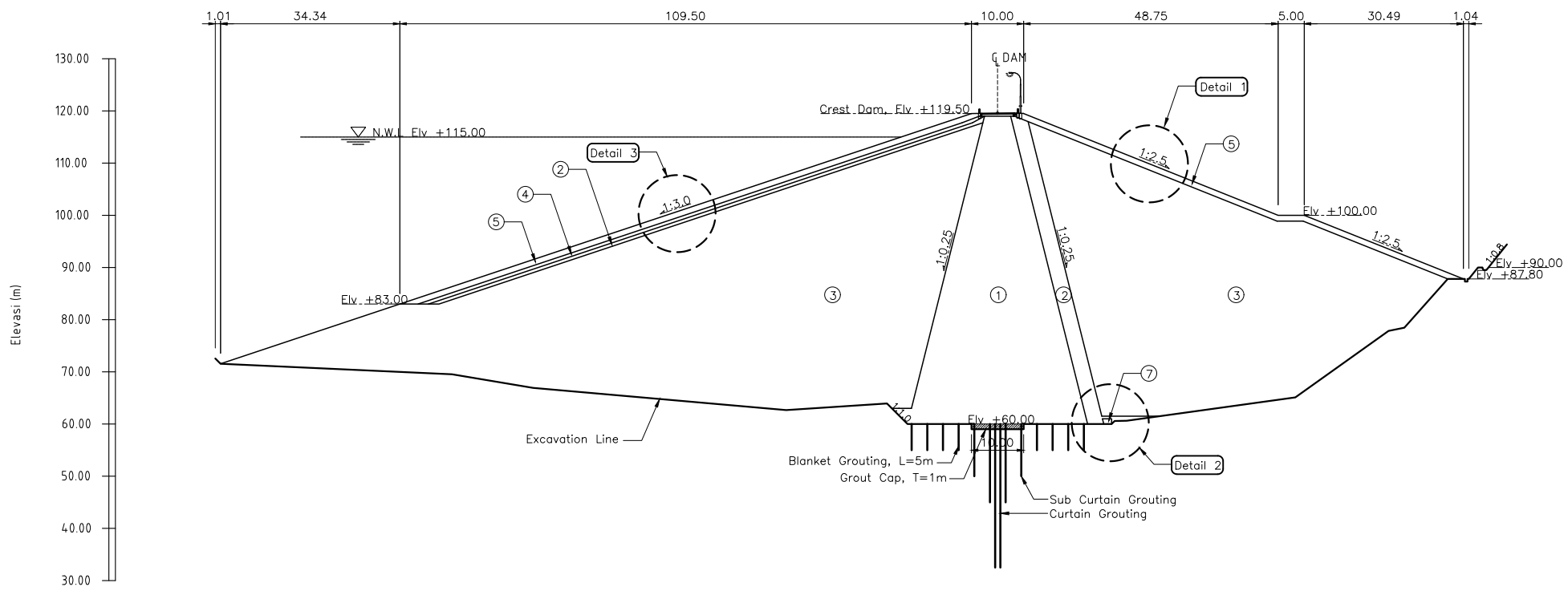
HERU MUKTI WUAYA S.T.
 NIP. 198611192014021003

MENGETAHUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 PPK BENDUNGAN II

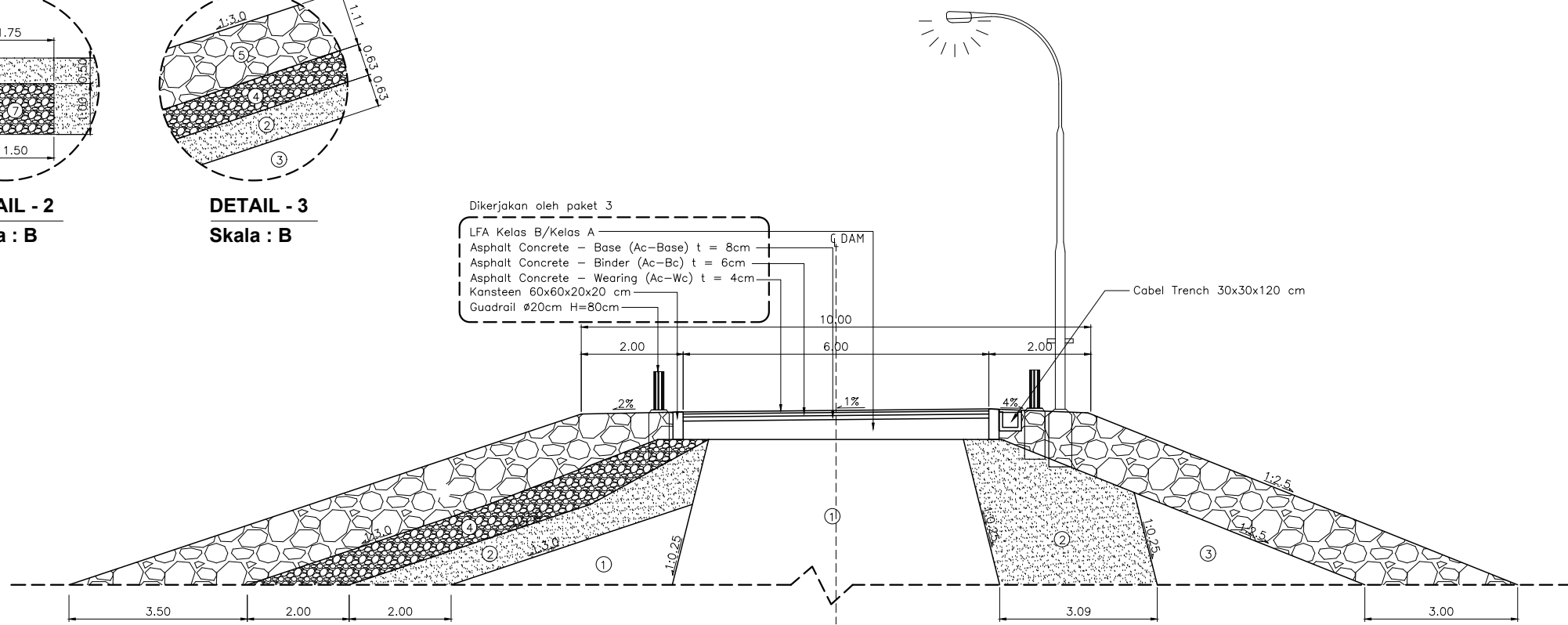
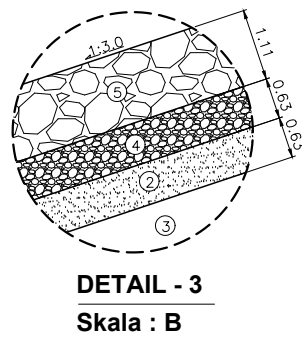
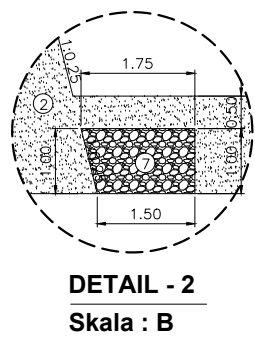
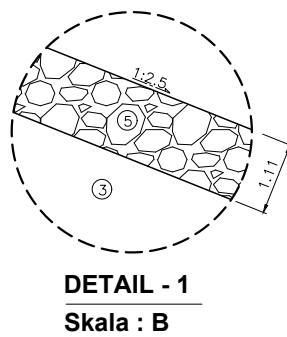
RINO ARI WIBOWO, S.T., M.Eng.
 NIP. 198205022008121002

NOMOR GAMBAR :
JRG1 - SDWG - DE - 006.AL

SKALA :
 A / B UKURAN KERTAS :
 A3 NO. LEMBAR :
 39 / 40



POTONGAN MELINTANG STA. 0+400
 Skala : A

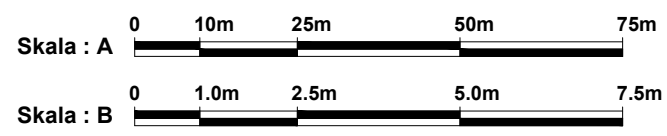


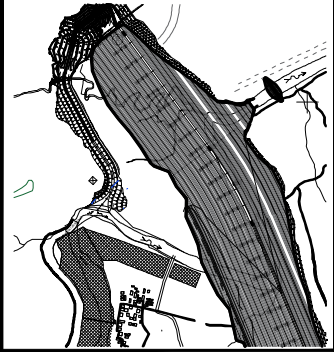
DETAIL CREST DAM
 Skala : B

Dikerjakan oleh paket 3
 LFA Kelas B/Kelas A
 Asphalt Concrete - Base (Ac-Base) t = 8cm
 Asphalt Concrete - Binder (Ac-Bc) t = 6cm
 Asphalt Concrete - Wearing (Ac-Wc) t = 4cm
 Kansteen 60x60x20x20 cm
 Guadrail Ø20cm H=80cm

REMARK OF EMBANKMENT

1. ZONA ① = Impervious Core	5. ZONA ⑤ = Rock Rip-Rap (Max Ø100cm)
2. ZONA ② = Filter	6. ZONA ⑥ = Toe Drain
3. ZONA ③ = Random Material	7. ZONA ⑦ = Drain (Gravel Ø20-80mm)
4. ZONA ④ = Transition (Gravel Ø2.5cm)	





PEMBERI TUGAS
 KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
 DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR
 BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI PEMALI JUANA
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA

PEKERJAAN PEMBANGUNAN BENDUNGAN
 JRAGUNG PAKET I,
 KAB. SEMARANG

NOMOR KONTRAK :
 KU 03.01/Ao.8.2/IX/01
 TANGGAL : 25 SEPTEMBER 2020

KONSULTAN SUPERVISI :

 PT. RAYAKONSULT. KSO.
 PT. HILMY ANUGERAH, PT. TUAH AGUNG ANUGERAH,
 PT. CIRIAJASA ENGINEERING CONSULTANT

PENYEDIA JASA :

PT. WASKITA KARYA (Persero) Tbk.
 Jl. MT Haryono Kav. No.10,Cawang
 Jakarta 134340
 Telp. (021)8515521 - Fax. (031)8515509

JUDUL GAMBAR :
DETAIL MAINDAM (2/2)

REV	CATATAN	TANGGAL
0	For Approval	08-04-2021
1	For Approval	11-07-2022

	NAMA	TTD	TANGGAL
Digambar oleh	Ghora Lautra D.		
Diperiksa oleh	Fandy Dwi H.		
Diperiksa oleh	Phonda Hertaman		

DIJAJUKAN OLEH,
 PENYEDIA JASA

ILHAM RUDIANTO, S.T.
 MANAJER PROYEK

MEMERIKSA / MENYETUJUI,
 KONSULTAN SUPERVISI

CHANDRA ADRIAWAN, S.T., M.T.
 KETUA TIM

MENYETUJUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 KOORDINATOR DIREKSI LAPANGAN

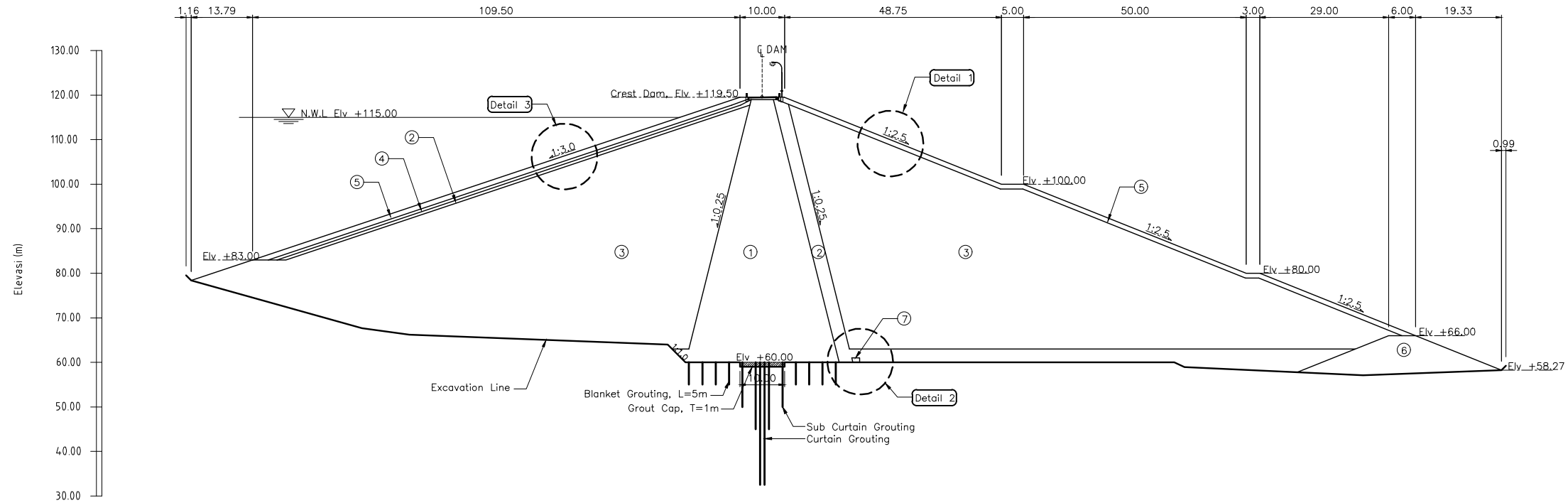
HERU MUKTI WIJAYA S.T.,
 NIP. 198611192014021003

MENGETAHUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 PPK BENDUNGAN II

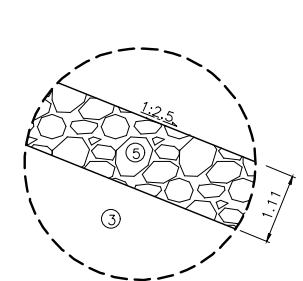
RINO ARI WIBOWO, S.T., M.Eng.
 NIP. 198205022008121002

NOMOR GAMBAR :
JRG1 - SDWG - DE - 006.AM

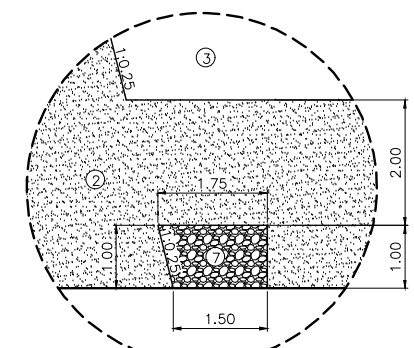
SKALA :	UKURAN KERTAS :	NO. LEMBAR :
A / B	A3	40 / 40



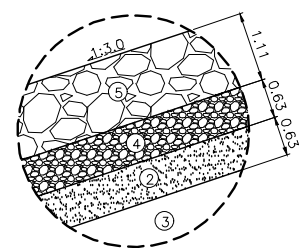
POTONGAN MELINTANG STA. 0+500
 Skala : A



DETAIL - 1
 Skala : B

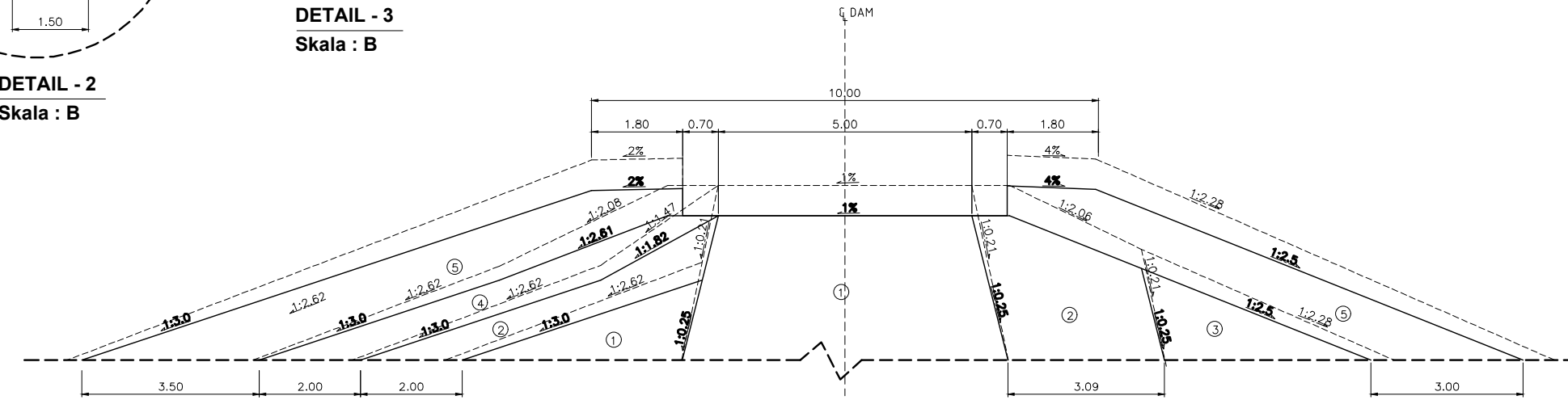


DETAIL - 2
 Skala : B



DETAIL - 3
 Skala : B

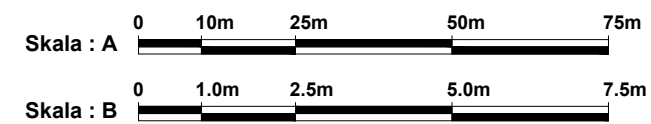
Note :
 - Detail 2 dari STA 0+425 s/d 0+500

