

TUGAS AKHIR

PENANGGULANGAN BANJIR SUNGAI SERANG KABUPATEN BOYOLALI JAWA TENGAH (FLOOD MANAGEMENT OF SERANG RIVER BOYOLALI CENTRAL JAVA)

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Mochammad Fikri Firmansyah
18511286**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025**

TUGAS AKHIR

PENANGGULANGAN BANJIR SUNGAI SERANG KABUPATEN BOYOLALI JAWA TENGAH (FLOOD MANAGEMENT OF SERANG RIVER BOYOLALI CENTRAL JAVA)

Disusun Oleh

Mochammad Fikri Firmansyah
18511286

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

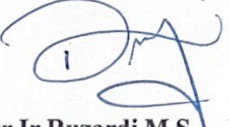
Diuji pada tanggal 6 Februari 2025

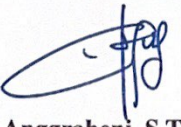
Oleh Dewan Penguji

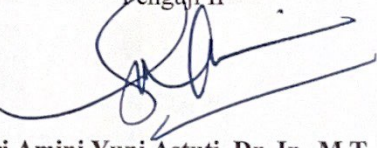
Pembimbing 25/02-21

Penguji 1 26/2-25

Penguji II


Dr. Ir. Ruzardi, M.S.
NIK: 855110102

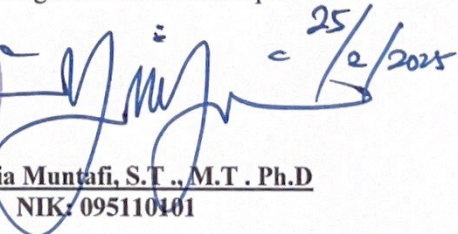

Dina Anggraheni, S.T., M.Eng.
NIK: 165110105


Sri Amini Yuni Astuti, Dr. Ir., M.T.
NIK: 885110101

Mengesahkan

Ketua Program Studi Teknik Sipil




Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 24 Februari 2025

Yang membuat pernyataan,



Mochammad Fikri Firmansyah

18511286

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kepada Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Penanggulangan Banjir Sungai Serang Kabupaten Boyolali Jawa Tengah*. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

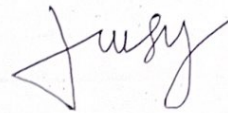
Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak Alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Ayah Moch. Silachoeddin (Alm), Bunda Tetty Christina dan Adik Mochammad Rafi Ramadhan yang selalu memberikan semangat serta doa sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
2. Bapak Ruzardi, Dr. Ir.,M.S. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
3. Ibu Noor Jannah dan Mba Ori dari PT Aztindo Rekaperdana yang telah membantu dan memberikan kesempatan dalam pengambilan data untuk membantu penyelesaian Tugas Akhir.
4. Bapak Shakti dan Mas Zainal dari Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak yang telah membantu dan memberikan masukan dalam penyusunan Tugas Akhir.
5. Adhyasta Ananta Pradana selaku sahabat saya yang memberikan motivasi dan nasihat kepada saya untuk segera menyelesaikan kuliah S1 saya.

Akhir kata, Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca Tugas Akhir ini.
Wassalammualaikum warahmatullah wabarakatuh.

Yogyakarta, 24 Februari 2025

Penulis,



Mochammad Fikri Firmansyah

18511286

DAFTAR ISI

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiv
ABSTRAK	xvi
<i>ABSTRACT</i>	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Masalah	2
1.6 Lokasi Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Penelitian Terdahulu.....	4
2.1.1 Analisis Hidrolika Aliran Sungai Bolifar dengan menggunakan HEC-RAS	4
2.1.2 Simulasi Komputasi Debit Sungai Takalla (Studi Kasus Dusun Takalla Kab. Sinjai)	5
2.1.3 Analisis Genangan Banjir Menggunakan Sistem Aplikasi HEC-RAS 5.0.7 (Studi Kasus sub-DAS Sungai Dengkeng)	6
2.2 Perbandingan Penelitian Terhadapulu	7
BAB III LANDASAN TEORI.....	11
3.1 Teori Hidrologi	11
3.1.1 Data Hujan	11
3.1.2 Hujan Wilayah	12
3.1.3 Pengujian Data.....	12

3.1.4	Paremeter Statistik	14
3.1.5	Hujan Jam–jaman	17
3.1.6	Hidrograf Satuan Sintetis.....	20
3.1.7	Banjir Rancangan.....	22
3.1.8	Aliran Dasar (<i>Baseflow</i>).....	22
3.2	Teori Hidrolika	23
3.3	HEC-RAS	26
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		27
4.1	Umum	27
4.2	Pengumpulan Data.....	27
4.3	Hidrologi.....	28
4.4	Hidrolika	28
4.5	Pemilihan Bangunan Dalam Penanggulangan Banjir.....	28
4.6	Bagan Alir Penelitian.....	28
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		30
5.1	Data Curah Hujan	30
5.2	Pengujian Data.....	31
5.2.1	Uji Konsistensi (RAPS)	31
5.2.2	Uji Outlier	34
5.2.3	Parameter Statistik	36
5.3	Data Tata Guna Lahan	40
5.4	Distribusi Hujan Jam-jaman	41
5.5	Analisis Debit Banjir Hidrograf Satuan Sintesis	44
5.6	Analisis Banjir Rancangan	50
5.7	Aliran Dasar (<i>Baseflow</i>)	50
5.7	Analisis Kapasitas dan Ketinggian Muka Air Sungai	56
5.8	Pemilihan Bangunan Dalam Penanggulangan Banjir.....	66
5.9	Pembahasan	71
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		72
6.1	Kesimpulan	72
6.2	Saran	73

DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN.....	76

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu	8
Tabel 3.1 Nilai Statistik Q dan R.....	12
Tabel 3.2 Nilai K_n untuk uji outlier	14
Tabel 3.3 Parameter statistik untuk menentukan jenis distribusi	16
Tabel 3.4 Klasifikasi Tekstur Tanah	18
Tabel 3.5 Nilai Jenis Tutupan Lahan	18
Tabel 3.6 Distribusi Hujan PSA 007	19
Tabel 3.7 Nilai kekasaran Manning (n).....	24
Tabel 5.1 Data Hujan Ground Station Metode Rata-Rata Aritmatik	30
Tabel 5.2 Uji Konsistensi (RAPS)	31
Tabel 5.3 Uji Outlier	34
Tabel 5.4 Pemilihan Distribusi Frekuensi	37
Tabel 5.5 Hasil Perhitungan Parameter Statistik Metode	38
Log Pearson Tipe III	38
Tabel 5.6 Curah Hujan Rancangan Distribusi Log Pearson III	39
Tabel 5.7 Data Tata Guna Lahan DAS Serang	41
Tabel 5.8 Hasil Perhitungan Penentuan Nilai <i>Curve Number</i> (CN)	41
Tabel 5.9 Hasil Perhitungan Curah Hujan Efektif	42
Tabel 5.10 Hasil Perhitungan Hujan Jam-jaman.....	43
Tabel 5.11 Hasil Perhitungan Ordinat Hidrograf Nakayasu	47
Tabel 5.12 Hasil Perhitungan Hidrograf Koreksi	50
Tabel 5.13 Analisis Banjir Rancangan Kala ulang 2 Tahun	53
Tabel 5.14 Hasil Analisis Debit Banjir Rancangan	56
Tabel 5.15 Tinggi Jagaan	67
Tabel 5.16 Lebar Puncak Tanggul	67
Tabel 6.1 Hasil perhitungan debit banjir dengan metode HSS	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Sungai Serang.....	3
Gambar 3.1 Lokasi Stasiun Hujan	11
Gambar 3.2 HSS Menurut Nakayasu	21
Gambar 3.3 Tampang Saluran.....	25
Gambar 4.1 Bagan Aliran Metode Analisis Hidrologi dan Hidrolika	29
Gambar 5.1 Peta Data Tata Guna Lahan DAS Serang.....	40
Gambar 5.2 Tampilan Menu Utama Program HEC-RAS.....	56
Gambar 5.3 Tampilan Pengisian Nama File Baru Program HEC-RAS.....	57
Gambar 5.4 Tampilan Skema Alur Sungai Program HEC-RAS	57
Gambar 5.5 Tampilan Input Data <i>Cross Section</i> Program HEC-RAS.....	58
Gambar 5.6 Tampilan Input Data Debit Rencana	58
Gambar 5.7 Tampilan Menu <i>Boundary Conditions</i> Program HEC-RAS	60
Gambar 5.8 Tampilan <i>Steady Flow Analysis</i> Program HEC-RAS	60
Gambar 5.9 Tampilan <i>Profile Summary Table</i> Program HEC-RAS	61
Gambar 5.10 Tampilan <i>RAS Mapper</i> Program HEC-RAS	61
Gambar 5.11 Tampilan <i>Profile Plot</i> Program HEC-RAS.....	62
Gambar 5.12 Tampilan <i>X-Y-Z Perspective Plot</i> Program HEC-RAS.....	62
Gambar 5.13 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.331	63
Gambar 5.14 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.332.....	64
Gambar 5.15 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.333.....	65
Gambar 5.16 Penentuan Sempadan Sungai	66
Gambar 5.16 Desain Tanggul Pada Cross Section P.331	68
Gambar 5.17 Desain Tanggul Pada Cross Section P.332	69
Gambar 5.18 Desain Tanggul Pada Cross Section P.333	70