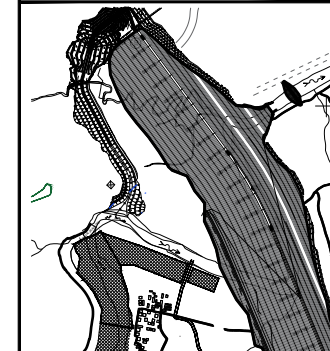


DETAIL CREST DAM CHAMBER
 Skala : B

REMARK OF EMBANKMENT

1. ZONA ① = Impervious Core	5. ZONA ⑤ = Rock Rip-Rap (Max ϕ 100cm)
2. ZONA ② = Filter	6. ZONA ⑥ = Toe Drain
3. ZONA ③ = Random Material	7. ZONA ⑦ = Drain (Gravel ϕ 20-80mm)
4. ZONA ④ = Transition (Gravel ϕ 2.5cm)	





PEMBERI TUGAS :
 KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
 DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR
 BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI PEMALI JUANA
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA

PEKERJAAN PEMBANGUNAN BENDUNGAN
 JRAGUNG PAKET I,
 KAB. SEMARANG

NOMOR KONTRAK :
 KU 03.01/Ao.8.2/IX/01
 TANGGAL : 25 SEPTEMBER 2020

KONSULTAN SUPERVISI :

 PT. RAYAKONSULT. KSO.
 PT. HILMY ANUGERAH, PT. TUAH AGUNG ANUGERAH,
 PT. CIRIJASA ENGINEERING CONSULTANT

PENYEDIA JASA :

 PT. WASKITA KARYA (Persero) Tbk.
 Jl. MT Haryono Kav. No.10,Cawang
 Jakarta 134340
 Telp. (021)8515521 - Fax. (031)8515509

JUDUL GAMBAR :
**CROSS SECTION MAINDAM
 STA. 0+086.19**

REV	CATATAN	TANGGAL
0	For Approval	08-04-2021
1	For Approval	11-07-2022

	NAMA	TTD	TANGGAL
Digambar oleh	Ghora Lautra D.		
Diperiksa oleh	Fandy Dwi H.		
Diperiksa oleh	Phonda Hertaman		

DIAJUKAN OLEH,
 PENYEDIA JASA

ILHAM RUDIANTO, S.T.
 MANAJER PROYEK

MEMERIKSA / MENYETUJUI,
 KONSULTAN SUPERVISI

CHANDRA ADRIAWAN, S.T., M.T.
 KETUA TIM

MENYETUJUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 KOORDINATOR DIREKSI LAPANGAN

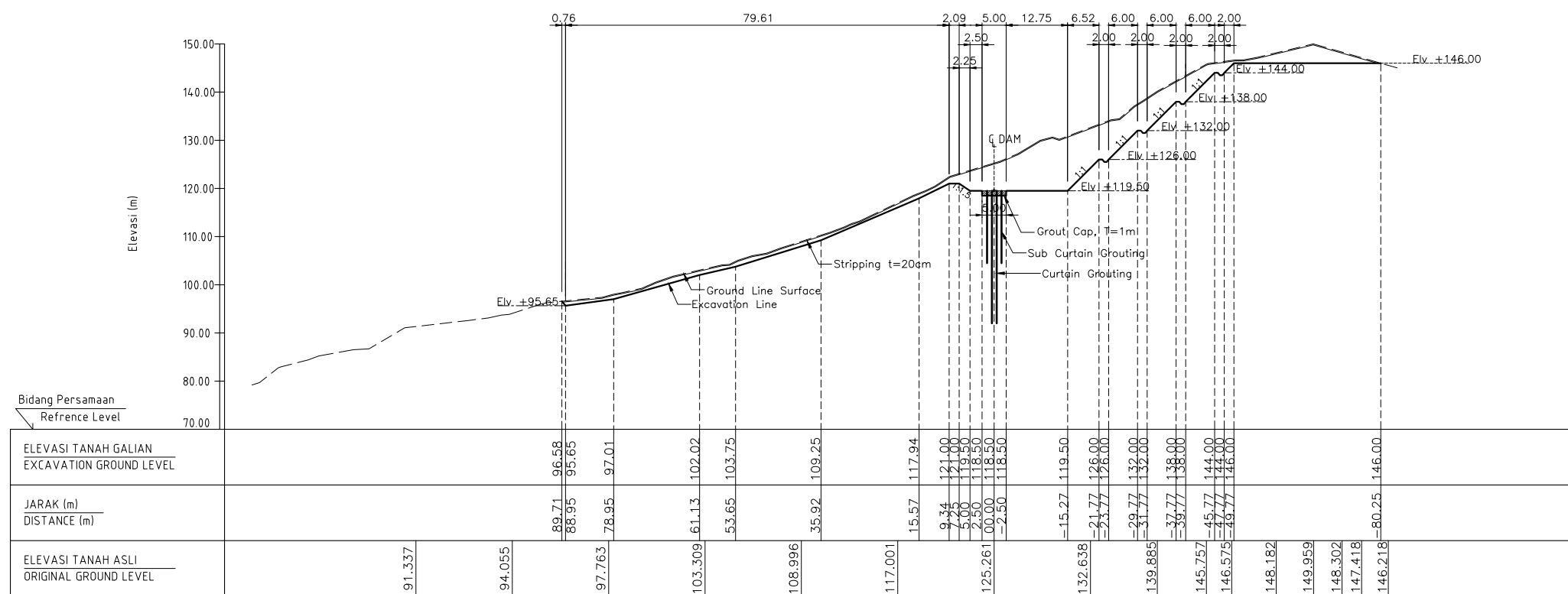
HERU MUKTI WIJAYA S.T.
 NIP. 19861192014021003

MENGETAHUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 PPK BENDUNGAN II

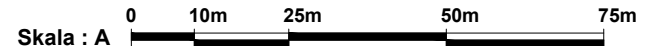
RINO ARI WIBOWO, S.T., M.Eng.
 NIP. 198205022008121002

NOMOR GAMBAR :
JRG1 - SDWG - DE - 006.A

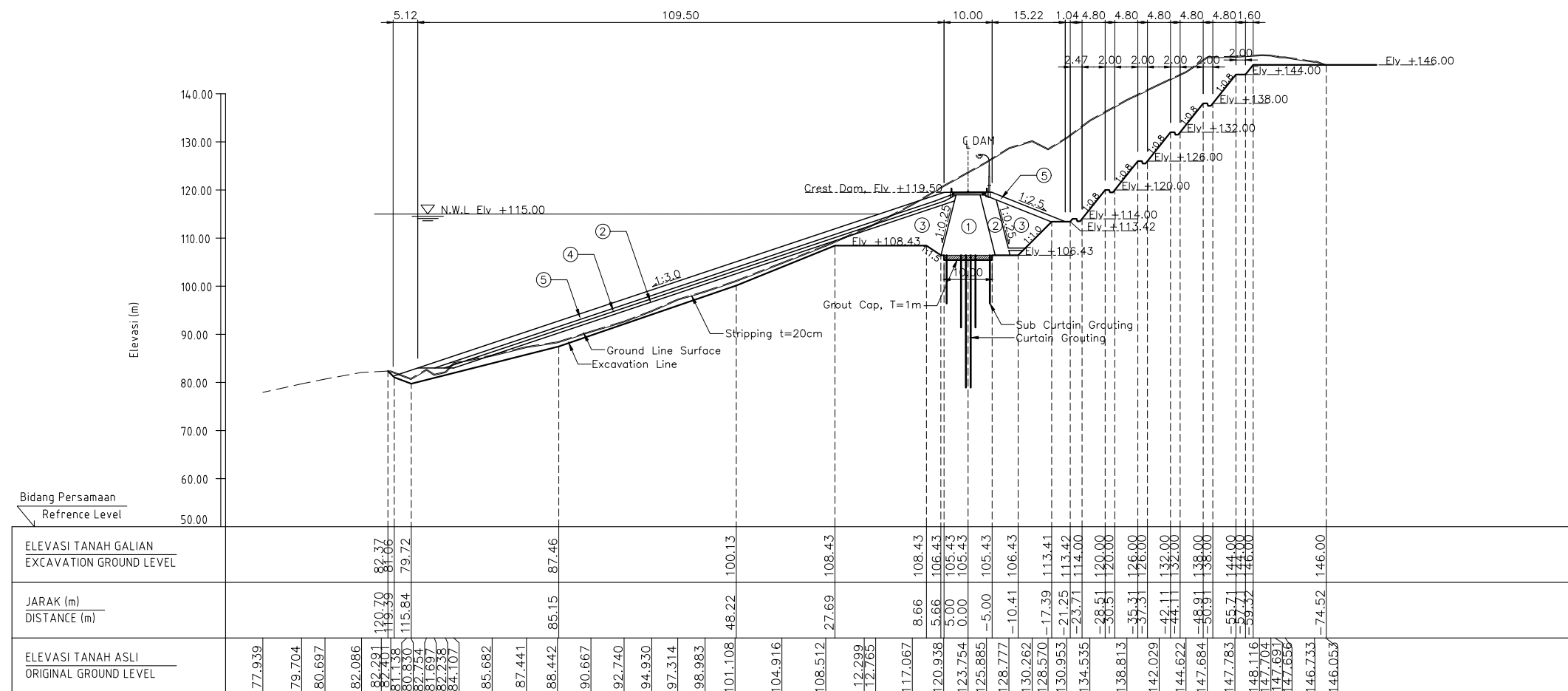
SKALA : A UKURAN KERTAS : A3 NO. LEMBAR : 2 / 40



POTONGAN MELINTANG STA. 0+086.19
 Skala : A

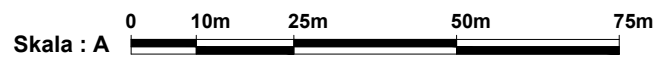


- REMARK OF EMBANKMENT**
- ZONA ① = Impervious Core
 - ZONA ② = Filter
 - ZONA ③ = Random Material
 - ZONA ④ = Transition (Gravel ϕ 2.5cm)
 - ZONA ⑤ = Rock Rip-Rap (Max ϕ 100cm)
 - ZONA ⑥ = Toe Drain
 - ZONA ⑦ = Drain (Gravel ϕ 20-80mm)



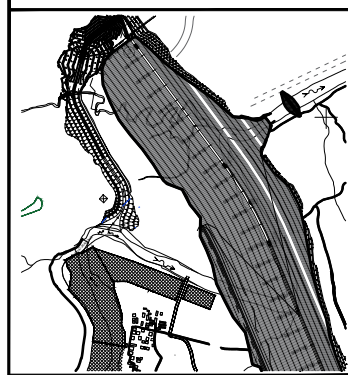
POTONGAN MELINTANG STA. 0+125

Skala : A



REMARK OF EMBANKMENT

- 1. ZONA ① = Impervious Core
- 2. ZONA ② = Filter
- 3. ZONA ③ = Random Material
- 4. ZONA ④ = Transition (Gravel ϕ 2.5cm)
- 5. ZONA ⑤ = Rock Rip-Rap (Max ϕ 100cm)
- 6. ZONA ⑥ = Toe Drain
- 7. ZONA ⑦ = Drain (Gravel ϕ 20-80mm)



PEMBERI TUGAS :
KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR
BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI PEMALI JUANA
SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA

PEKERJAAN PEMBANGUNAN BENDUNGAN
JRAGUNG PAKET I,
KAB. SEMARANG

NOMOR KONTRAK :
KU 03.01/Ao.8.2/IX/01
TANGGAL : 25 SEPTEMBER 2020

KONSULTAN SUPERVISI :
PT. RAYAKONSULT. KSO.
PT. HILMY ANUGERAH, PT. TUAH AGUNG ANUGERAH,
PT. CIRIAJASA ENGINEERING CONSULTANT

PENYEDIA JASA :
PT. WASKITA KARYA (Persero) Tbk.
Jl. MT Haryono Kav. No.10,Cawang
Jakarta 134340
Telp. (021)8515521 - Fax. (031)8515509

JUDUL GAMBAR :
CROSS SECTION MAINDAM
STA. 0+125

REV	CATATAN	TANGGAL
0	For Approval	08-04-2021
1	For Approval	11-07-2022

	NAMA	TTD	TANGGAL
Digambar oleh	Ghora Lautra D.		
Diperiksa oleh	Fandy Dwi H.		
Diperiksa oleh	Phonda Hertaman		

DIAJUKAN OLEH,
PENYEDIA JASA

ILHAM RUDIANTO, S.T.
MANAJER PROYEK

MEMERIKSA / MENYETUJUI,
KONSULTAN SUPERVISI

CHANDRA ADRIAWAN, S.T., M.T.
KETUA TIM

MENYETUJUI,
SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
KOORDINATOR DIREKSI LAPANGAN

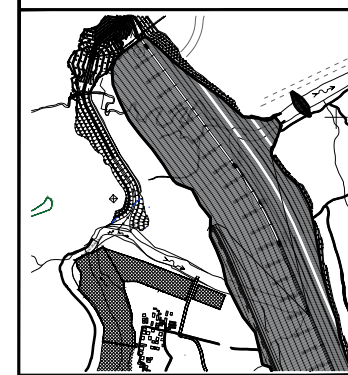
HERU MUKTI WIJAYA S.T.
NIP. 198611192014021003

MENGETAHUI,
SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
PKP BENDUNGAN II

RINO ARI WIBOWO, S.T., M.Eng.
NIP. 198205022008121002

NOMOR GAMBAR :
JRG1 - SDWG - DE - 006.C

SKALA :	UKURAN KERTAS :	NO. LEMBAR :
A	A3	4 / 40



PEMBERI TUGAS :
 KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
 DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR
 BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI PEMALI JUANA
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA

PEKERJAAN PEMBANGUNAN BENDUNGAN
 JRAGUNG PAKET I,
 KAB. SEMARANG

NOMOR KONTRAK :
 KU 03.01/Ao.8.2/IX/01
 TANGGAL : 25 SEPTEMBER 2020

KONSULTAN SUPERVISI :

 PT. RAYAKONSULT. KSO.
 PT. HILMY ANUGERAH, PT. TUAH AGUNG ANUGERAH,
 PT. CIRIAJASA ENGINEERING CONSULTANT

PENYEDIA JASA :

PT. WASKITA KARYA (Persero) Tbk.
 Jl. MT Haryono Kav. No.10,Cawang
 Jakarta 134340
 Telp. (021)8515521 - Fax. (031)8515509

JUDUL GAMBAR :
**CROSS SECTION MAINDAM
 STA. 0+175**

REV	CATATAN	TANGGAL
0	For Approval	08-04-2021
1	For Approval	11-07-2022

	NAMA	TTD	TANGGAL
Digambar oleh	Ghora Lautra D.		
Diperiksa oleh	Fandy Dwi H.		
Diperiksa oleh	Phonda Hertaman		

DIAJUKAN OLEH,
 PENYEDIA JASA

ILHAM RUDIANTO, S.T.
 MANAJER PROYEK

MEMERIKSA / MENYETUJUI,
 KONSULTAN SUPERVISI

CHANDRA ADRIAWAN, S.T., M.T.
 KETUA TIM

MENYETUJUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 KOORDINATOR DIREKSI LAPANGAN

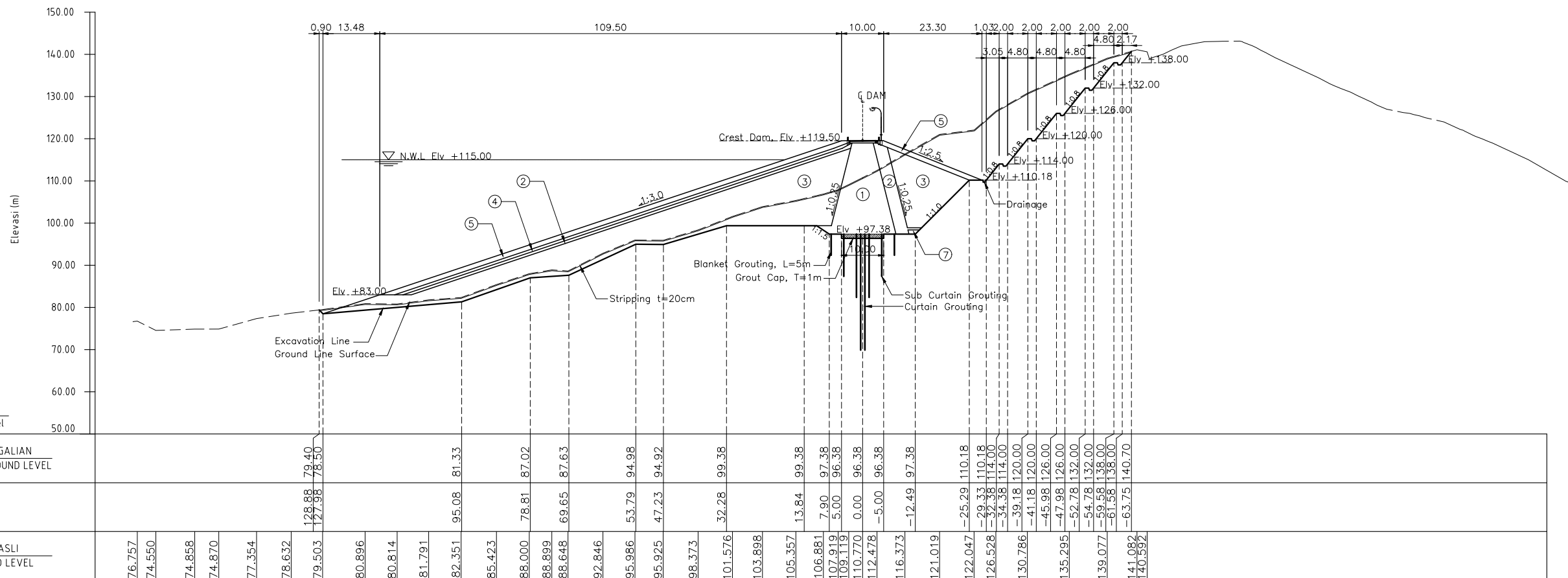
HERU MUKTI WIJAYA S.T.
 NIP. 198611192014021003

MENGETAHUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 PPK BENDUNGAN II

RINO ARI WIBOWO, S.T., M.Eng.
 NIP. 198205022008121002

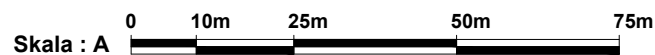
NOMOR GAMBAR :
JRG1 - SDWG - DE - 006.E

SKALA : A	UKURAN KERTAS : A3	NO. LEMBAR : 6 / 40
--------------	-----------------------	------------------------



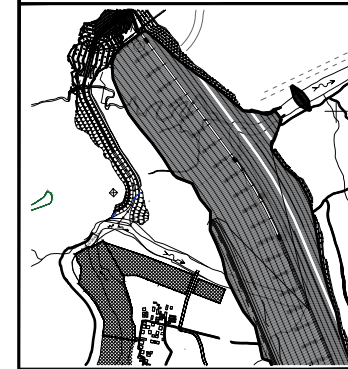
POTONGAN MELINTANG STA. 0+175

Skala : A



REMARK OF EMBANKMENT

- 1. ZONA ① = Impervious Core
- 2. ZONA ② = Filter
- 3. ZONA ③ = Random Material
- 4. ZONA ④ = Transition (Gravel ϕ 2.5cm)
- 5. ZONA ⑤ = Rock Rip-Rap (Max ϕ 100cm)
- 6. ZONA ⑥ = Toe Drain
- 7. ZONA ⑦ = Drain (Gravel ϕ 20-80mm)



PEMBERI TUGAS :
 KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
 DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR
 BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI PEMALI JUANA
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA

PEKERJAAN PEMBANGUNAN BENDUNGAN
 JRAGUNG PAKET I,
 KAB. SEMARANG

NOMOR KONTRAK :
 KU 03.01/Ao.8.2/IX/01
 TANGGAL : 25 SEPTEMBER 2020

KONSULTAN SUPERVISI :

 PT. RAYAKONSULT. KSO.
 PT. HILMY ANUGERAH, PT. TUAH AGUNG ANUGERAH,
 PT. CIRIAJASA ENGINEERING CONSULTANT

PENYEDIA JASA :

PT. WASKITA KARYA (Persero) Tbk.
 Jl. MT Haryono Kav. No.10,Cawang
 Jakarta 134340
 Telp. (021)8515521 - Fax. (031)8515509

JUDUL GAMBAR :
**CROSS SECTION MAINDAM
 STA. 0+225**

REV	CATATAN	TANGGAL
0	For Approval	08-04-2021
1	For Approval	11-07-2022

	NAMA	TTD	TANGGAL
Digambar oleh	Ghora Lautra D.		
Diperiksa oleh	Fandy Dwi H.		
Diperiksa oleh	Phonda Hertaman		

DIAJUKAN OLEH,
 PENYEDIA JASA

**ILHAM RUDIANTO, S.T.,
 MANAJER PROYEK**

MEMERIKSA / MENYETUJUI,
 KONSULTAN SUPERVISI

**CHANDRA ADRIAWAN, S.T., M.T.,
 KETUA TIM**

MENYETUJUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 KOORDINATOR DIREKSI LAPANGAN

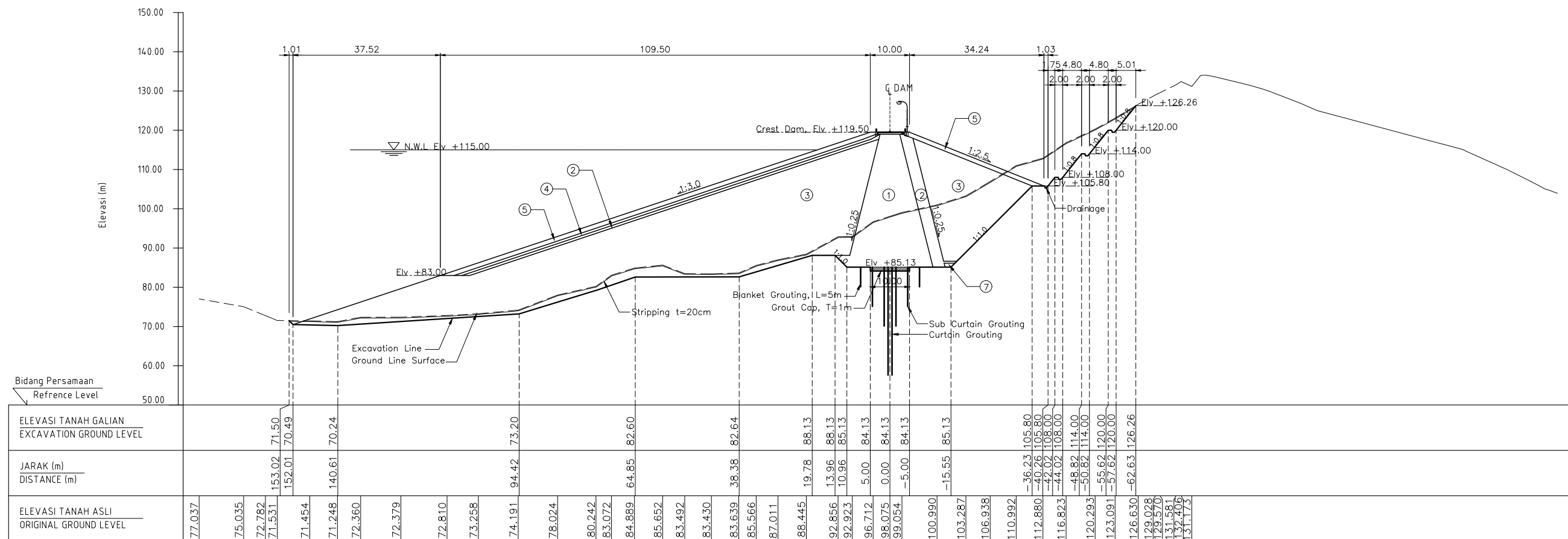
**HERU MUKTI WIJAYA S.T.,
 NIP. 198611192014021003**

MENGETAHUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 PKP BENDUNGAN II

**RINO ARI WIBOWO, S.T., M.Eng.,
 NIP. 198205022008121002**

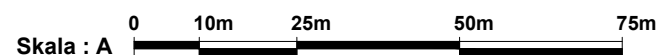
NOMOR GAMBAR :
JRG1 - SDWG - DE - 006.G

SKALA :
 A
 UKURAN KERTAS :
 A3
 NO. LEMBAR :
 8 / 40



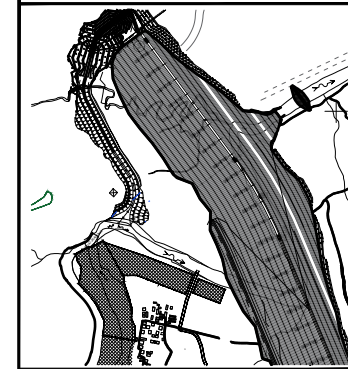
POTONGAN MELINTANG STA. 0+225

Skala : A



REMARK OF EMBANKMENT

- 1. ZONA ① = Impervious Core
- 2. ZONA ② = Filter
- 3. ZONA ③ = Random Material
- 4. ZONA ④ = Transition (Gravel ϕ 2.5cm)
- 5. ZONA ⑤ = Rock Rip-Rap (Max ϕ 100cm)
- 6. ZONA ⑥ = Toe Drain
- 7. ZONA ⑦ = Drain (Gravel ϕ 20-80mm)



PEMBERI TUGAS :
 KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
 DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR
 BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI PEMALI JUANA
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA

PEKERJAAN PEMBANGUNAN BENDUNGAN
 JRAGUNG PAKET I,
 KAB. SEMARANG

NOMOR KONTRAK :
 KU 03.01/Ao.8.2/IX/01
 TANGGAL : 25 SEPTEMBER 2020

KONSULTAN SUPERVISI :

 PT. RAYAKONSULT. KSO.
 PT. HILMY ANUGERAH, PT. TUAH AGUNG ANUGERAH,
 PT. CIRIAJASA ENGINEERING CONSULTANT

PENYEDIA JASA :

 PT. WASKITA KARYA (Persero) Tbk.
 Jl. MT Haryono Kav. No.10,Cawang
 Jakarta 134340
 Telp. (021)8515521 - Fax. (031)8515509

JUDUL GAMBAR :
**CROSS SECTION MAINDAM
 STA. 0+275**

REV	CATATAN	TANGGAL
0	For Approval	08-04-2021
1	For Approval	11-07-2022

	NAMA	TTD	TANGGAL
Digambar oleh	Ghora Lautra D.		
Diperiksa oleh	Fandy Dwi H.		
Diperiksa oleh	Phonda Hertaman		

DIAJUKAN OLEH,
 PENYEDIA JASA

 ILHAM RUDIANTO, S.T.
 MANAJER PROYEK

MEMERIKSA / MENYETUJUI,
 KONSULTAN SUPERVISI

 CHANDRA ADRIAWAN, S.T., M.T.
 KETUA TIM

MENYETUJUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 KOORDINATOR DIREKSI LAPANGAN

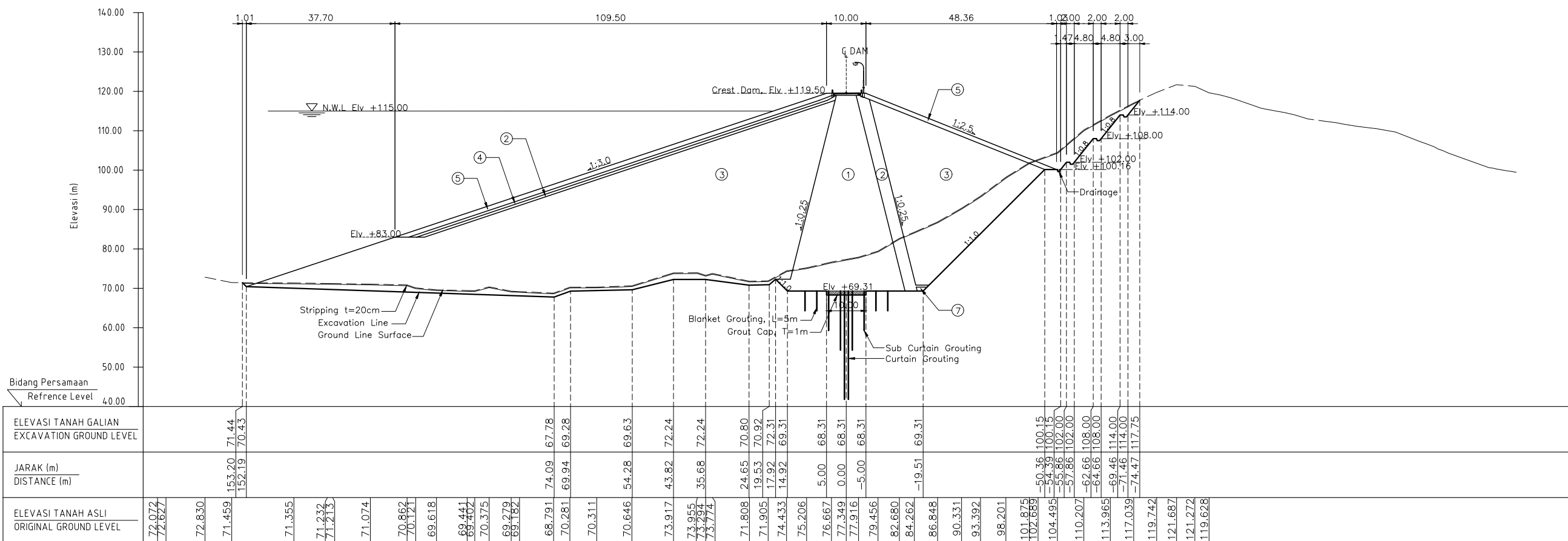
 HERU MUKTI WIJAYA S.T.
 NIP. 198611192014021003

MENGETAHUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 PKP BENDUNGAN II

 RINO ARI WIBOWO, S.T., M.Eng.
 NIP. 198205022008121002

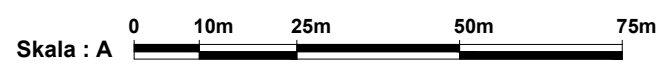
NOMOR GAMBAR :
JRG1 - SDWG - DE - 006.I

SKALA : A
 UKURAN KERTAS : A3
 NO. LEMBAR : 10 / 40



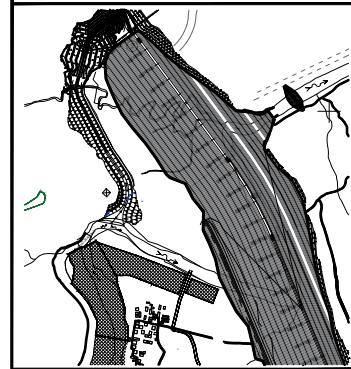
ELEVASI TANAH GALIAN EXCAVATION GROUND LEVEL	JARAK (m) DISTANCE (m)	ELEVASI TANAH ASLI ORIGINAL GROUND LEVEL
72.072		72.072
72.627		72.627
72.830		72.830
71.459	153.20	71.459
70.43	152.19	70.43
71.355		71.355
71.232		71.232
71.213		71.213
71.074		71.074
70.862		70.862
70.121		70.121
69.618		69.618
69.441		69.441
69.402		69.402
70.375		70.375
69.279		69.279
69.162		69.162
68.791	74.09	67.78
70.281	69.94	69.28
70.311		70.311
70.646	54.28	69.63
73.917	43.82	72.24
73.955		73.955
73.294	35.68	72.24
73.774		73.774
71.808	24.65	70.80
71.905	19.53	70.92
71.92	17.92	72.31
74.433	14.92	69.31
75.206		75.206
76.667	5.00	68.31
77.349	0.00	68.31
77.916	-5.00	68.31
79.456		79.456
82.680		82.680
84.262		84.262
86.848		86.848
90.331		90.331
93.392		93.392
98.201		98.201
101.875		101.875
102.689		102.689
104.495		104.495
110.207		110.207
113.965		113.965
117.039		117.039
119.742		119.742
121.687		121.687
121.272		121.272
119.628		119.628

POTONGAN MELINTANG STA. 0+275
 Skala : A



REMARK OF EMBANKMENT

1. ZONA ① = Impervious Core	5. ZONA ⑤ = Rock Rip-Rap (Max ϕ 100cm)
2. ZONA ② = Filter	6. ZONA ⑥ = Toe Drain
3. ZONA ③ = Random Material	7. ZONA ⑦ = Drain (Gravel ϕ 20-80mm)
4. ZONA ④ = Transition (Gravel ϕ 2.5cm)	



PEMBERI TUGAS :
 KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
 DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR
 BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI PEMALI JUANA
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA

PEKERJAAN PEMBANGUNAN BENDUNGAN
 JRAGUNG PAKET I,
 KAB. SEMARANG

NOMOR KONTRAK :
 KU 03.01/Ao.8.2/IX/01
 TANGGAL : 25 SEPTEMBER 2020

KONSULTAN SUPERVISI :

 PT. RAYAKONSULT. KSO.
 PT. HILMY ANUGERAH, PT. TUAH AGUNG ANUGERAH,
 PT. CIRIAJASA ENGINEERING CONSULTANT

PENYEDIA JASA :

PT. WASKITA KARYA (Persero) Tbk.
 Jl. MT Haryono Kav. No.10,Cawang
 Jakarta 134340
 Telp. (021)8515521 - Fax. (031)8515509

JUDUL GAMBAR :
**CROSS SECTION MAINDAM
 STA. 0+325**

REV	CATATAN	TANGGAL
0	For Approval	08-04-2021
1	For Approval	11-07-2022

	NAMA	TTD	TANGGAL
Digambar oleh	Ghora Lautra D.		
Diperiksa oleh	Fandy Dwi H.		
Diperiksa oleh	Phonda Hertaman		

DIAJUKAN OLEH,
 PENYEDIA JASA

ILHAM RUDIANTO, S.T.
 MANAJER PROYEK

MEMERIKSA / MENYETUJUI,
 KONSULTAN SUPERVISI

CHANDRA ADRIAWAN, S.T., M.T.
 KETUA TIM

MENYETUJUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 KOORDINATOR DIREKSI LAPANGAN