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.1 Harga K untuk metode Log Pearson III.....	77
Lampiran 1.2 Hasil Analisis Banjir Rancangan Kala ulang 5 Tahun	78
Lampiran 1.3 Hasil Analisis Banjir Rancangan Kala ulang 10 Tahun	81
Lampiran 1.4 Hasil Analisis Banjir Rancangan Kala ulang 20 Tahun	84
Lampiran 1.5 Hasil Analisis Banjir Rancangan Kala ulang 50 Tahun	87
Lampiran 1.6 Profil Output Q10 <i>Steady Flow</i>	90
Lampiran 1.7 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.334	92
Lampiran 1.8 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.335	93
Lampiran 1.9 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.336	94
Lampiran 1.10 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.337	95
Lampiran 1.11 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.338	96
Lampiran 1.12 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.339	97
Lampiran 1.13 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.340	98
Lampiran 1.14 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.341	99
Lampiran 1.15 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.342	100
Lampiran 1.16 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.343	101
Lampiran 1.17 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.344	102
Lampiran 1.18 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.345	103
Lampiran 1.19 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.346	104
Lampiran 1.20 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.347	105
Lampiran 1.21 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.348	106
Lampiran 1.22 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.349	107
Lampiran 1.23 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.350	108
Lampiran 1.24 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.351	109
Lampiran 1.25 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.352	110
Lampiran 1.26 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.353	111
Lampiran 1.27 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.354	112
Lampiran 1.28 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.355	113
Lampiran 1.29 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.356	114

Lampiran 1.30 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.357	115
Lampiran 1.31 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.358	116
Lampiran 1.32 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.359	117
Lampiran 1.33 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.360	118
Lampiran 1.34 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.361	119
Lampiran 1.35 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.362	120
Lampiran 1.36 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.363	121
Lampiran 1.37 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.364	122
Lampiran 1.38 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.365	123
Lampiran 1.39 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.366	124
Lampiran 1.40 Desain Tanggul Pada Cross Section P.334.....	125
Lampiran 1.41 Desain Tanggul Pada Cross Section P.335.....	126
Lampiran 1.42 Desain Tanggul Pada Cross Section P.336.....	127
Lampiran 1.43 Desain Tanggul Pada Cross Section P.337.....	128
Lampiran 1.44 Desain Tanggul Pada Cross Section P.338.....	129
Lampiran 1.45 Desain Tanggul Pada Cross Section P.339.....	130
Lampiran 1.46 Desain Tanggul Pada Cross Section P.340.....	131
Lampiran 1.47 Desain Tanggul Pada Cross Section P.341.....	132
Lampiran 1.48 Desain Tanggul Pada Cross Section P.342.....	133
Lampiran 1.49 Desain Tanggul Pada Cross Section P.343.....	134
Lampiran 1.50 Desain Tanggul Pada Cross Section P.344.....	135
Lampiran 1.51 Desain Tanggul Pada Cross Section P.345.....	136
Lampiran 1.52 Desain Tanggul Pada Cross Section P.346.....	137
Lampiran 1.53 Desain Tanggul Pada Cross Section P.347.....	138
Lampiran 1.54 Desain Tanggul Pada Cross Section P.348.....	139
Lampiran 1.55 Desain Tanggul Pada Cross Section P.349.....	140
Lampiran 1.56 Desain Tanggul Pada Cross Section P.350.....	141
Lampiran 1.57 Desain Tanggul Pada Cross Section P.351.....	142
Lampiran 1.58 Desain Tanggul Pada Cross Section P.352.....	143
Lampiran 1.59 Desain Tanggul Pada Cross Section P.353.....	144
Lampiran 1.60 Desain Tanggul Pada Cross Section P.354.....	145
Lampiran 1.61 Desain Tanggul Pada Cross Section P.355.....	145

Lampiran 1.62 Desain Tanggul Pada Cross Section P.356.....	147
Lampiran 1.63 Desain Tanggul Pada Cross Section P.357.....	148
Lampiran 1.64 Desain Tanggul Pada Cross Section P.358.....	149
Lampiran 1.65 Desain Tanggul Pada Cross Section P.359.....	150
Lampiran 1.66 Desain Tanggul Pada Cross Section P.360.....	151
Lampiran 1.67 Desain Tanggul Pada Cross Section P.361.....	152
Lampiran 1.68 Desain Tanggul Pada Cross Section P.362.....	153
Lampiran 1.69 Desain Tanggul Pada Cross Section P.363.....	154
Lampiran 1.70 Desain Tanggul Pada Cross Section P.364.....	155
Lampiran 1.71 Desain Tanggul Pada Cross Section P.365.....	156
Lampiran 1.72 Desain Tanggul Pada Cross Section P.366.....	157

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

R	= Curah hujan rata-rata (mm)
$R_1, R_2, \dots, R_n$	= Curah hujan pada masing masing stasiun (mm)
n	= Jumlah stasiun hujan
Y_i	= Data hujan ke- i
$\bar{Y}$	= Data hujan rerata
S^*k	= Simpangan mutlak
$S^{**}k$	= Nilai konsistensi data
D_y	= Simpangan rata-rata
n	= Jumlah data
Q	= Nilai statistik Q untuk $0 \leq k \leq n$
R	= Nilai statistik (range)
X_H	= Batas outlier atas
X_L	= Batas outlier bawah
$\bar{X}$	= Nilai rata-rata dalam logaritma
K_n	= Koefisien outlier test berdasarkan jumlah sampel
S	= Simpangan baku dalam logaritma
S	= Standar deviasi
X_i	= Data curah hujan
$\bar{x}$	= Rerata curah hujan
C_v	= Koefisien Variasi
C_s	= Koefisien Kemiringan
C_k	= Koefisien Kurtosis
CN	= Curve Number
P_e	= Kedalaman Hujan Efektif (mm)
P	= Kedalaman Hujan (mm)
S	= Retensi potensial maksimum air tanah
T_p	= Waktu untuk mencapai puncak (jam)

T_g	= Time Lag yaitu waktu terjadinya hujan sampai terjadinya debit puncak (Jam)
T_r	= Satuan waktu curah hujan (Jam)
L	= Panjang sungai
Q_p	= Debit puncak banjir (m^3/det)
A	= Luas daerah pengaliran sampai outlet (km^2)
R_e	= Hujan efektif satuan (mm)
T_p	= Waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (Jam)
$T_{0,3}$	= Waktu penurunan debit, dari puncak sampai 30%
α	= Parameter hidrograf
α	= 2,0. Pada daerah pengaliran biasa
α	= 1,5. Pada bagian hidrograf lambat dan turun cepat
α	= 3,0. Pada bagian hidrograf cepat dan turun lambat
Q	= Debit (m^3/s)
A	= Luas Penampang aliran (m^2)
V	= Kecepatan aliran (m/s)
b	= Lebar dasar saluran
h	= Tinggi muka air dalam salura
m	= nilai sisi datar terhadap tinggi $h = 1$
n	= Koefisien kekasaran dinding saluran
k_s	= Kekasaran Strikler
P	= Keliling basah tampang saluran

ABSTRAK

Sungai Serang merupakan salah satu sungai yang terletak di Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah. Banjir yang terjadi Kabupaten Boyolali menggenangi beberapa kecamatan antara lain Ngemplak, Karanggede, Andong dan Nogosari. Penyebab terjadinya banjir pada daerah tersebut disebabkan oleh curah hujan tinggi. Karena sering terjadi banjir pada wilayah tersebut maka diperlukan upaya dalam penanggulangan banjir Sungai Serang.

Analisis hidrologi untuk perhitungan curah hujan rata-rata menggunakan metode rata-rata Aritmatik dengan data curah hujan maksimum didapatkan dari stasiun hujan Andong, Kemusu dan Karanggede. Pengujian data curah hujan menggunakan metode Uji Outlier dan Uji Konsistensi (RAPS). Berdasarkan pada perhitungan parameter statistik, distribusi frekuensi yang digunakan adalah distribusi Log pearson III dengan kala ulang 2, 5, 10, 20 dan 50 tahun. Distribusi hujan jam-jaman menggunakan metode PSA 007. Perhitungan Hidrograf Satuan Sintesis menggunakan metode Nakayasu. Analisis hidrolika menggunakan Program HEC-RAS dengan batasan wilayah hanya pada titik P.331 sampai dengan titik P.366 sepanjang 3,517 km.

Hasil dari analisis hidrologi, debit air Sungai Serang pada saat banjir dengan kala ulang 2 tahun sebesar 1230,529 m³/s, kala 5 tahun sebesar 1400,672 m³/s, kala ulang 10 tahun sebesar 1500,732 m³/s kala ulang 20 tahun sebesar 1589,788 m³/s, kala ulang 50 tahun debit sebesar 1697,560 m³/s. Hasil analisis hidrolika menggunakan program HEC-RAS, tinggi muka air pada kala ulang 2 tahun sebesar 144,16 m, kala 5 tahun sebesar 144,39 m, kala ulang 10 tahun sebesar 144,52 m, kala ulang 20 tahun sebesar 144,63 m, kala ulang 50 tahun sebesar 144,77 m dan terjadi banjir pada seluruh periode ulang, sehingga diperlukan perhatian khusus dalam pengelolaan sungai pada saat banjir.

Kata kunci: Banjir, Debit banjir, Tinggi muka air, HEC-RAS, Hidrologi, Hidrolika

ABSTRACT

The Serang River is a river located in Boyolali Regency, Central Java. The floods that occurred in Boyolali Regency inundated several sub-districts, including Ngemplak, Karanggede, Andong and Nogosari. The cause of flooding in this area is due to high rainfall. Because floods often occur in this area, efforts are needed to overcome Serang River flooding.

Hydrological analysis for calculating average rainfall uses the arithmetic average method with maximum rainfall data obtained from the Andong, Kemusu and Karanggede rain stations. Rainfall data testing uses the Outlier Test and Consistency Test (RAPS) method. Based on the calculation of statistical parameters, the frequency distribution used is the Log Pearson III distribution with return periods of 2, 5, 10, 20 and 50 years. Hourly rainfall distribution uses the PSA 007 method. Synthetic Unit Hydrograph calculations use the Nakayasu method. Hydraulic analysis uses the HEC-RAS Program with area limitations only at point P.331 to point P.366 for a length of 3,517 km.

The results of the hydrological analysis show that the water discharge of the Serang River during a flood with a return period of 2 years is 1230,529 m³/s, a return period of 5 years is 1400,672 m³/s, a return period of 10 years is 1500,732 m³/s, a return period of 20 years is 1589,788 m³/s, a return period of 50 years is 1697,560 m³/s. The results of hydraulic analysis using the HEC-RAS program show that the water level at the 2 year return period is 144.16 m, the 5 year return period is 144.39 m, the 10 year return period is 144.52 m, the 20 year return period is 144.63 m, the 50 year return period is 144.77 m and flooding occurs throughout the return period, so special attention is needed in river management during floods.

Keywords: Flood, Flood discharge, Water surface elevasiton, HEC-RAS, Hydrology, Hydraulics

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut Peraturan Pemerintah nomor 31 tahun 2011 tentang sungai, banjir adalah keadaan atau kejadian terendamnya suatu wilayah daratan akibat bertambahnya volume air. Beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya banjir, antara lain, kegagalan fungsi bangunan pengendalian banjir, peningkatan debit sungai, kapasitas tampang sungai berkurang dan perubahan tata guna lahan di daerah aliran sungai.

Sungai Serang terletak di Kabupaten Boyolali, Provinsi Jawa Tengah. Sungai Serang mempunyai panjang yaitu sekitar 133,17 km mengalir dari barat ke utara dan bermuara ke laut Jawa. Lokasi penelitian ini berada pada Sungai Serang di bagian hulu Bendungan Kedung Ombo, Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah. Dipilih nya Sungai Serang karena pada daerah sekitar sungai tersebut masih sering terjadi banjir. Peristiwa banjir terbaru terjadi pada tanggal 5 Februari 2024 yang menggenangi puluhan rumah di Wilayah Kemusu dengan variasi ketinggian 50 sampai 120 cm (fokusjateng.com 2024).

Banjir yang terjadi di Kabupaten Boyolali menggenangi beberapa kecamatan antara lain Kecamatan Ngemplak, Kecamatan Karanggede, Kecamatan Andong dan Kecamatan Nogosari. Penyebab terjadinya banjir pada daerah tersebut disebabkan oleh curah hujan tinggi. Oleh karena itu sungai tidak bisa menampung air hujan. Akibat nya sejumlah rumah tergenang banjir dan sebuah jembatan terputus akibat banjir. Karena sering terjadi banjir pada wilayah tersebut maka dilakukan penelitian ini yang bertujuan sebagai upaya dalam penanggulangan banjir Sungai Serang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah untuk penelitian ini yaitu :

1. Berapakah perkiraan tinggi muka air Sungai Serang pada saat banjir pada kala ulang 2, 5, 10, 20 dan 50 tahun.
2. Bagaimana upaya dalam penanggulangan banjir pada daerah tersebut.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian yang berjudul Pemodelan Banjir Sungai Serang Jawa Tengah adalah sebagai berikut:

1. Mementukan perkiraan tinggi muka air Sungai Serang pada saat banjir pada kala ulang 2, 5, 10, 20 dan 50 tahun.
2. Menentukan bangunan penanggulangan banjir yang sesuai pada Sungai Serang.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini sebagai bahan informasi bagi pemerintah Kabupaten Boyolali dan masyarakat yang bermukim di sekitar bantaran Sungai Serang dalam penanggulangan banjir.