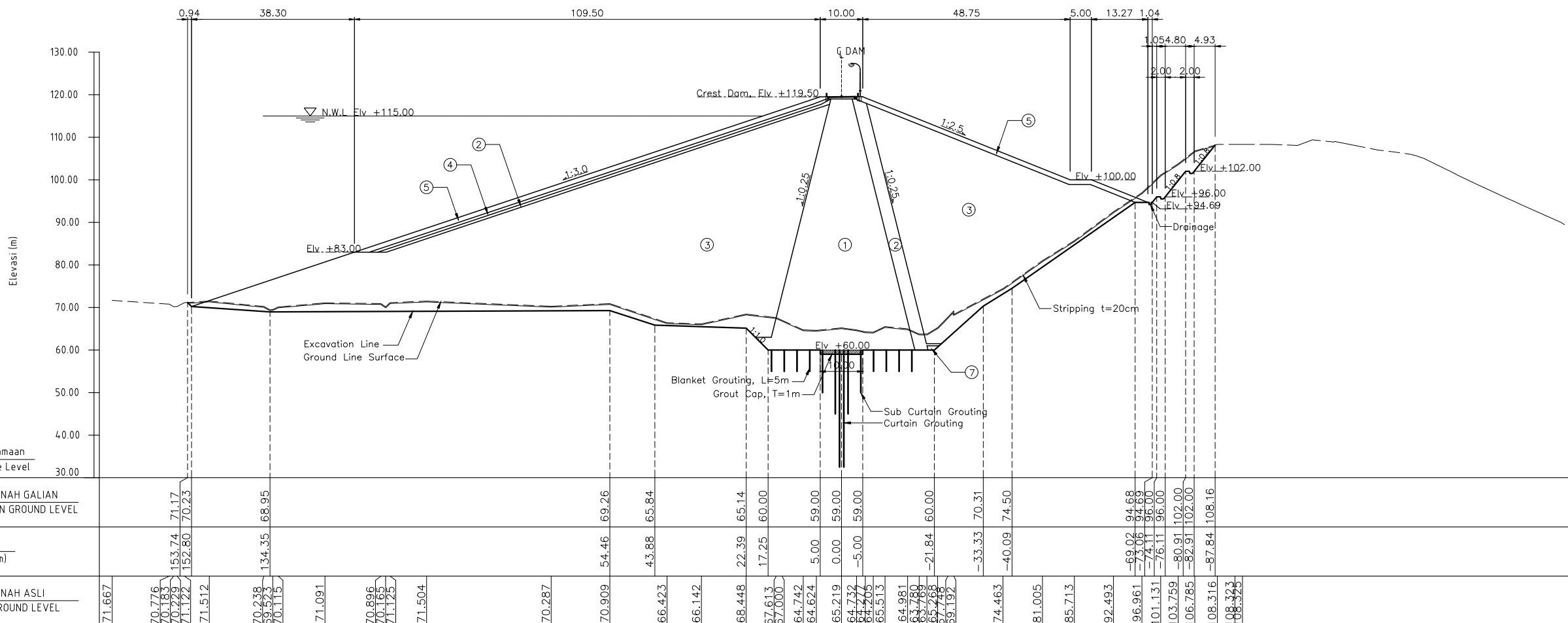
HERU MUKTI WIJAYA S.T.
 NIP. 198611192014021003

MENGETAHUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 PPK BENDUNGAN II

RINO ARI WIBOWO, S.T., M.Eng.
 NIP. 198205022008121002

NOMOR GAMBAR :
JRG1 - SDWG - DE - 006.K

SKALA : A UKURAN KERTAS : A3 NO. LEMBAR : 12 / 40

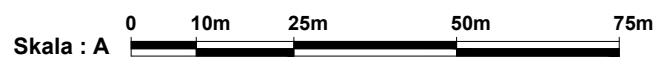


Bidang Persamaan
 Reference Level

ELEVASI TANAH GALIAN EXCAVATION GROUND LEVEL	JARAK (m) DISTANCE (m)	ELEVASI TANAH ASLI ORIGINAL GROUND LEVEL
71.667		71.667
70.776		70.776
70.183	153.74	71.17
70.229	152.80	70.23
71.122		71.512
70.238	134.35	68.95
69.523		70.115
70.115		71.091
70.896		70.896
70.976		71.129
71.129		71.504
70.287		70.287
70.909	54.46	69.26
66.423	43.88	65.84
66.142		66.142
68.448	22.39	65.14
67.613	17.25	60.00
67.000		67.000
64.742	5.00	59.00
64.624	0.00	59.00
65.219	0.00	59.00
64.732	-5.00	59.00
64.705		64.705
65.513		65.513
64.981		64.981
63.780		63.780
63.789		63.789
65.268	-21.84	60.00
67.746		67.746
69.192		69.192
74.463	-33.33	70.31
81.005	-40.09	74.50
85.713		85.713
92.493		92.493
96.961	-69.02	94.68
97.000	-93.06	94.68
97.000	-74.10	96.00
101.131	-76.11	96.00
103.759	-80.91	102.00
106.785	-82.91	102.00
108.316	-87.84	108.16
108.323		108.323
108.326		108.326

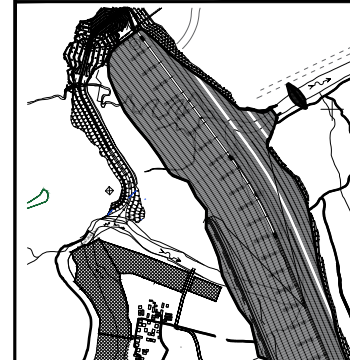
POTONGAN MELINTANG STA. 0+325

Skala : A



REMARK OF EMBANKMENT

- 1. ZONA ① = Impervious Core
- 2. ZONA ② = Filter
- 3. ZONA ③ = Random Material
- 4. ZONA ④ = Transition (Gravel ϕ 2.5cm)
- 5. ZONA ⑤ = Rock Rip-Rap (Max ϕ 100cm)
- 6. ZONA ⑥ = Toe Drain
- 7. ZONA ⑦ = Drain (Gravel ϕ 20-80mm)



PEMBERI TUGAS :
 KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
 DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR
 BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI PEMALI JUANA
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA

PEKERJAAN PEMBANGUNAN BENDUNGAN
 JRAGUNG PAKET I,
 KAB. SEMARANG

NOMOR KONTRAK :
 KU 03.01/Ao.8.2/IX/01
 TANGGAL : 25 SEPTEMBER 2020

KONSULTAN SUPERVISI :

 PT. RAYAKONSULT. KSO.
 PT. HILMY ANUGERAH, PT. TUAH AGUNG ANUGERAH,
 PT. CIRIAJASA ENGINEERING CONSULTANT

PENYEDIA JASA :

PT. WASKITA KARYA (Persero) Tbk.
 Jl. MT. Haryono Kav. No.10,Cawang
 Jakarta 134340
 Telp. (021)8515521 - Fax. (031)8515509

JUDUL GAMBAR :
**CROSS SECTION MAINDAM
 STA. 0+375**

REV	CATATAN	TANGGAL
0	For Approval	08-04-2021
1	For Approval	11-07-2022

	NAMA	TTD	TANGGAL
Digambar oleh	Ghora Lautra D.		
Diperiksa oleh	Fandy Dwi H.		
Diperiksa oleh	Phonda Hertaman		

DIAJUKAN OLEH,
 PENYEDIA JASA

ILHAM RUDIANTO, S.T.
 MANAJER PROYEK

MEMERIKSA / MENYETUJUI,
 KONSULTAN SUPERVISI

CHANDRA ADRIAWAN, S.T., M.T.
 KETUA TIM

MENYETUJUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 KOORDINATOR DIREKSI LAPANGAN

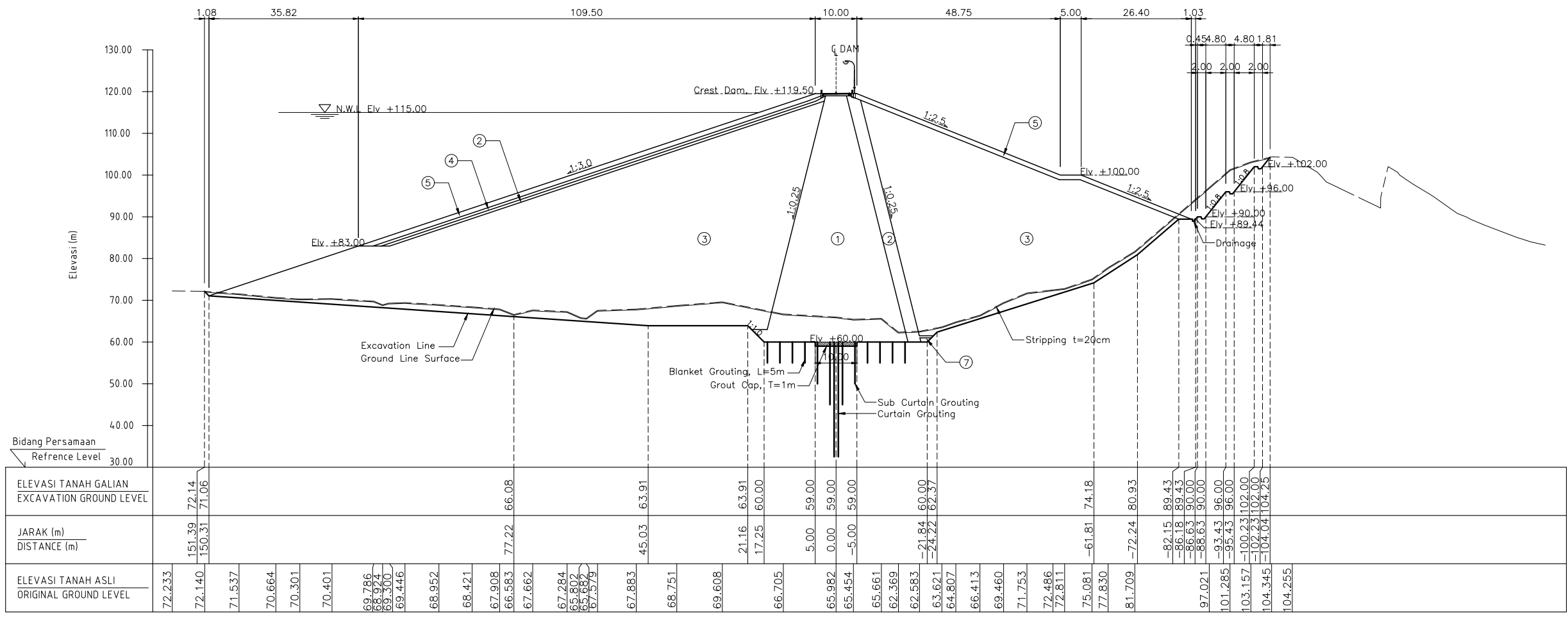
HERU MUKTI WIJAYA S.T.
 NIP. 198611192014021003

MENGETAHUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 PPK BENDUNGAN II

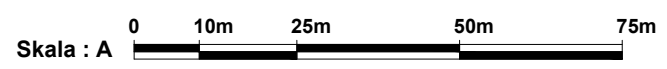
RINO ARI WIBOWO, S.T., M.Eng.
 NIP. 198205022008121002

NOMOR GAMBAR :
JRG1 - SDWG - DE - 006.M

SKALA :
 A
 UKURAN KERTAS :
 A3
 NO. LEMBAR :
 14 / 40

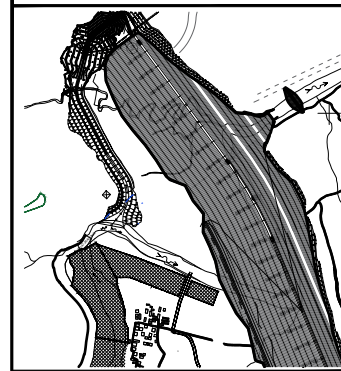


POTONGAN MELINTANG STA. 0+375
 Skala : A



REMARK OF EMBANKMENT

1. ZONA ① = Impervious Core	5. ZONA ⑤ = Rock Rip-Rap (Max ϕ 100cm)
2. ZONA ② = Filter	6. ZONA ⑥ = Toe Drain
3. ZONA ③ = Random Material	7. ZONA ⑦ = Drain (Gravel ϕ 20-80mm)
4. ZONA ④ = Transition (Gravel ϕ 2.5cm)	



PEMBERI TUGAS :
 KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
 DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR
 BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI PEMALI JUANA
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA

PEKERJAAN PEMBANGUNAN BENDUNGAN
 JRAGUNG PAKET I,
 KAB. SEMARANG

NOMOR KONTRAK :
 KU 03.01/Ao.8.2/IX/01
 TANGGAL : 25 SEPTEMBER 2020

KONSULTAN SUPERVISI :

 PT. RAYAKONSULT. KSO.
 PT. HILMY ANUGERAH, PT. TUAH AGUNG ANUGERAH,
 PT. CIRIJASA ENGINEERING CONSULTANT

PENYEDIA JASA :

 PT. WASKITA KARYA (Persero) Tbk.
 Jl. MT Haryono Kav. No.10,Cawang
 Jakarta 134340
 Telp. (021)8515521 - Fax. (031)8515509

JUDUL GAMBAR :
**CROSS SECTION MAINDAM
 STA. 0+425**

REV	CATATAN	TANGGAL
0	For Approval	08-04-2021
1	For Approval	11-07-2022

	NAMA	TTD	TANGGAL
Digambar oleh	Ghora Lautra D.		
Diperiksa oleh	Fandy Dwi H.		
Diperiksa oleh	Phonda Hertaman		

DIAJUKAN OLEH,
 PENYEDIA JASA

 ILHAM RUDIANTO, S.T.
 MANAJER PROYEK

MEMERIKSA / MENYETUJUI,
 KONSULTAN SUPERVISI

 CHANDRA ADRIAWAN, S.T., M.T.
 KETUA TIM

MENYETUJUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 KOORDINATOR DIREKSI LAPANGAN

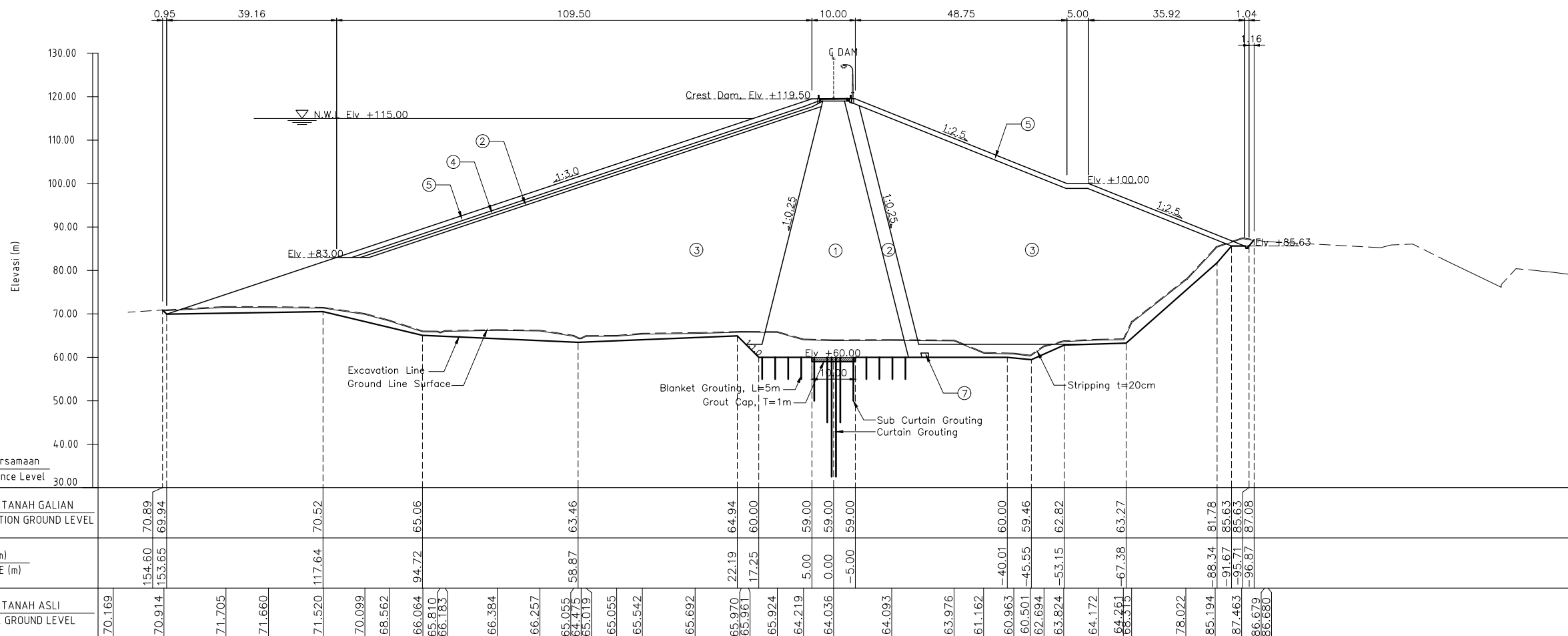
 HERU MUKTI WIJAYA S.T.
 NIP. 198611192014021003

MENGETAHUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 PPK BENDUNGAN II

 RINO ARI WIBOWO, S.T., M.Eng.
 NIP. 198205022008121002

NOMOR GAMBAR :
JRG1 - SDWG - DE - 006.O

SKALA :
 A
 UKURAN KERTAS :
 A3
 NO. LEMBAR :
 16 / 40

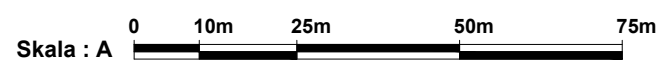


Bidang Persamaan
 Reference Level

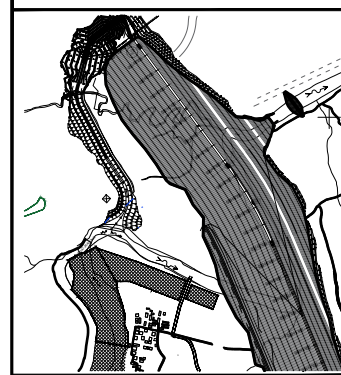
ELEVASI TANAH GALIAN EXCAVATION GROUND LEVEL	70.169	70.914	70.89	69.94		70.52	65.06	63.46	64.94	60.00	59.00	59.00	59.00	60.00	59.46	62.82	63.27	81.78	85.63	85.63	87.08	86.679	86.660															
JARAK (m) DISTANCE (m)		154.60		153.65		117.64	94.72	58.87	22.19	17.25	5.00	0.00	-5.00	-40.01	-45.55	-53.15	-67.38	-88.34	-91.67	-95.71	-96.87																	
ELEVASI TANAH ASLI ORIGINAL GROUND LEVEL	70.169	70.914	71.705	71.660	71.520	70.099	68.562	66.064	65.810	66.183	66.384	66.257	65.055	64.475	65.019	65.055	65.542	65.692	65.970	65.961	65.924	64.219	64.036	64.093	63.976	61.162	60.963	60.501	62.694	63.824	64.172	64.261	63.115	78.022	85.194	87.463	86.679	86.660

POTONGAN MELINTANG STA. 0+425

Skala : A



- REMARK OF EMBANKMENT**
- 1. ZONA ① = Impervious Core
 - 2. ZONA ② = Filter
 - 3. ZONA ③ = Random Material
 - 4. ZONA ④ = Transition (Gravel ϕ 2.5cm)
 - 5. ZONA ⑤ = Rock Rip-Rap (Max ϕ 100cm)
 - 6. ZONA ⑥ = Toe Drain
 - 7. ZONA ⑦ = Drain (Gravel ϕ 20-80mm)



PEMBERI TUGAS :
 KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
 DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR
 BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI PEMALI JUANA
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA

PEKERJAAN PEMBANGUNAN BENDUNGAN
 JRAGUNG PAKET I,
 KAB. SEMARANG

NOMOR KONTRAK :
 KU 03.01/Ao.8.2/IX/01
 TANGGAL : 25 SEPTEMBER 2020

KONSULTAN SUPERVISI :

 PT. RAYAKONSULT. KSO.
 PT. HILMY ANUGERAH, PT. TUAH AGUNG ANUGERAH,
 PT. CIRIJASA ENGINEERING CONSULTANT

PENYEDIA JASA :

PT. WASKITA KARYA (Persero) Tbk.
 Jl. MT Haryono Kav. No.10,Cawang
 Jakarta 134340
 Telp. (021)8515521 - Fax. (031)8515509

JUDUL GAMBAR :
**CROSS SECTION MAINDAM
 STA. 0+475**

REV	CATATAN	TANGGAL
0	For Approval	08-04-2021
1	For Approval	11-07-2022

	NAMA	TTD	TANGGAL
Digambar oleh	Ghora Lautra D.		
Diperiksa oleh	Fandy Dwi H.		
Diperiksa oleh	Phonda Hertaman		

DIAJUKAN OLEH,
 PENYEDIA JASA

ILHAM RUDIANTO, S.T.
 MANAJER PROYEK

MEMERIKSA / MENYETUJUI,
 KONSULTAN SUPERVISI

CHANDRA ADRIAWAN, S.T., M.T.
 KETUA TIM

MENYETUJUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 KOORDINATOR DIREKSI LAPANGAN

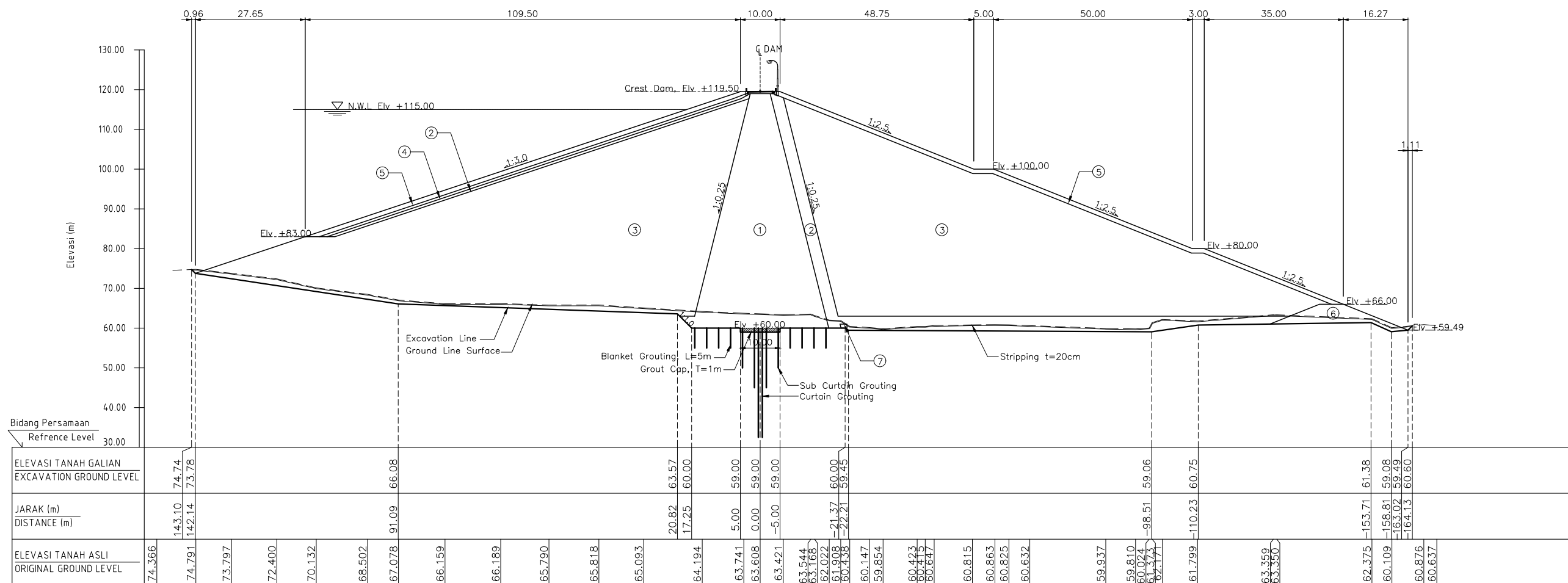
HERU MUKTI WIJAYA S.T.
 NIP. 198611192014021003

MENGETAHUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 PPK BENDUNGAN II

RINO ARI WIBOWO, S.T., M.Eng.
 NIP. 198205022008121002

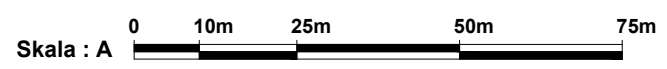
NOMOR GAMBAR :
JRG1 - SDWG - DE - 006.Q

SKALA : A UKURAN KERTAS : A3 NO. LEMBAR : 18 / 40



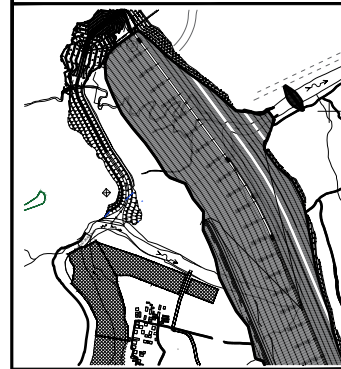
POTONGAN MELINTANG STA. 0+475

Skala : A



REMARK OF EMBANKMENT

1. ZONA ① = Impervious Core	5. ZONA ⑤ = Rock Rip-Rap (Max ϕ 100cm)
2. ZONA ② = Filter	6. ZONA ⑥ = Toe Drain
3. ZONA ③ = Random Material	7. ZONA ⑦ = Drain (Gravel ϕ 20-80mm)
4. ZONA ④ = Transition (Gravel ϕ 2.5cm)	



PEMBERI TUGAS :
 KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
 DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR
 BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI PEMALI JUANA
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA

PEKERJAAN PEMBANGUNAN BENDUNGAN
 JRAGUNG PAKET I,
 KAB. SEMARANG

NOMOR KONTRAK :
 KU 03.01/Ao.8.2/IX/01
 TANGGAL : 25 SEPTEMBER 2020

KONSULTAN SUPERVISI :

 PT. RAYAKONSULT. KSO.
 PT. HILMY ANUGERAH, PT. TUAH AGUNG ANUGERAH,
 PT. CIRIAJASA ENGINEERING CONSULTANT

PENYEDIA JASA :

 PT. WASKITA KARYA (Persero) Tbk.
 Jl. MT. Haryono Kav. No.10,Cawang
 Jakarta 134340
 Telp. (021)8515521 - Fax. (031)8515509

JUDUL GAMBAR :
**CROSS SECTION MAINDAM
 STA. 0+525**

REV	CATATAN	TANGGAL
0	For Approval	08-04-2021
1	For Approval	11-07-2022

	NAMA	TTD	TANGGAL
Digambar oleh	Ghora Lautra D.		
Diperiksa oleh	Fandy Dwi H.		
Diperiksa oleh	Phonda Hertaman		

DIAJUKAN OLEH,
 PENYEDIA JASA

 ILHAM RUDIANTO, S.T.
 MANAJER PROYEK

MEMERIKSA / MENYETUJUI,
 KONSULTAN SUPERVISI

 CHANDRA ADRIAWAN, S.T., M.T.
 KETUA TIM

MENYETUJUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 KOORDINATOR DIREKSI LAPANGAN

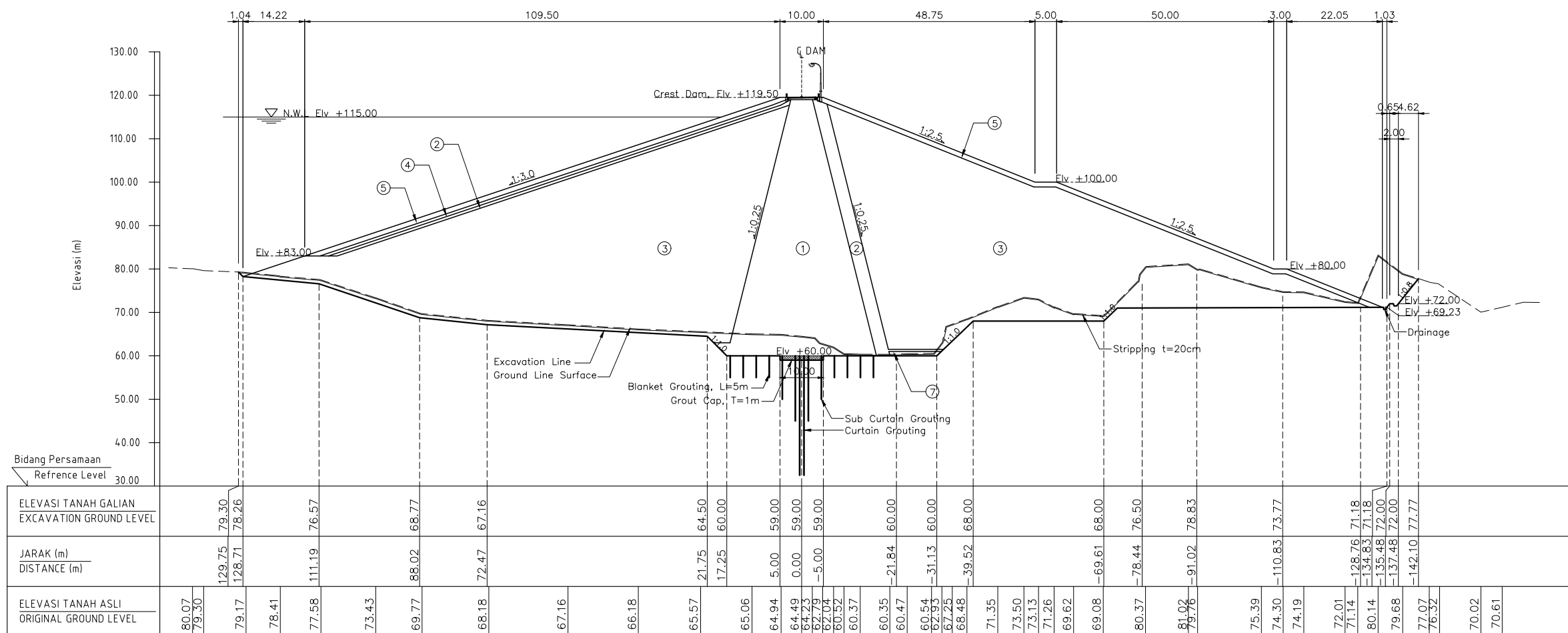
 HERU MUKTI WIJAYA S.T.
 NIP. 198611192014021003

MENGETAHUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 PPK BENDUNGAN II

 RINO ARI WIBOWO, S.T., M.Eng.
 NIP. 198205022008121002

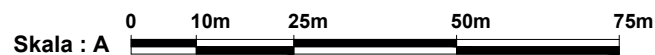
NOMOR GAMBAR :
JRG1 - SDWG - DE - 006.S

SKALA :
 A
 UKURAN KERTAS :
 A3
 NO. LEMBAR :
 20 / 40



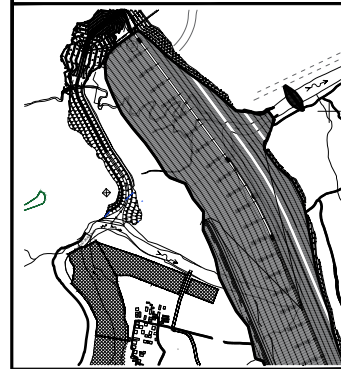
POTONGAN MELINTANG STA. 0+525

Skala : A



REMARK OF EMBANKMENT

- 1. ZONA ① = Impervious Core
- 2. ZONA ② = Filter
- 3. ZONA ③ = Random Material
- 4. ZONA ④ = Transition (Gravel ϕ 2.5cm)
- 5. ZONA ⑤ = Rock Rip-Rap (Max ϕ 100cm)
- 6. ZONA ⑥ = Toe Drain
- 7. ZONA ⑦ = Drain (Gravel ϕ 20-80mm)



PEMBERI TUGAS :
 KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
 DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR
 BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI PEMALI JUANA
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA

PEKERJAAN PEMBANGUNAN BENDUNGAN
 JRAGUNG PAKET I,
 KAB. SEMARANG

NOMOR KONTRAK :
 KU 03.01/Ao.8.2/IX/01
 TANGGAL : 25 SEPTEMBER 2020

KONSULTAN SUPERVISI :

 PT. RAYAKONSULT. KSO.
 PT. HILMY ANUGERAH, PT. TUAH AGUNG ANUGERAH,
 PT. CIRIAJASA ENGINEERING CONSULTANT

PENYEDIA JASA :

PT. WASKITA KARYA (Persero) Tbk.
 Jl. MT Haryono Kav. No.10,Cawang
 Jakarta 134340
 Telp. (021)8515521 - Fax. (031)8515509

JUDUL GAMBAR :
**CROSS SECTION MAINDAM
 STA. 0+575**

REV	CATATAN	TANGGAL
0	For Approval	08-04-2021
1	For Approval	11-07-2022

	NAMA	TTD	TANGGAL
Digambar oleh	Ghora Lautra D.		
Diperiksa oleh	Fandy Dwi H.		
Diperiksa oleh	Phonda Hertaman		

DIAJUKAN OLEH,
 PENYEDIA JASA

ILHAM RUDIANTO, S.T., M.A.
 MANAJER PROYEK

MEMERIKSA / MENYETUJUI,
 KONSULTAN SUPERVISI

CHANDRA ADRIAWAN, S.T., M.T.
 KETUA TIM

MENYETUJUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 KOORDINATOR DIREKSI LAPANGAN