1.5 Batasan Masalah

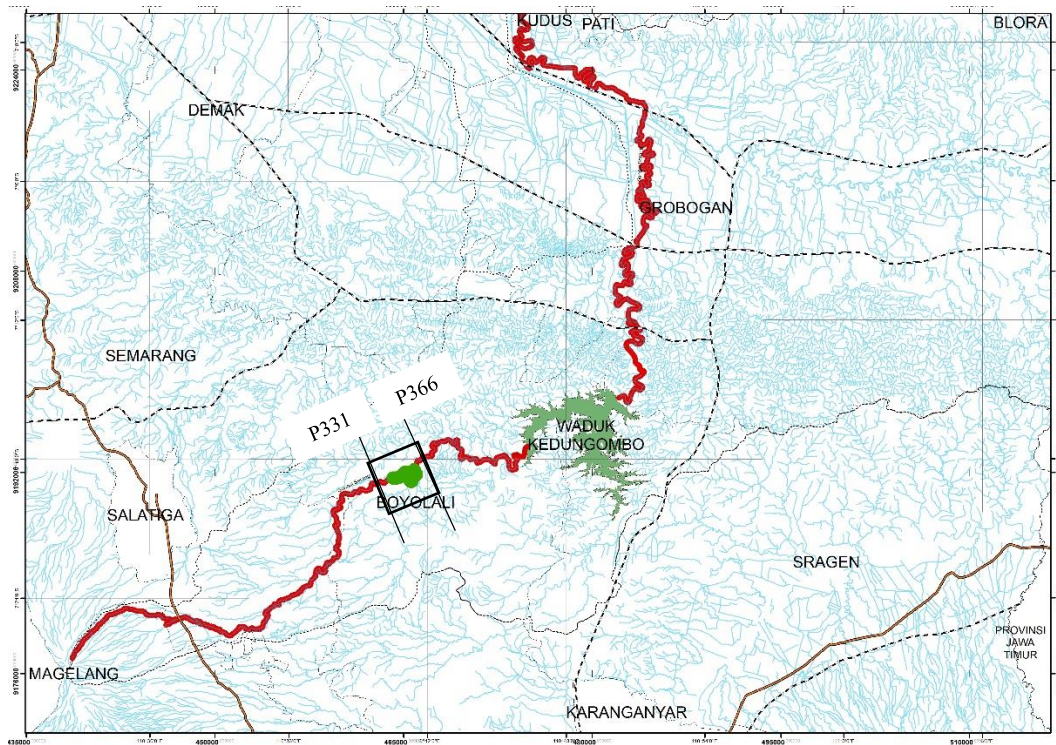
Dalam menyusun penelitian ini, terdapat batasan masalah agar hasil dari penelitian ini tidak menyimpang dari judul penelitian yang telah ditetapkan, sehingga memudahkan dalam mencapai tujuan dari penelitian yang dilakukan. Berikut adalah batasan masalah pada penelitian :

1. Lokasi penelitian terletak pada Sungai Serang di bagian hulu Bendungan Kedung Ombo, Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah.
2. Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu data curah hujan 23 tahun, dari tahun 2001 sampai dengan tahun 2023.
3. Analisis debit banjir rencana dengan kala ulang 2, 5, 10, 20 dan 50 tahun.
4. Stasiun hujan yang digunakan ada 3 stasiun : Stasiun Andong, Stasiun Karanggede dan Stasiun Kemusu.

5. Tinjauan kawasan banjir sungai serang yang diteliti hanya dari titik P.331 sampai dengan titik P.366 sepanjang 3,517 km.

1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian Pemodelan Banjir Sungai Serang Jawa Tengah berada pada sungai serang dibagian hulu bendungan Kedung Ombo, Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah. Daerah kawasan banjir dapat dilihat pada **Gambar 1.1** dibawah ini.



Gambar 1.1 Peta Sungai Serang

(Sumber: ArcGIS Konsultan PT Aztindo Rekaperdana, 2021)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu bertujuan untuk memberikan gambaran serta referensi yang berguna untuk memperdalam pemahaman mengenai masalah yang dihadapi di lapangan. Penelitian terdahulu dapat dijadikan sebagai bahan perbandingan antara penelitian yang sudah dilakukan dengan penelitian yang akan dilaksanakan. Pemilihan penelitian yang akan dibandingkan dalam tinjauan pustaka ini bersumber dari skripsi atau jurnal.

Pada pembahasan ini, berbagai studi yang telah dilakukan sebelumnya memperlihatkan adanya kesamaan dan perbedaan, baik dari metode yang digunakan, lokasi penelitian, maupun masalah yang dihadapi. Berikut adalah beberapa penelitian terdahulu yang digunakan dalam penelitian ini.

2.1.1 Analisis Hidrolika Aliran Sungai Bolifar dengan menggunakan HEC-RAS

Andi Muhammad Aliansyah (2017) menyatakan bahwa latar belakang pada penelitian ini karena banjir yang terjadi setiap tahun pada Sungai Bolifar. Sungai Bolifar adalah Salah satu sungai yang mengalir melalui wilayah timur Pulau Seram yang berada di Provinsi Maluku. Sungai Bolifar terletak di kawasan di mana sebagian besar lahan di sekitar saluran air sudah dikembangkan menjadi kawasan pemukiman, seperti yang terjadi di banyak kota di Indonesia. Jika terjadi banjir yang meluap, hal ini sangat berbahaya. Hampir setiap tahun, sungai Bolifar mengalami banjir. Hal ini terjadi saat hujan lebat dan berkepanjangan. Peneliti ingin menurunkan risiko banjir serta meningkatkan pemahaman tentang lokasi tepian sungai. Informasi ini akan dimanfaatkan oleh Pemerintah Kabupaten Seram Timur dalam menyusun rencana penanggulangan banjir.

Dalam analisis hidrologi langkah awal yang harus dilakukan adalah mengolah data curah hujan yang telah ada. Data harian hujan diperoleh dari data BMKG Stasiun Geser Seram Bagian Timur dari tahun 2007 sampai dengan 2016. Setelah itu menentukan parameter statistik (S_d , C_s , C_k , dan C_v) untuk memilih metode distribusi frekuensi curah hujan yang sesuai. Distribusi frekuensi curah hujan yang dimaksud dalam hal ini adalah metode normal, log normal, log person tipe III, dan gumbel tipe I. Setelah diperoleh satu metode distribusi frekuensi curah hujan yang sesuai kriteria, langkah selanjutnya adalah menguji keakuratan hasil dari metode tersebut dengan menggunakan metode Chi Kuadrat dan mencari distribusi hujan jam-jaman dengan menggunakan metode mononobe. Untuk perhitungan tinggi muka air menggunakan program HEC-RAS.

Berdasarkan hasil analisis hidrologi yang telah dilakukan, dapat diketahui debit banjir Sungai Bolifar, kala ulang Q2 Tahun = 341,446 m³/detik, Q5 Tahun = 433,956 m³/detik, Q10 Tahun = 486,583 m³/detik, dan Q25 Tahun = 521,211 m³/detik. Dari analisis hidrolika aliran pada ruas penampang Sungai Bolifar di Program HEC-RAS diperoleh suatu hasil bahwa ditemukan luapan banjir pada beberapa tempat melebihi ketinggian tebing sungai yang ada di sepanjang kiri dan kanan sungai, sedangkan pada kondisi debit normal menimbulkan alur sungai yang menjalin.