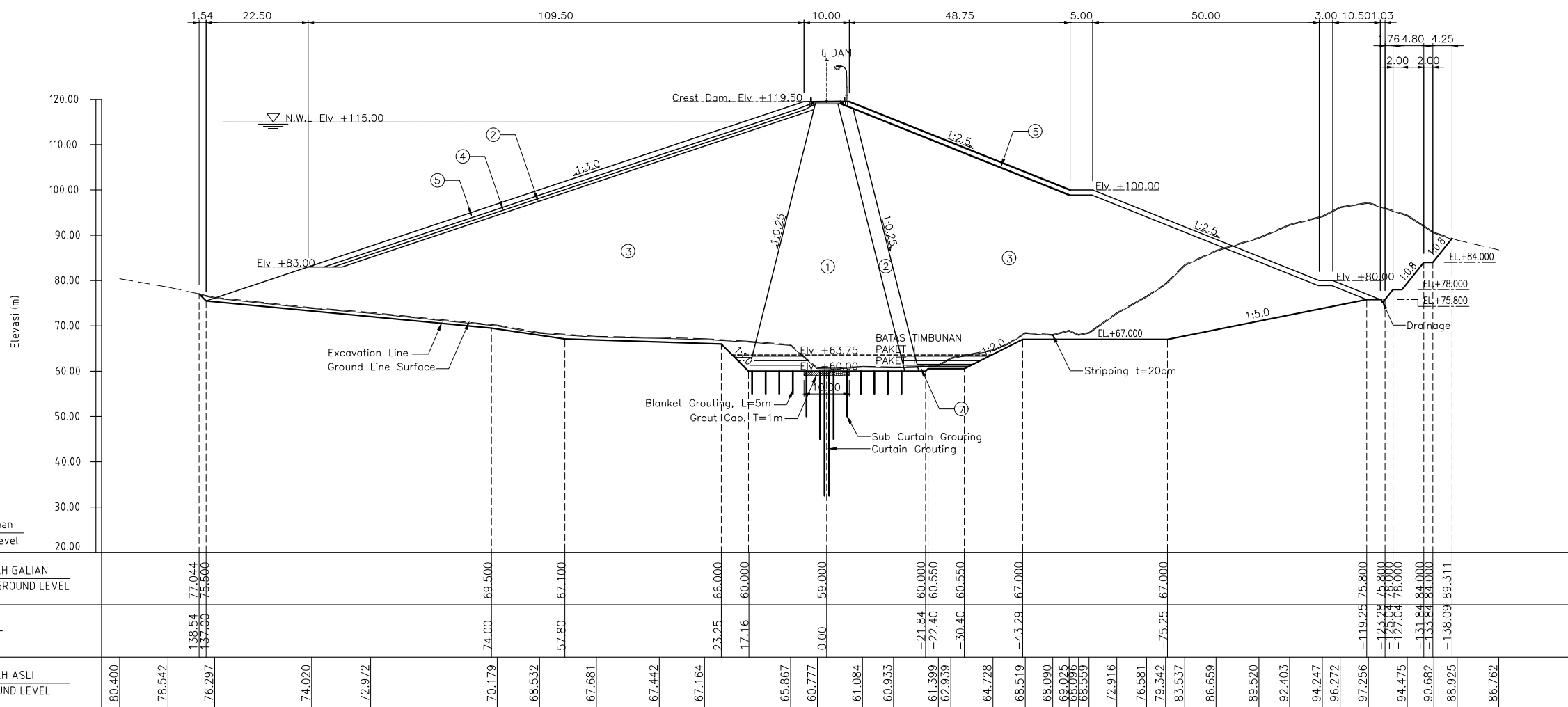
HERU MUKTI WIJAYA S.T.
 NIP. 198611192014021003

MENGETAHUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 PKK BENDUNGAN II

RINO ARI WIBOWO, S.T., M.Eng.
 NIP. 198205022008121002

NOMOR GAMBAR :
JRG1 - SDWG - DE - 006.U

SKALA :	UKURAN KERTAS :	NO. LEMBAR :
A	A3	22 / 40



ELEVASI TANAH GALIAN EXCAVATION GROUND LEVEL	77.044	76.500	69.500	67.100	66.000	60.000	59.000	60.000	60.550	67.000	75.800	75.800	84.000	84.000	89.311																					
JARAK (m) DISTANCE (m)	138.54	137.00	74.00	57.80	23.25	17.16	0.00	-21.84	-22.40	-30.40	-43.29	-75.25	-119.25	-123.08	-129.04																					
ELEVASI TANAH ASLI ORIGINAL GROUND LEVEL	80.400	78.542	76.297	74.020	72.972	70.179	68.532	67.681	67.442	67.164	65.867	60.777	61.084	60.933	61.399	62.939	64.728	68.519	68.090	69.025	68.096	68.559	72.916	76.581	79.342	83.537	86.659	89.520	92.403	94.247	96.272	97.256	94.475	90.682	88.925	86.762

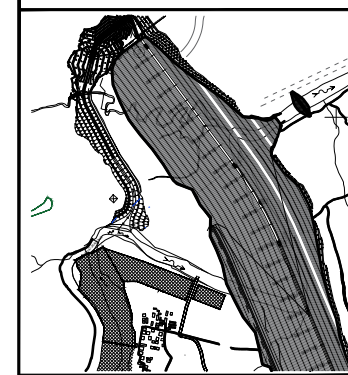
POTONGAN MELINTANG STA. 0+575

Skala : A

REMARK OF EMBANKMENT

- 1. ZONA ① = Impervious Core
- 2. ZONA ② = Filter
- 3. ZONA ③ = Random Material
- 4. ZONA ④ = Transition (Gravel ϕ 2.5cm)
- 5. ZONA ⑤ = Rock Rip-Rap (Max ϕ 100cm)
- 6. ZONA ⑥ = Toe Drain
- 7. ZONA ⑦ = Drain (Gravel ϕ 20-80mm)





PEMBERI TUGAS :
 KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
 DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR
 BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI PEMALI JUANA
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA

PEKERJAAN PEMBANGUNAN BENDUNGAN
 JRAGUNG PAKET I,
 KAB. SEMARANG

NOMOR KONTRAK :
 KU 03.01/Ao.8.2/IX/01
 TANGGAL : 25 SEPTEMBER 2020

KONSULTAN SUPERVISI :

 PT. RAYAKONSULT. KSO.
 PT. HILMY ANUGERAH, PT. TUAH AGUNG ANUGERAH,
 PT. CIRIJASA ENGINEERING CONSULTANT

PENYEDIA JASA :

PT. WASKITA KARYA (Persero) Tbk.
 Jl. MT Haryono Kav. No.10,Cawang
 Jakarta 134340
 Telp. (021)8515521 - Fax. (031)8515509

JUDUL GAMBAR :
**CROSS SECTION MAINDAM
 STA. 0+625**

REV	CATATAN	TANGGAL
0	For Approval	08-04-2021
1	For Approval	11-07-2022

	NAMA	TTD	TANGGAL
Digambar oleh	Ghora Lautra D.		
Diperiksa oleh	Fandy Dwi H.		
Diperiksa oleh	Phonda Hertaman		

DIAJUKAN OLEH,
 PENYEDIA JASA

ILHAM RUDIANTO, S.T.
 MANAJER PROYEK

MEMERIKSA / MENYETUJUI,
 KONSULTAN SUPERVISI

CHANDRA ADRIAWAN, S.T., M.T.
 KETUA TIM

MENYETUJUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 KOORDINATOR DIREKSI LAPANGAN

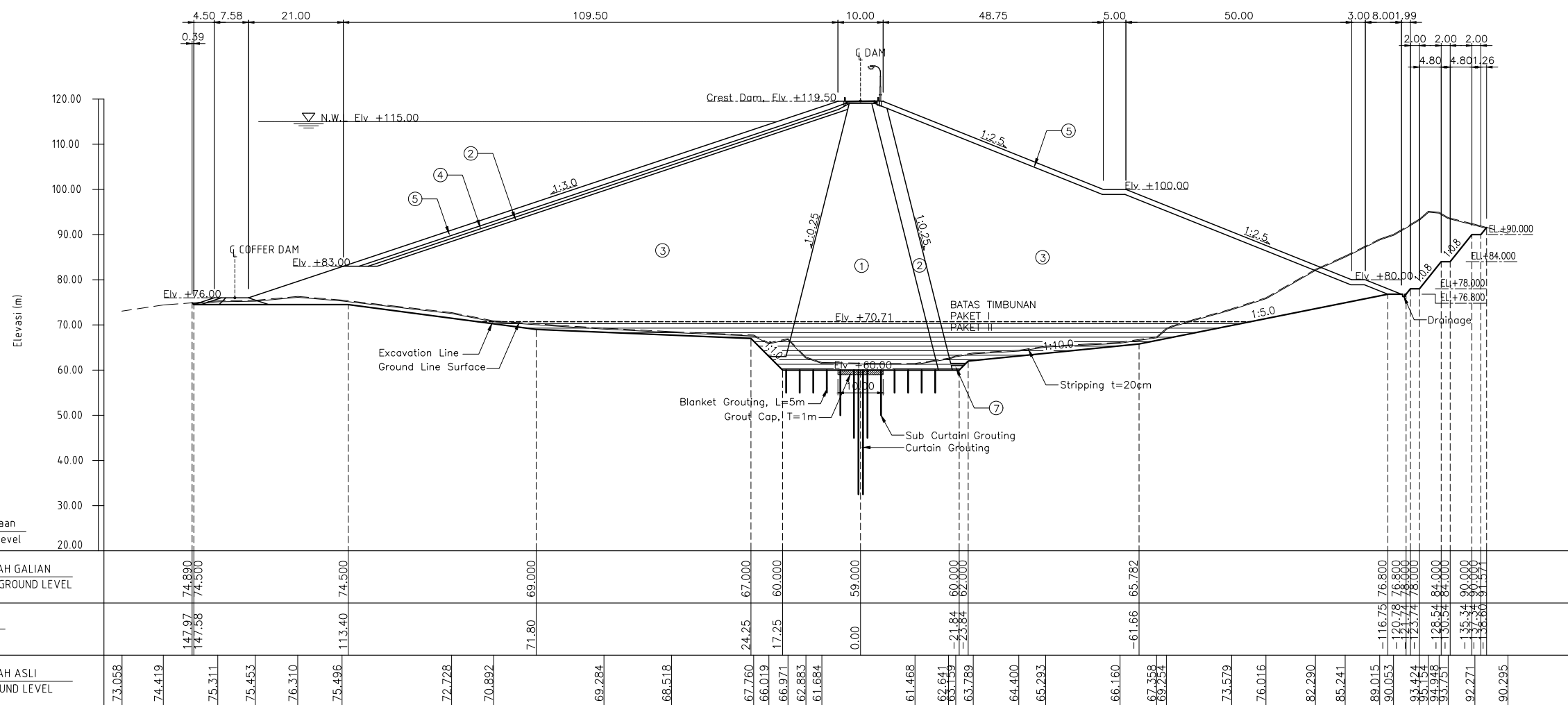
HERU MUKTI WIJAYA S.T.
 NIP. 198611192014021003

MENGETAHUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 PKP BENDUNGAN II

RINO ARI WIBOWO, S.T., M.Eng.
 NIP. 198205022008121002

NOMOR GAMBAR :
JRG1 - SDWG - DE - 006.W

SKALA :	UKURAN KERTAS :	NO. LEMBAR :
A	A3	24 / 40

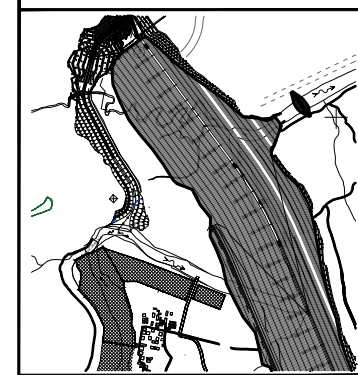


REMARK OF EMBANKMENT

1. ZONA ① = Impervious Core	5. ZONA ⑤ = Rock Rip-Rap (Max ϕ 100cm)
2. ZONA ② = Filter	6. ZONA ⑥ = Toe Drain
3. ZONA ③ = Random Material	7. ZONA ⑦ = Drain (Gravel ϕ 20-80mm)
4. ZONA ④ = Transition (Gravel ϕ 2.5cm)	

POTONGAN MELINTANG STA. 0+625
 Skala : A





PEMBERI TUGAS :
 KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
 DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR
 BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI PEMALI JUANA
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA

PEKERJAAN PEMBANGUNAN BENDUNGAN
 JRAGUNG PAKET I,
 KAB. SEMARANG

NOMOR KONTRAK :
 KU 03.01/Ao.8.2/IX/01
 TANGGAL : 25 SEPTEMBER 2020

KONSULTAN SUPERVISI :

 PT. RAYAKONSULT. KSO.
 PT. HILMY ANUGERAH, PT. TUAH AGUNG ANUGERAH,
 PT. CIRIAJASA ENGINEERING CONSULTANT

PENYEDIA JASA :

PT. WASKITA KARYA (Persero) Tbk.
 Jl. MT Haryono Kav. No.10,Cawang
 Jakarta 134340
 Telp. (021)8515521 - Fax. (031)8515509

JUDUL GAMBAR :
**CROSS SECTION MAINDAM
 STA. 0+675**

REV	CATATAN	TANGGAL
0	For Approval	08-04-2021
1	For Approval	11-07-2022

	NAMA	TTD	TANGGAL
Digambar oleh	Ghora Lautra D.		
Diperiksa oleh	Fandy Dwi H.		
Diperiksa oleh	Phonda Hertaman		

DIAJUKAN OLEH,
 PENYEDIA JASA

**ILHAM RUDIANTO, S.T.,
 MANAJER PROYEK**

MEMERIKSA / MENYETUJUI,
 KONSULTAN SUPERVISI

**CHANDRA ADRIAWAN, S.T., M.T.,
 KETUA TIM**

MENYETUJUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 KOORDINATOR DIREKSI LAPANGAN

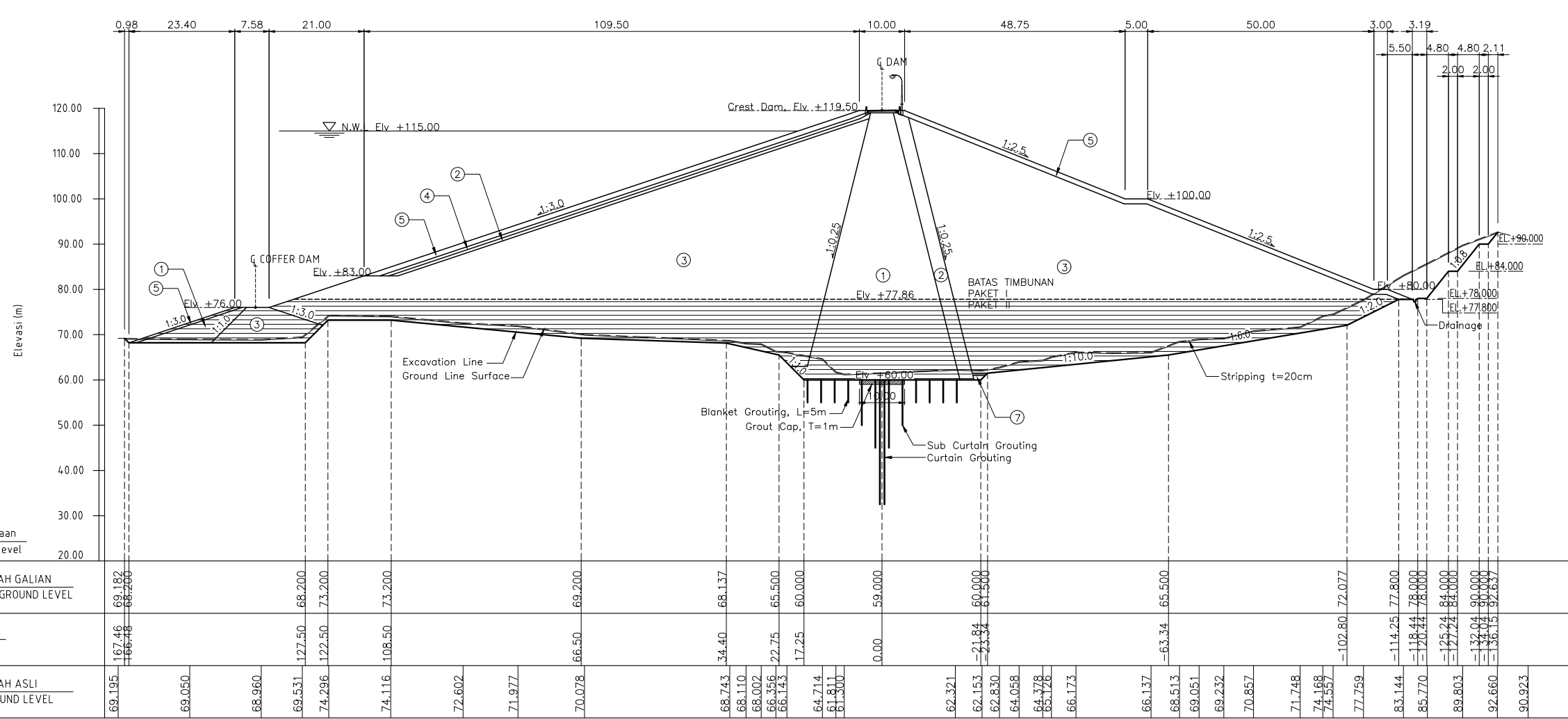
**HERU MUKTI WIJAYA S.T.,
 NIP. 198611192014021003**

MENGETAHUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 PKP BENDUNGAN II

**RINO ARI WIBOWO, S.T., M.Eng.,
 NIP. 198205022008121002**

NOMOR GAMBAR :
JRG1 - SDWG - DE - 006.Y

SKALA :	UKURAN KERTAS :	NO. LEMBAR :
A	A3	26 / 40

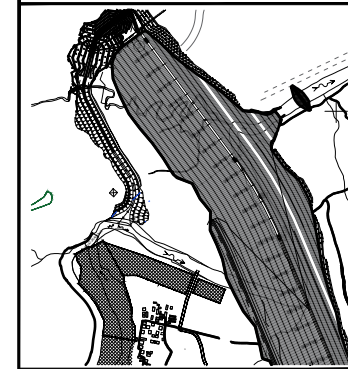


REMARK OF EMBANKMENT

1. ZONA ① = Impervious Core
 2. ZONA ② = Filter
 3. ZONA ③ = Random Material
 4. ZONA ④ = Transition (Gravel ϕ 2.5cm)
 5. ZONA ⑤ = Rock Rip-Rap (Max ϕ 100cm)
 6. ZONA ⑥ = Toe Drain
 7. ZONA ⑦ = Drain (Gravel ϕ 20-80mm)