2.1.2 Simulasi Komputasi Debit Sungai Takalla (Studi Kasus Dusun Takalla Kab. Sinjai)

Armila dan Muhammad Nur Akbar (2021) menyatakan bahwa latar belakang penelitian ini karena banjir pada Sungai Takalla yang selalu terjadi setiap tahun. Sungai Takalla Salah satu sungai di Kab. Sinjai yaitu Sungai Takalalla yang bermuara di Selat Bone. Banjir di Sungai Takalalla merupakan permasalahan berulang yang tidak pernah hilang. Banjir bandang yang terjadi di tahun 2016 yaitu kejadian banjir terparah. Banyak rumah yang hancur akibat banjir, dan penghuninya mengalami kerugian besar baik berupa kebun, ternak, maupun sawah yang siap dipanen. Karena kemiringannya yang sangat curam dan dangkal, Sungai Takalalla tidak bisa menahan debit banjir yang terjadi yang menyebabkan aliran air mengikis

tebing sungai di dekatnya dan mengakibatkan perluasan sungai secara besar-besaran. Selain melebarkan sungai, luapan air juga menggenangi masyarakat lainnya, khususnya di wilayah Desa Sinjai, Kecamatan Muara. Hal ini berdampak signifikan karena pasang surut Teluk Bone juga memberikan pengaruh terhadap wilayah tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai debit banjir Sungai Takalla.

Analisis curah hujan rencana dihitung dengan menggunakan metode Log Pearson III. Untuk menghitung debit banjir sungai Takalalla ini digunakan data curah hujan di stasiun Arango, Apparang III, dan Sangkala dengan periode pencatatan tahun 1999 s/d 2018. Untuk perhitungan debit banjir menggunakan program HEC-HMS dan untuk perhitungan tinggi muka air menggunakan program HEC-RAS.

Dari hasil analisis, debit banjir rencana dengan berbagai kala ulang menggunakan program HEC-HMS memberikan hasil yang beragam. Dan untuk hasil tinggi muka air yang menggunakan program HEC-RAS pada kala ulang 2, 5, 10, 20, 25 dan 50 tahun cenderung terjadi luapan di sisi kiri sungai, sehingga pada kondisi eksisting sungai tidak dapat menampung debit banjir yang ada.

2.1.3 Analisis Genangan Banjir Menggunakan Sistem Aplikasi HEC-RAS

5.0.7 (Studi Kasus sub-DAS Sungai Dengkeng)

Tedi Irawan, Zainul Faizein Haza dan Lilik Hendro Widaryanto (2017) menyatakan bahwa latar belakang penelitian ini karena banjir yang terjadi setiap tahun pada Sungai Dengkeng. Sungai Dengkeng meluap pada awal musim hujan hampir setiap tahun. Pada tanggal 29 November 2017, Sungai Dengkeng mengalami banjir terparah yang menggenangi pemukiman dan tanaman padi. Perancangan sistem pengendalian banjir yang fungsional dan terintegrasi diperlukan untuk mengurangi risiko dan frekuensi kejadian banjir. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui banjir yang diakibatkan meluapnya Sungai Dengkeng.

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis genangan banjir yang diakibatkan oleh luapan sungai Dengkeng menggunakan sistem aplikasi HEC-RAS

5.0.7 pada tanggal 28 November sampai dengan 2 Desember 2017. Data DEM (Digital Elevation modelling) diperoleh dari DATA DEMNAS kemudian diproyeksikan menjadi koordinat UTM menggunakan Global Mapper dan data debit sungai diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo. Luasan genangan banjir diperoleh dengan mengexport layer static meliputi (Layer Deepth, layer velocity, layer Water surface elevation) pada kondisi debit maksimal dalam bentuk KML dan dihitung menggunakan software Google Eart Pro dengan pengukuran polygon.

Hasil analisis di dusun Sarimulyo, Karangjoho, Karangdowo diperoleh tinggi genangan sebesar 0,034 sampai 3,204 meter dengan kecepatan sebesar 0,115 sampai 1,521 m/d. Di dusun Lembuputih, Karangjoho, Karangdowo tinggi genangan sebesar 0,282 sampai 2,054 meter dengan kecepatan 0,08 sampai 0,612 m/d. Di dusun Sawah, Babadan, Karangdowo tinggi genangan sebesar 0,698 sampai 2,698 meter dengan kecepatan 0,698 sampai 1,153 m/d. Di dusun Satu, Majasto, Tawangsari tinggi genangan sebesar 0,18 sampai 2,539 meter dengan kecepatan 0,07 sampai 0,254 m/d. Hasil Pemetaan genangan banjir untuk luasan genangan banjir di Kecamatan Karangdowo sebesar 124,72 ha dan di Kecamatan Tawangsari sebesar 30,89 ha.

2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Berikut adalah perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian dalam penelitian bisa dilihat di **Tabel 2.1** berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

No	Referensi	Metode Penelitian	Hasil
1	Andi Muhammad Aliansyah (2017), Analisis Hidrolika Aliran Sungai Bolifar dengan menggunakan HEC-RAS	Dalam analisis hidrologi langkah awal yang harus dilakukan adalah mengolah data curah hujan yang telah ada. Data harian hujan diperoleh dari data BMKG Stasiun Geser Seram Bagian Timur dari tahun 2007 sampai dengan 2016. Setelah itu menentukan parameter statistik (S_d , C_s , C_k , dan C_v) untuk memilih metode distribusi frekuensi curah hujan yang sesuai. Distribusi frekuensi curah hujan yang dimaksud dalam hal ini adalah metode normal, log normal, log person tipe III, dan gumbel tipe I. Setelah diperoleh satu metode distribusi frekuensi curah hujan yang sesuai kriteria, langkah selanjutnya adalah menguji keakuratan hasil dari metode tersebut dengan menggunakan metode Chi Kuadrat dan mencari distribusi hujan jam-	Berdasarkan hasil analisis hidrologi yang telah dilakukan, dapat diketahui debit banjir Sungai Bolifar, kala ulang Q2 Tahun = 341,446 m ³ /detik, Q5 Tahun = 433,956 m ³ /detik, Q10 Tahun = 486,583 m ³ /detik, dan Q25 Tahun = 521,211 m ³ /detik. Dari analisis hidrolika aliran pada ruas penampang Sungai Bolifar di Program HEC-RAS dengan kala ulang 2, 5, 10 dan 25 tahun diperoleh suatu hasil bahwa ditemukan luapan banjir pada beberapa tempat melebihi ketinggian tebing sungai yang ada di sepanjang kiri dan kanan sungai, sedangkan pada kondisi debit normal menimbulkan alur sungai yang menjalin.

		jaman dengan menggunakan metode mononobe. Untuk perhitungan tinggi muka air menggunakan program HEC-RAS.	
2	Armila dan Akbar, Muhammad Nur (2021), Simulasi Komputansi Debit Sungai Takalla (Studi Kasus Dusun Takalalla Kabupaten Sinjai)	Analisis curah hujan rencana dihitung dengan menggunakan metode Log Pearson III. Untuk menghitung debit banjir sungai Takalalla ini digunakan data curah hujan di stasiun Arango, Apparang III, dan Sangkala dengan periode pencatatan tahun 1999 s/d 2018. Untuk perhitungan debit banjir menggunakan program HEC-HMS dan untuk perhitungan tinggi muka air menggunakan program HEC-RAS.	Dari hasil analisis, debit banjir rencana dengan berbagai kala ulang menggunakan program HEC-HMS memberikan hasil yang beragam, Q2 Tahun = 271 m ³ /detik, Q5 Tahun = 328,9 m ³ /detik, Q10 Tahun = 423,4 m ³ /detik, Q25 Tahun = 549,3 m ³ /detik dan Q50 tahun = 659,2 m ³ /detik. Dan untuk hasil tinggi muka air yang menggunakan program HEC-RAS pada kala ulang 2, 5, 10, 25 dan 50 tahun cenderung terjadi luapan di sisi kiri sungai, sehingga pada kondisi eksisting sungai tidak dapat menampung debit banjir yang ada.
3	Tedi Irawan, Zainul Faizien Haza dan Lilik Hendro Widaryanto (2017) Analisis	Metode Penelitian yang digunakan adalah menggunakan sistem aplikasi HEC-RAS 5.0.7 pada tanggal 28 November sampai	Hasil analisis di dusun Sarimulyo, Karangjoho, Karangdowo diperoleh tinggi genangan sebesar 0,034 sampai 3,204 meter