POTONGAN MELINTANG STA. 0+675
 Skala : A





PEMBERI TUGAS :
 KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
 DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR
 BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI PEMALI JUANA
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA

PEKERJAAN PEMBANGUNAN BENDUNGAN
 JRAGUNG PAKET I,
 KAB. SEMARANG

NOMOR KONTRAK :
 KU 03.01/Ao.8.2/IX/01
 TANGGAL : 25 SEPTEMBER 2020

KONSULTAN SUPERVISI :

 PT. RAYAKONSULT. KSO.
 PT. HILMY ANUGERAH, PT. TUAH AGUNG ANUGERAH,
 PT. CIRIAJASA ENGINEERING CONSULTANT

PENYEDIA JASA :

PT. WASKITA KARYA (Persero) Tbk.
 Jl. MT Haryono Kav. No.10,Cawang
 Jakarta 134340
 Telp. (021)8515521 - Fax. (031)8515509

JUDUL GAMBAR :
**CROSS SECTION MAINDAM
 STA. 0+725**

REV	CATATAN	TANGGAL
0	For Approval	08-04-2021
1	For Approval	11-07-2022

	NAMA	TTD	TANGGAL
Digambar oleh	Ghora Lautra D.		
Diperiksa oleh	Fandy Dwi H.		
Diperiksa oleh	Phonda Hertaman		

DIAJUKAN OLEH,
 PENYEDIA JASA

ILHAM RUDIANTO, S.T.
 MANAJER PROYEK

MEMERIKSA / MENYETUJUI,
 KONSULTAN SUPERVISI

CHANDRA ADRIAWAN, S.T., M.T.
 KETUA TIM

MENYETUJUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 KOORDINATOR DIREKSI LAPANGAN

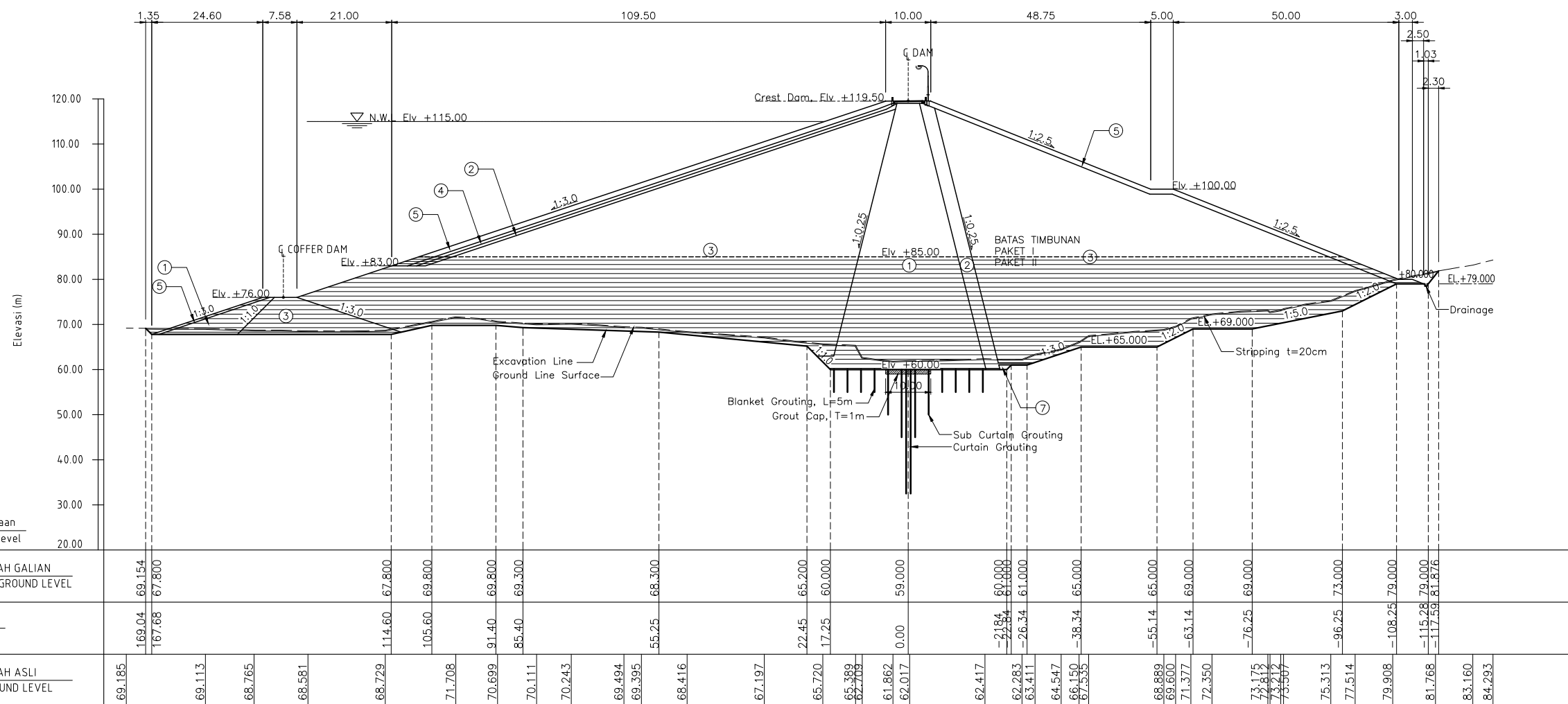
HERU MUKTI WIJAYA S.T.
 NIP. 198611192014021003

MENGETAHUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 PPK BENDUNGAN II

RINO ARI WIBOWO, S.T., M.Eng.
 NIP. 198205022008121002

NOMOR GAMBAR :
JRG1 - SDWG - DE - 006.AA

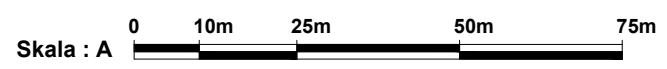
SKALA : A UKURAN KERTAS : A3 NO. LEMBAR : 28 / 40

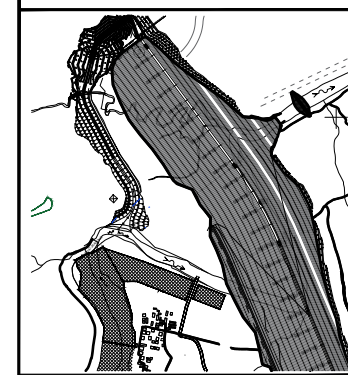


REMARK OF EMBANKMENT

1. ZONA ① = Impervious Core
 2. ZONA ② = Filter
 3. ZONA ③ = Random Material
 4. ZONA ④ = Transition (Gravel ϕ 2.5cm)
 5. ZONA ⑤ = Rock Rip-Rap (Max ϕ 100cm)
 6. ZONA ⑥ = Toe Drain
 7. ZONA ⑦ = Drain (Gravel ϕ 20-80mm)

POTONGAN MELINTANG STA. 0+725
 Skala : A





PEMBERI TUGAS :
 KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
 DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR
 BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI PEMALI JUANA
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA

PEKERJAAN PEMBANGUNAN BENDUNGAN
 JRAGUNG PAKET I,
 KAB. SEMARANG

NOMOR KONTRAK :
 KU 03.01/Ao.8.2/IX/01
 TANGGAL : 25 SEPTEMBER 2020

KONSULTAN SUPERVISI :

 PT. RAYAKONSULT. KSO.
 PT. HILMY ANUGERAH, PT. TUAH ANUGERAH,
 PT. CIRIAJASA ENGINEERING CONSULTANT

PENYEDIA JASA :

PT. WASKITA KARYA (Persero) Tbk.
 Jl. MT Haryono Kav. No.10, Cawang
 Jakarta 134340
 Telp. (021)8515521 - Fax. (031)8515509

JUDUL GAMBAR :
**CROSS SECTION MAINDAM
 STA. 0+775**

REV	CATATAN	TANGGAL
0	For Approval	08-04-2021
1	For Approval	11-07-2022

	NAMA	TTD	TANGGAL
Digambar oleh	Ghora Lautra D.		
Diperiksa oleh	Fandy Dwi H.		
Diperiksa oleh	Phonda Hertaman		

DIAJUKAN OLEH,
 PENYEDIA JASA

**ILHAM RUDIANTO, S.T.,
 MANAJER PROYEK**

MEMERIKSA / MENYETUJUI,
 KONSULTAN SUPERVISI

**CHANDRA ADRIAWAN, S.T., M.T.,
 KETUA TIM**

MENYETUJUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 KOORDINATOR DIREKSI LAPANGAN

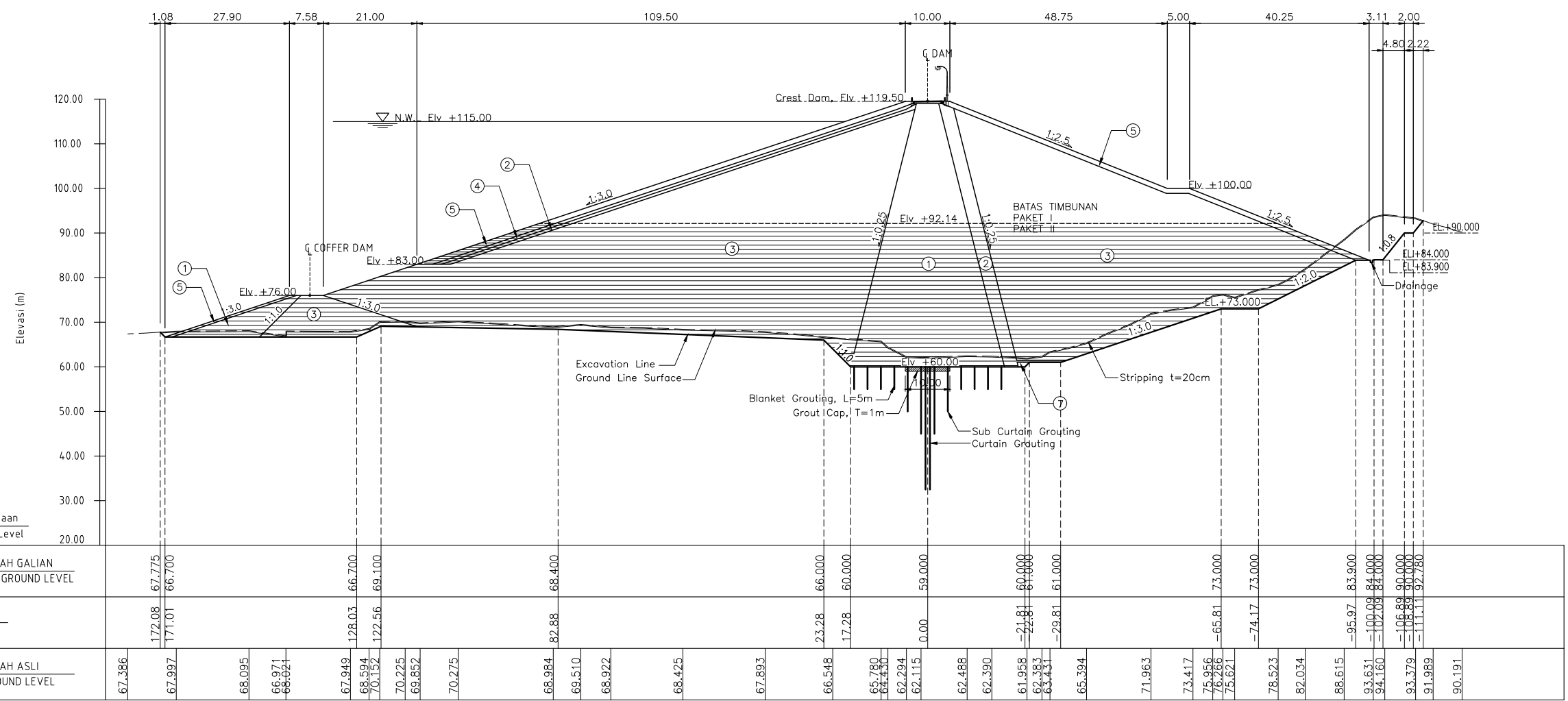
**HERU MUKTI WIJAYA S.T.,
 NIP. 198611192014021003**

MENGETAHUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 PPK BENDUNGAN II

**RINO ARI WIBOWO, S.T., M.Eng.,
 NIP. 198205022008121002**

NOMOR GAMBAR :
JRG1 - SDWG - DE - 006.AC

SKALA : A	UKURAN KERTAS : A3	NO. LEMBAR : 30 / 40
--------------	-----------------------	-------------------------

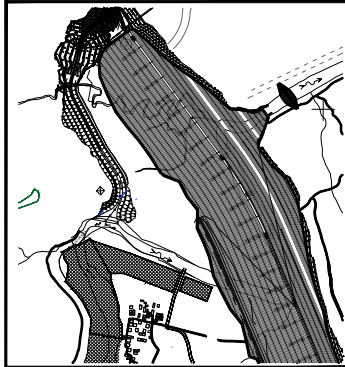


REMARK OF EMBANKMENT

1. ZONA ① = Impervious Core	5. ZONA ⑤ = Rock Rip-Rap (Max ϕ 100cm)
2. ZONA ② = Filter	6. ZONA ⑥ = Toe Drain
3. ZONA ③ = Random Material	7. ZONA ⑦ = Drain (Gravel ϕ 20-80mm)
4. ZONA ④ = Transition (Gravel ϕ 2.5cm)	

POTONGAN MELINTANG STA. 0+775
Skala : A





PEMBERI TUGAS :
 KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
 DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR
 BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI PEMALI JUANA
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA

PEKERJAAN PEMBANGUNAN BENDUNGAN
 JRAGUNG PAKET I,
 KAB. SEMARANG

NOMOR KONTRAK :
 KU 03.01/Ao.8.2/IX/01
 TANGGAL : 25 SEPTEMBER 2020

KONSULTAN SUPERVISI :

 PT. RAYAKONSULT. KSO.
 PT. HILMY ANUGERAH, PT. TUAH AGUNG ANUGERAH,
 PT. CIRIJASA ENGINEERING CONSULTANT

PENYEDIA JASA :

 PT. WASKITA KARYA (Persero) Tbk.
 Jl. MT Haryono Kav. No.10,Cawang
 Jakarta 134340
 Telp. (021)8515521 - Fax. (031)8515509

JUDUL GAMBAR :
**CROSS SECTION MAINDAM
 STA. 0+825**

REV	CATATAN	TANGGAL
0	For Approval	08-04-2021
1	For Approval	11-07-2022

	NAMA	TTD	TANGGAL
Digambar oleh	Ghora Lutra D.		
Diperiksa oleh	Fandy Dwi H.		
Diperiksa oleh	Phonda Hertaman		

DIAJUKAN OLEH,
 PENYEDIA JASA

ILHAM RUDIANTO, S.T.
 MANAJER PROYEK

MEMERIKSA / MENYETUJUI,
 KONSULTAN SUPERVISI

CHANDRA ADRIAWAN, S.T., M.T.
 KETUA TIM

MENYETUJUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 KOORDINATOR DIREKSI LAPANGAN