	Genangan Banjir Menggunakan Sistem Aplikasi HEC-RAS 5.0.7 (Studi Kasus sub-DAS Sungai Dengkeng)	dengan 2 Desember 2017. Data DEM (Digital Elevation modelling) diperoleh dari DATA DEMNAS kemudian diproyeksikan menjadi koordinat UTM menggunakan Global Mapper dan data debit sungai diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo. Luasan genangan banjir diperoleh dengan mengexport layer static meliputi (Layer Depth, layer velocity, layer Water surface elevation) pada kondisi debit maksimal dalam bentuk KML dan dihitung menggunakan software Google Eart Pro dengan pengukuran polygon.	dengan kecepatan sebesar 0,115 sampai 1,521 m/d. Di dusun Lembuputih, Karangjoho, Karangdowo tinggi genangan sebesar 0,282 sampai 2,054 meter dengan kecepatan 0,08 sampai 0,612 m/d. Di dusun Sawah, Babadan, Karangdowo tinggi genangan sebesar 0,698 sampai 2,698 meter dengan kecepatan 0,698 sampai 1,153 m/d. Di dusun Satu, Majasto, Tawangsari tinggi genangan sebesar 0,18 sampai 2,539 meter dengan kecepatan 0,07 sampai 0,254 m/d. Hasil Pemetaan genangan banjir untuk luasan genangan banjir di Kecamatan Karangdowo sebesar 124,72 ha dan di Kecamatan Tawangsari sebesar 30,89 ha
--	--	--	--

BAB III

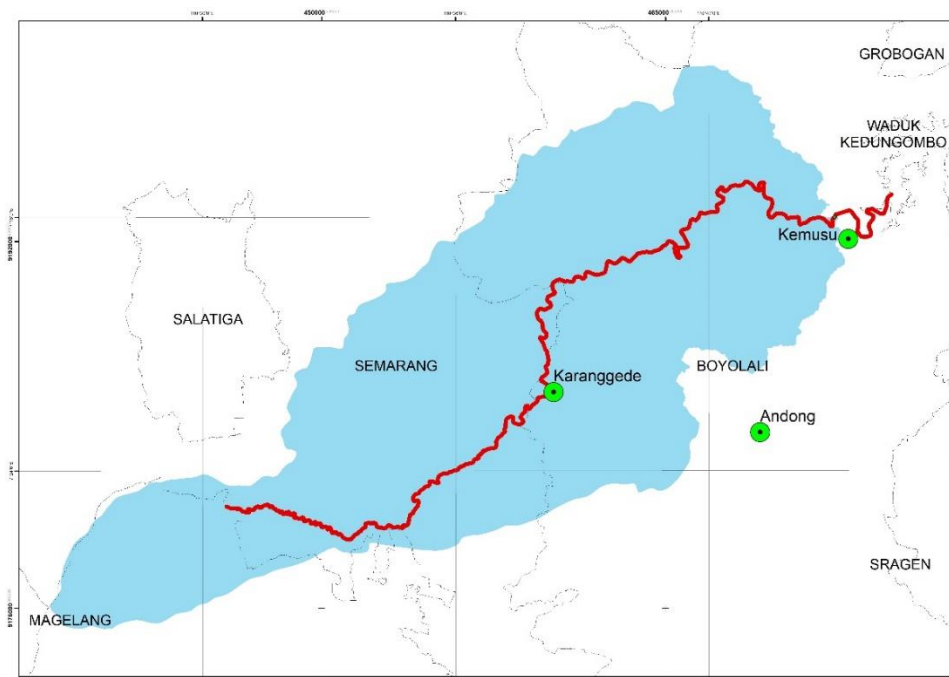
LANDASAN TEORI

3.1 Teori Hidrologi

Hidrologi yaitu suatu metode digunakan untuk memperkirakan besaran air hujan yang terjadi di suatu wilayah. Analisis Hidrologi berguna dalam mencari besaran air hujan yang terjadi pada wilayah tersebut.

3.1.1 Data Hujan

Sebelum melakukan analisis hidrologi hal pertama yang harus dilakukan yaitu menentukan lokasi stasiun hujan. Tujuan dari menentukan lokasi stasiun hujan adalah untuk mengetahui stasiun hujan mana saja yang mempengaruhi wilayah penelitian. Pada lokasi penelitian terdapat 3 stasiun hujan yaitu Stasiun Andong, Karanggede dan Kemusu. Lokasi stasiun hujan dapat dilihat pada **Gambar 3.1** sebagai berikut.



Gambar 3.1 Lokasi Stasiun Hujan

(Sumber: ArcGIS Konsultan PT Aztindo Rekaperdana, 2021)

3.1.2 Hujan Wilayah

Metode perhitungan hujan wilayah yang dipakai pada penelitian ini yaitu metode rata-rata aritmatik. Metode rata-rata aritmatik dipakai dalam menghitung besaran rata-rata curah hujan dari stasiun hujan yang mewakili wilayah nya. Jumlah stasiun yang digunakan adalah 3 stasiun. Berikut adalah persamaan metode rata-rata aritmatik.

$$R = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{n} \quad (3.1)$$

Dengan :

R = Curah hujan rata-rata (mm)

$R_1, R_2, \dots, R_n$ = Curah hujan pada masing masing stasiun (mm)

n = Jumlah stasiun hujan

3.1.3 Pengujian Data

Setelah didapatkan data hujan data tersebut akan di uji apakah data hujan tersebut dapat digunakan ataupun tidak. Pengujian yang dilakukan yaitu uji konsistensi *Rescaled Adjusted Partial Sum* (RAPS) dan uji *Outlier*.

1. Uji Konsistensi Data

Pengujian konsistensi data hujan dianggap benar dan teliti jika data sesuai dengan fenomena saat hujan terjadi dan memenuhi persyaratan konsistensi data. Nilai syarat uji konsistensi data dapat dilihat pada **Tabel 3.1** dibawah ini.

Tabel 3.1 Nilai Statitik Q dan R

N	$\frac{Q}{\sqrt{n}}$			$\frac{R}{\sqrt{n}}$		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1,05	1,14	1,24	1,21	1,28	1,38
20	1,10	1,22	1,42	1,34	1,43	1,60
30	1,12	1,24	1,46	1,40	1,50	1,70
40	1,13	1,26	1,50	1,42	1,53	1,74
50	1,14	1,27	1,52	1,44	1,55	1,78
100	1,17	1,29	1,55	1,50	1,62	1,86
≈	1,22	1,36	1,63	1,62	1,75	2,00

(Sumber: Sri Harto, 1993)

Berikut adalah persamaan yang digunakan dalam Uji Konsistensi Data (RAPS).

$$SK^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) \quad (3.2)$$

$$SK^{**} = \frac{SK^*}{Dy} \quad (3.3)$$

$$Dy^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y})^2}{n} \quad (3.4)$$

Nilai statistik Q dan R

$$Q = [SK^{**}] \text{ maks} \quad (3.5)$$

$$R = SK^{**} \text{ maks} - SK^{**} \text{ min} \quad (3.6)$$

Dengan :

Y_i = Data hujan ke- i

$\bar{Y}$ = Data hujan rerata

Sk^* = Simpangan mutlak

Sk^{**} = Nilai konsistensi data

Dy = Simpangan rata-rata

n = Jumlah data

Q = Nilai statistik Q untuk $0 \leq k \leq n$

R = Nilai statistik (range)

2. Uji *Outlier*

Uji *Outlier* yaitu suatu pengujian terhadap data hujan yang bertujuan untuk mengetahui terdapat data yang menyimpang dari data atau tidak. Untuk melakukan pengujian ini, pertama-tama di tentukan dahulu batas atas serta batas bawah data hujan. Data hujan dikatakan tidak lolos pengujian apabila data tersebut berada di luar jangkauan batas atas dan batas bawah. Persamaan yang dipakai pada uji outlier adalah sebagai berikut.

$$Y_H = \bar{Y} + K_n S \quad (3.7)$$

$$Y_L = \bar{Y} - K_n S \quad (3.8)$$

Dengan :

Y_H = Batas outlier atas

Y_L = Batas outlier bawah

- $\bar{Y}$ = Nilai rata-rata
 K_n = Koefisien outlier test berdasarkan jumlah data
 S = Simpangan baku dalam logaritma

Nilai K_n dapat dilihat pada **Tabel 3.2** Sebagai berikut.

Tabel 3.2 Nilai K_n untuk uji outlier

n	K_n	n	K_n	n	K_n	n	K_n	n	K_n
10	2.036	21	2.048	32	2.591	43	2.710	70	2.893
11	2.068	22	2.429	33	2.604	44	2.719	75	2.917
12	2.134	23	2.448	34	2.616	45	2.727	80	2.940
13	2.175	24	2.467	35	2.628	46	2.736	85	2.961
14	2.213	25	2.486	36	2.639	47	2.744	90	2.981
15	2.247	26	2.502	37	2.650	48	2.753	95	3.000
16	2.279	27	2.519	38	2.661	49	2.760	100	3.017
17	2.309	28	2.534	39	2.671	50	2.768	110	3.049
18	2.335	29	2.549	40	2.682	55	2.804	120	3.078
19	2.361	30	2.563	41	2.692	60	2.837	130	3.104
20	2.385	31	2.577	42	2.700	65	2.866	140	3.129

(Sumber: SNI 2415-2016)

3.1.4 Parameter Statistik

Distribusi yang paling mirip dengan sifat-sifat curah hujan yang terjadi ditemukan dengan menggunakan analisis frekuensi. Tujuan dari analisis frekuensi adalah menetapkan nilai ekstrim yang mungkin terjadi dalam frekuensi tertentu. Dari data-data di atas maka kita bisa mendapatkan nilai parameter statistik. Nilai parameter statistik dihitung sebagai berikut.

- a. Hujan total

$$\sum_{i=1}^N Y_i \quad (3.9)$$

- b. Hujan rerata

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \quad (3.10)$$

c. Standar deviasi (S)

$$S_Y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}{N-1}} \quad (3.11)$$

d. Koefisien variasi (Cv)

$$Cv = \left[\frac{S}{\bar{Y}} \right] \quad (3.12)$$

e. Koefisien kemiringan (Cs)

$$Cs = \left[\frac{N}{(N-1)(N-2)} \right] \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^3}{S^3} \right] \quad (3.13)$$

f. Koefisien kurtosis (Ck)

$$Ck = \left[\frac{N^2}{(N-1)(N-2)(N-3)} \right] \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^4}{S^4} \right] \quad (3.14)$$

Dengan :

S_Y = Standar deviasi

Y_i = Data curah hujan

$\bar{Y}$ = Rerata curah hujan

n = Jumlah data

Setelah didapatkan hasil parameter statistik, hasil tersebut digunakan untuk menentukan jenis distribusi. Syarat parameter statistik untuk menentukan jenis distribusi dapat dilihat pada **Tabel 3.3** Sebagai berikut.

Tabel 3.3 Parameter statistik untuk menentukan jenis distribusi

No	Jenis Distribusi	Syarat
1	Normal	$C_s = 0$
		$C_k = 3$
2	Log Normal	$C_s (\ln X) = 0$
		$C_k (\ln X) = 3$
4	Gumbel	$C_s = 1,14$
		$C_k = 5,5$
5	Log Pearson Tipe III	Tidak ada persyaratan, dipakai jika jenis distribusi lain tidak memenuhi syarat

(Sumber: Sri Harto, 1993)

Berikut adalah jenis jenis distribusi yang digunakan dalam analisis frekuensi.

1. Metode Log Pearson III

Tiga faktor utama yang diperhitungkan dalam metode Log Pearson III adalah rata-rata, standar deviasi, serta koefisien skewness. Langkah-langkah yang diperlukan dalam menghitung curah hujan dengan menggunakan teknik log Pearson III adalah sebagai berikut.

a. Logaritma data hujan

$$Y = \log X \quad (3.15)$$

Dengan :

X = Data curah hujan

b. Standar deviasi

$$S_Y = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1}} \quad (3.12)$$

Dengan :

S_Y = Standar deviasi

Y_i = Data curah hujan

$\bar{Y}$ = Rerata curah hujan

n = Jumlah data

c. Nilai rata-rata

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n} \quad (3.10)$$

Dengan :

$\bar{Y}$ = Nilai rata-rata

Y_i = Curah hujan rata - rata

n = Jumlah data

d. Nilai koefisien kemencengan (Skewness)

$$C_{S_Y} = \frac{n \sum (Y_i - \bar{Y})^3}{(n-1)(n-2) S_Y^3} \quad (3.13)$$

Dengan:

C_{S_Y} = Koefisien skewness

Y_i = Curah hujan rata - rata

$\bar{Y}$ = Harga rata - rata

S_Y = Standar deviasi

e. Harga K untuk metode log pearson III dapat dilihat pada **Lampiran**

f. Melakukan perhitungan metode log pearson III

$$Y = \bar{Y} + K \times S_Y \quad (3.16)$$

$$Y = \log X$$

$$X = 10^Y$$

Dengan :

$\bar{Y}$ = Harga rata -rata

K = Faktor frekuensi

S_Y = Standar deviasi

3.1.5 Hujan Jam-jaman

Perhitungan hujan jam-jaman menggunakan distribusi hujan PSA 007. Distribusi hujan PSA 007 adalah suatu distribusi yang menggambarkan distribusi curah hujan pada periode waktu tertentu, berdasarkan data curah hujan. Tujuan analisis disrtibusi hujan jam-jaman adalah untuk memperkirakan presentase dari hujan total yang jatuh tiap jam. Dalam perhitungan hujan jam- jaman diperlukan data hujan hasil perhitungan parameter statistik dan tataguna lahan. Data tata guna

lahan digunakan untuk mengetahui jenis tanah pada daerah sekitar aliran sungai dan mendapatkan nilai CN. Curve Number (CN) merupakan nilai dari karakteristik DAS seperti tanah, tanaman penutup, tata guna lahan, kelembaban dan cara pengerjaan tanah. Berikut adalah tahapan perhitungan hujan jam-jaman.

a. Melakukan klasifikasi tekstur tanah

Tabel klasifikasi tekstur tanah dapat dilihat pada **Tabel 3.4** sebagai berikut.

Tabel 3.4 Klasifikasi Tekstur Tanah

Tekstur tanah	Laju Infiltrasi Minimum (fc) (mm/jam)	Pengelompokan Tanah Secara Hidrologi
Sand	210	A
Loam Sand	61	A
Sandy Loam	26	B
Loam	13	B
Silty Loam	6,9	C
Sandy Clay	4,3	C
Loam	2,3	D
Clay Loam	1,5	D
Sandy Clay	1,3	D
Silty Clay	1,0	D
Clay	0,5	D

(Sumber: Bambang Triatmojo, 2008)

b. Menentukan nilai jenis tutupan lahan

Tabel nilai jenis tutupan lahan dapat dilihat pada **Tabel 3.5** sebagai berikut

Tabel 3.5 Nilai Jenis Tutupan Lahan

No	Jenis Tutupan	HSG			
		A	B	C	D
1	Air Tawar	98	98	98	98
2	Hutan	57	73	82	86
3	Perkebunan/Kebun	57	73	82	86
4	Padang Rumput	72	82	87	89
5	Rumah Komplek	61	75	83	87
6	Rawa	98	98	98	98
7	Sawah irigasi	62	71	78	81
8	Sawah tadah hujan	72	81	88	91
9	Semak Belukar	48	67	77	83
10	Tegalan/Ladang	66	77	85	89

(Sumber: Jurnal Sumber Daya Air Vol.13: 69-82, 2017)

- c. Menghitung nilai Retensi potensial maksimum

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3.17)$$

Dengan :

CN = Curve Number

S = Retensi potensial maksimum

- d. Melakukan perhitungan Hujan efektif

$$Pe = \frac{(P - 0,2 S)^2}{P + 0,8 S} \quad (3.18)$$

Dengan :

Pe = Kedalaman Hujan Efektif (mm)

P = Kedalaman Hujan (mm)

S = Retensi potensial maksimum air tanah, yang sebagian besar karena infiltrasi

- e. Melakukan perhitungan distribusi hujan PSA 007

Tabel 3.6 Distribusi Hujan PSA 007

Distribusi Hujan PSA 007			
Jam ke	6 jam	12 jam	24 jam
1	0,0500	0,0200	0,0075
2	0,1000	0,0200	0,0075
3	0,6000	0,0300	0,0125
4	0,1600	0,0500	0,0125
5	0,0600	0,0900	0,0150
6	0,0300	0,4500	0,0150
7		0,1500	0,0250
8		0,0700	0,0250
9		0,0500	0,0350
10		0,0300	0,0500
11		0,0300	0,0900
12		0,0100	0,3300
13			0,1200
14			0,0600
15			0,0400
16			0,0350
17			0,0250

Lanjutan Tabel 3.7 Distribusi Hujan PSA 007

Distribusi Hujan PSA 007			
Jam ke	6 jam	12 jam	24 jam
18			0,0250
19			0,0150
20			0,0150
21			0,0125
22			0,0125
23			0,0075
24			0,0075

(Sumber: Modul Bendungan Kementrian PUPR, 1995)

- f. Menentukan jam-jaman yang akan digunakan, terdapat 3 klasifikasi jenis waktu yaitu durasi hujan selama 6 jam, durasi hujan selama 12 jam dan durasi hujan selama 24 jam.
- g. Melakukan perhitungan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Hujan jam-jaman} = R_{\text{rancangan}} \times \text{Nilai R/RT PSA 007} \quad (3.19)$$

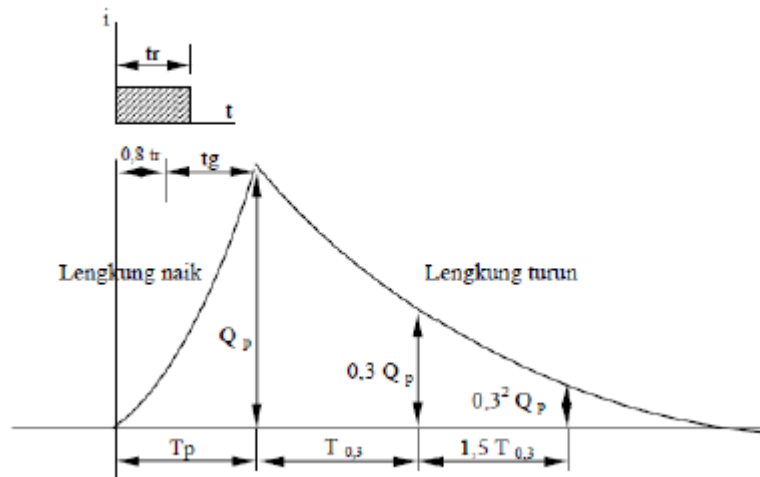
3.1.6 Hidrograf Satuan Sintetis

Debit maksimum yang melintasi suatu bagian sungai yang telah diatur dengan kala ulang tertentu disebut debit banjir rencana. Menurut SNI 2415 – 2016 perhitungan debit banjir rencana bergantung pada kondisi data yang tersedia. Pada penelitian ini data curah hujan harian maksimum yang digunakan adalah data curah hujan harian maksimum 23 tahun.

Metode perhitungan analisis hidrograf sintesis satuan adalah sebagai berikut.

1. Nakayasu

Hidrograf satuan dari berbagai daerah aliran sungai diamati dan dijadikan dasar pembuatan hidrograf satuan Nakayasu. Gambar HSS menurut nakayasu dapat dilihat pada **Gambar 3.2** sebagai berikut.



Gambar 3.2 HSS Menurut Nakayasu

(Sumber: Bambang Triatmojo, 2008)

a. Time lag (t_g) dan Waktu Puncak (T_p)

$$T_g = 0,4 + 0,058 L \quad \text{Untuk } L > 15 \text{ km} \quad (3.20)$$

$$T_g = 0,21 L^{0,7} \quad \text{Untuk } L < 15 \text{ km} \quad (3.21)$$

$$T_p = T_g + 0,8 tr \quad (3.21)$$

Dengan :

T_p = Waktu untuk mencapai puncak (jam)

T_g = Time Lag yaitu waktu terjadinya hujan sampai terjadinya debit puncak (Jam)

tr = Satuan waktu curah hujan (Jam)

L = Panjang sungai

b. Debit Puncak

$$Q_p = \frac{A.Re}{3,6(0,3.T_p + T_{0,3})} \quad (3.23)$$

$$(T_{0,3} = \alpha \times T_g) \quad (3.24)$$

Jika ($0 \leq t \leq T_p$)

$$Q_\alpha = Q_p \times \left(\frac{1}{T_p}\right)^{2,4} \quad (3.25)$$

Jika ($T_p \leq t \leq T_p + T_{0,3}$)

$$Q = Q_p \times 0,3 \left(\frac{1 - T_p}{T_{0,3}} \right) \quad (3.26)$$

Jika ($T_p + T_{0,3} \leq t \leq T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3}$)

$$Q = Q_p \times 0,3 \left(\frac{1 - T_p + 0,5}{1,5 \times T_{0,3}} \right) \quad (3.27)$$

Jika ($t \geq T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3}$)

$$Q = Q_p \times 0,3 \left(\frac{1 - T_p + 1,5 \times T_{0,3}}{2 \times T_{0,3}} \right) \quad (3.28)$$

Dengan :

Q_p = Debit puncak banjir (m^3/det)

A = Luas daerah pengaliran sampai outlet (km^2)

Re = Hujan efektif satuan (mm)

T_p = Waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (Jam)

$T_{0,3}$ = Waktu penurunan debit, dari puncak sampai 30%

α = Parameter hidrograf

α = 2,0. (Pada daerah pengaliran biasa)

α = 1,5. (Pada bagian hidrograf lambat dan turun cepat)

α = 3,0. (Pada bagian hidrograf cepat dan turun lambat)

3.1.7 Banjir Rancangan

Banjir rancangan bertujuan untuk mengetahui besaran debit banjir dan volume limpasan yang terjadi pada suatu kala ulang tertentu. Kala ulang yang digunakan pada penelitian ini menggunakan kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 20 tahun dan 50 tahun. Analisis ini memerlukan data dari hasil perhitungan Hidrograf Satuan Sintesis (HSS) yang pada penelitian ini menggunakan HSS Nakayasu. Perhitungan analisis banjir rancangan pada penelitian ini menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Banjir Rancangan} = \text{HSS} \times \text{Nilai distribusi hujan jam-jaman kala ulang ke-n} \quad (3.29)$$

$$\text{Volume limpasan} = (