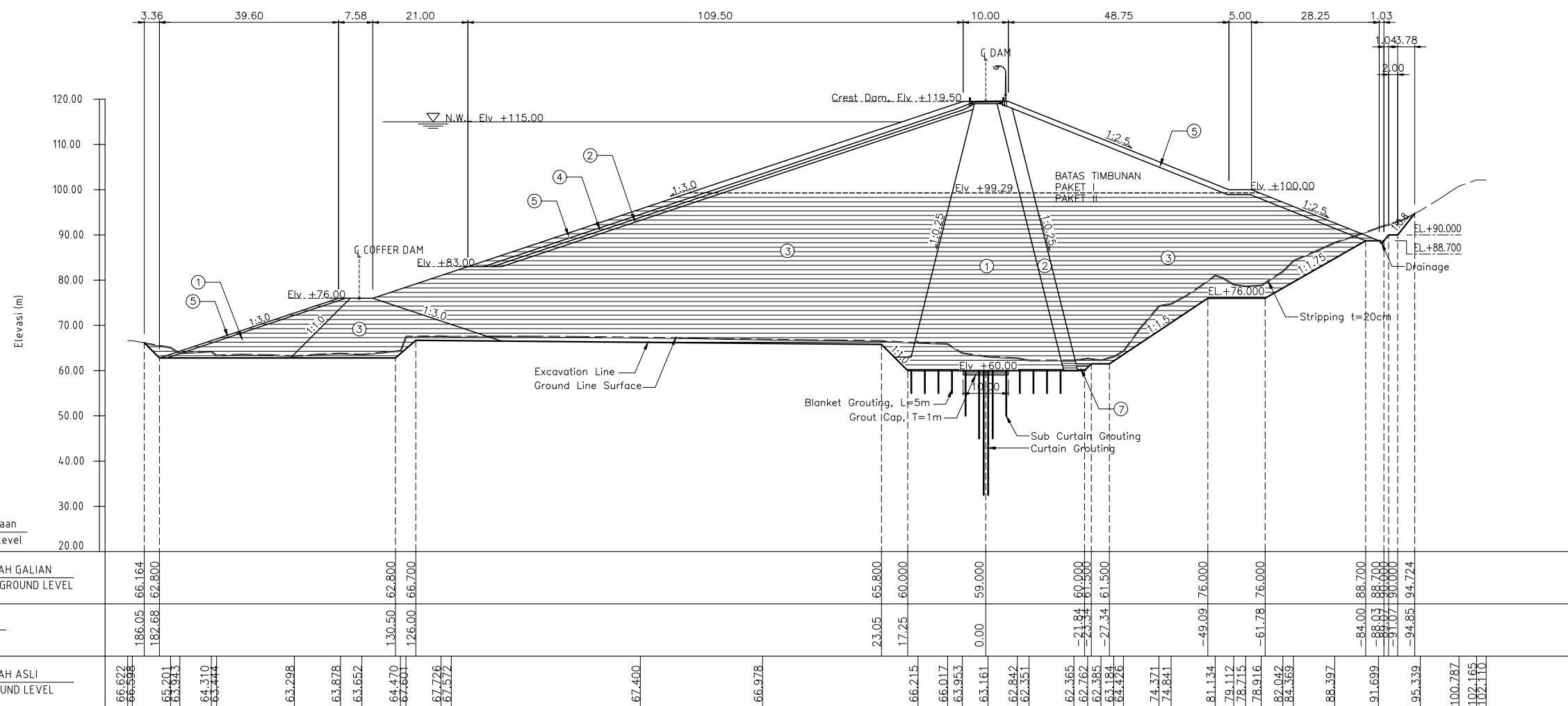
HERU MUKTI WIJAYA S.T.
 NIP. 198611192014021003

MENGETAHUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 PPK BENDUNGAN II

RINO ARI WIBOWO, S.T., M.Eng.
 NIP. 198205022008121002

NOMOR GAMBAR :
JRG1 - SDWG - DE - 006.AE

SKALA : A UKURAN KERTAS : A3 NO. LEMBAR : 32 / 40

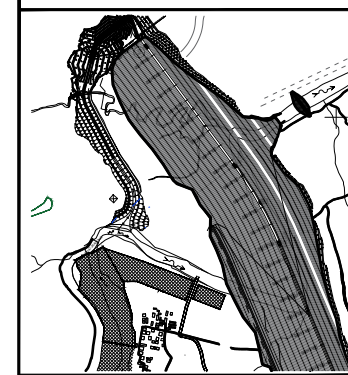


POTONGAN MELINTANG STA. 0+825
Skala : A



REMARK OF EMBANKMENT

1. ZONA ① = Impervious Core	5. ZONA ⑤ = Rock Rip-Rap (Max ϕ 100cm)
2. ZONA ② = Filter	6. ZONA ⑥ = Toe Drain
3. ZONA ③ = Random Material	7. ZONA ⑦ = Drain (Gravel ϕ 20-80mm)
4. ZONA ④ = Transition (Gravel ϕ 2.5cm)	



PEMBERI TUGAS :
 KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
 DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR
 BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI PEMALI JUANA
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA

PEKERJAAN PEMBANGUNAN BENDUNGAN
 JRAGUNG PAKET I,
 KAB. SEMARANG

NOMOR KONTRAK :
 KU 03.01/Ao.8.2/IX/01
 TANGGAL : 25 SEPTEMBER 2020

KONSULTAN SUPERVISI :

 PT. RAYAKONSULT. KSO.
 PT. HILMY ANUGERAH, PT. TUAH AGUNG ANUGERAH,
 PT. CIRIAJASA ENGINEERING CONSULTANT

PENYEDIA JASA :

PT. WASKITA KARYA (Persero) Tbk.
 Jl. MT Haryono Kav. No.10,Cawang
 Jakarta 134340
 Telp. (021)8515521 - Fax. (031)8515509

JUDUL GAMBAR :
**CROSS SECTION MAINDAM
 STA. 0+875**

REV	CATATAN	TANGGAL
0	For Approval	08-04-2021
1	For Approval	11-07-2022

	NAMA	TTD	TANGGAL
Digambar oleh	Ghora Lautra D.		
Diperiksa oleh	Fandy Dwi H.		
Diperiksa oleh	Phonda Hertaman		

DIAJUKAN OLEH,
 PENYEDIA JASA

ILHAM RUDIANTO, S.T.
 MANAJER PROYEK

MEMERIKSA / MENYETUJUI,
 KONSULTAN SUPERVISI

CHANDRA ADRIAWAN, S.T., M.T.
 KETUA TIM

MENYETUJUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 KOORDINATOR DIREKSI LAPANGAN

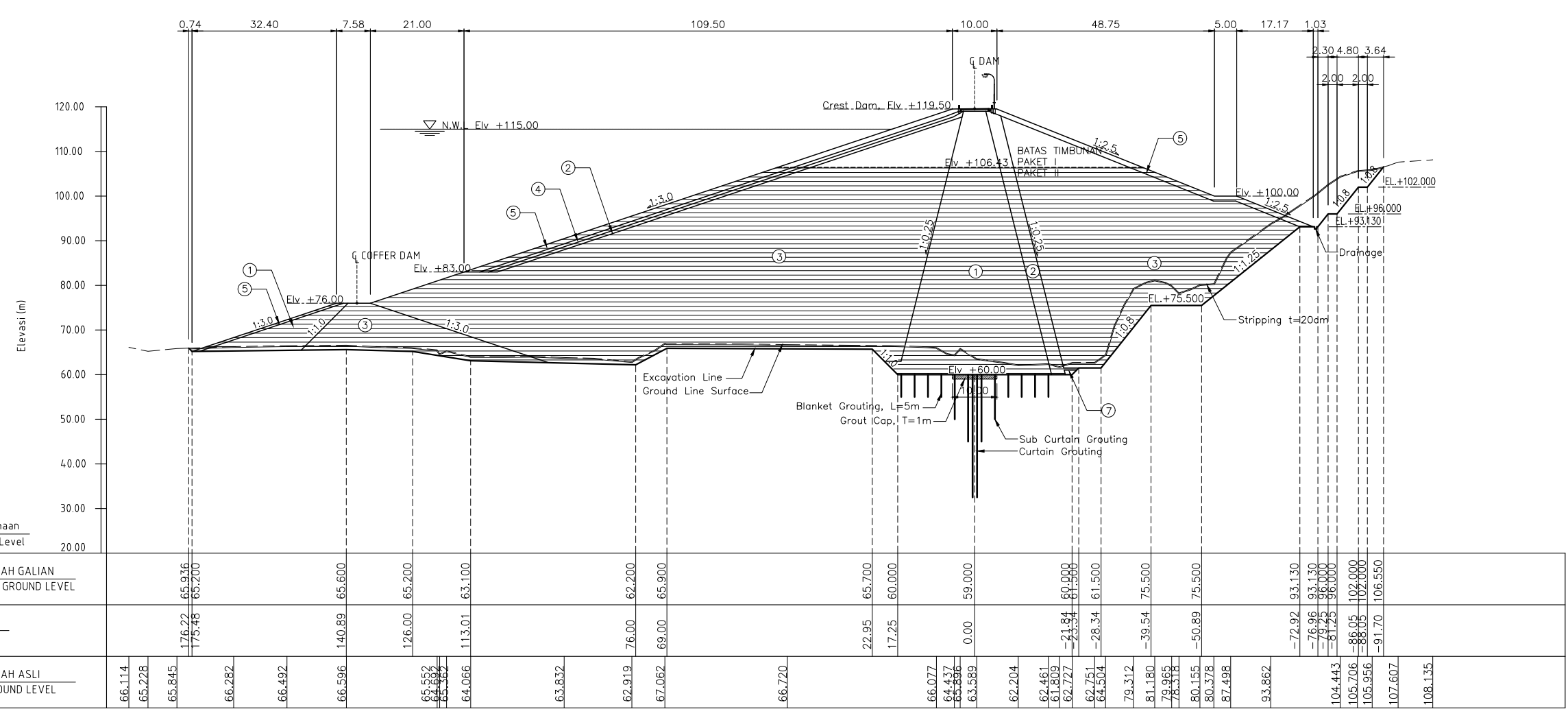
HERU MUKTI WIJAYA S.T.
 NIP. 198611192014021003

MENGETAHUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 PPK BENDUNGAN II

RINO ARI WIBOWO, S.T., M.Eng.
 NIP. 198205022008121002

NOMOR GAMBAR :
JRG1 - SDWG - DE - 006.AG

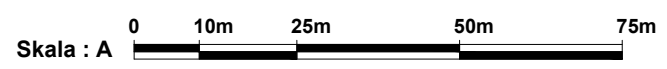
SKALA : A UKURAN KERTAS : A3 NO. LEMBAR : 34 / 40



Bidang Persamaan
 Reference Level

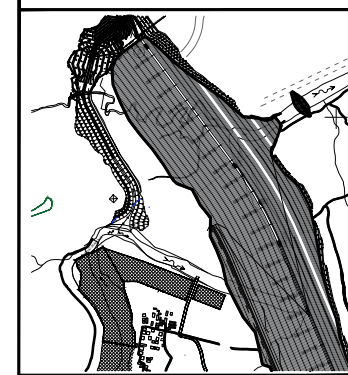
ELEVASI TANAH GALIAN EXCAVATION GROUND LEVEL	JARAK (m) DISTANCE (m)	ELEVASI TANAH ASLI ORIGINAL GROUND LEVEL
65.936	1.76.22	66.114
65.200	175.48	65.228
65.600	140.89	65.845
65.200	126.00	66.282
63.100	113.01	66.492
62.200	76.00	66.596
65.900	69.00	65.552
65.700	22.95	64.892
60.000	17.25	65.362
59.000	0.00	64.066
60.000	21.84	63.832
61.500	-23.34	62.919
75.500	-28.34	67.062
75.500	-39.54	66.720
75.500	-50.89	62.204
93.130	-72.92	62.461
93.130	-76.96	61.809
96.000	-79.25	62.727
96.000	-81.25	62.727
102.000	-86.05	62.751
102.000	-88.05	64.504
106.550	-91.70	79.312
		81.180
		79.965
		78.318
		80.155
		80.378
		87.498
		93.862
		104.443
		105.706
		105.956
		107.607
		108.135

POTONGAN MELINTANG STA. 0+875
 Skala : A



REMARK OF EMBANKMENT

1. ZONA ① = Impervious Core	5. ZONA ⑤ = Rock Rip-Rap (Max φ100cm)
2. ZONA ② = Filter	6. ZONA ⑥ = Toe Drain
3. ZONA ③ = Random Material	7. ZONA ⑦ = Drain (Gravel φ20-80mm)
4. ZONA ④ = Transition (Gravel φ2.5cm)	



PEMBERI TUGAS :
 KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
 DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR
 BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI PEMALI JUANA
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA

PEKERJAAN PEMBANGUNAN BENDUNGAN
 JRAGUNG PAKET I,
 KAB. SEMARANG

NOMOR KONTRAK :
 KU 03.01/Ao.8.2/IX/01
 TANGGAL : 25 SEPTEMBER 2020

KONSULTAN SUPERVISI :

 PT. RAYAKONSULT. KSO.
 PT. HILMY ANUGERAH, PT. TUAH AGUNG ANUGERAH,
 PT. CIRIJASA ENGINEERING CONSULTANT

PENYEDIA JASA :

PT. WASKITA KARYA (Persero) Tbk.
 Jl. MT Haryono Kav. No.10,Cawang
 Jakarta 134340
 Telp. (021)8515521 - Fax. (031)8515509

JUDUL GAMBAR :
**CROSS SECTION MAINDAM
 STA. 0+932.25**

REV	CATATAN	TANGGAL
0	For Approval	08-04-2021
1	For Approval	11-07-2022

	NAMA	TTD	TANGGAL
Digambar oleh	Ghora Lautra D.		
Diperiksa oleh	Fandy Dwi H.		
Diperiksa oleh	Phonda Hertaman		

DIAJUKAN OLEH,
 PENYEDIA JASA

ILHAM RUDIANTO, S.T.
 MANAJER PROYEK

MEMERIKSA / MENYETUJUI,
 KONSULTAN SUPERVISI

CHANDRA ADRIAWAN, S.T., M.T.
 KETUA TIM

MENYETUJUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 KOORDINATOR DIREKSI LAPANGAN

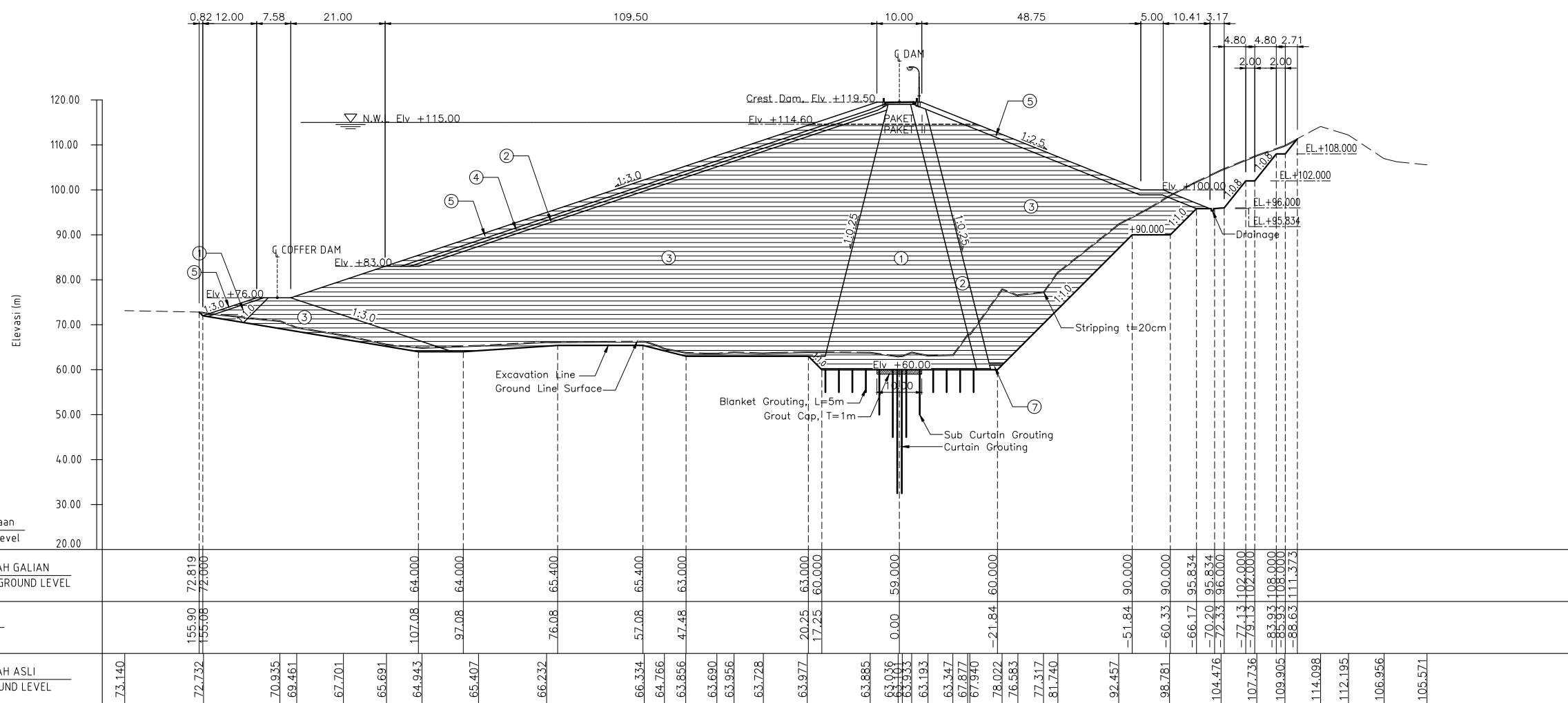
HERU MUKTI WIJAYA S.T.
 NIP. 198611192014021003

MENGETAHUI,
 SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS PEMALI JUANA
 PPK BENDUNGAN II

RINO ARI WIBOWO, S.T., M.Eng.
 NIP. 198205022008121002

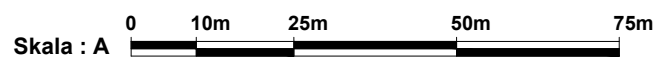
NOMOR GAMBAR :
JRG1 - SDWG - DE - 006.AI

SKALA : A
 UKURAN KERTAS : A3
 NO. LEMBAR : 36 / 40



POTONGAN MELINTANG STA. 0+932.25

Skala : A



REMARK OF EMBANKMENT

- 1. ZONA ① = Impervious Core
- 2. ZONA ② = Filter
- 3. ZONA ③ = Random Material
- 4. ZONA ④ = Transition (Gravel ϕ 2.5cm)
- 5. ZONA ⑤ = Rock Rip-Rap (Max ϕ 100cm)
- 6. ZONA ⑥ = Toe Drain
- 7. ZONA ⑦ = Drain (Gravel ϕ 20-80mm)

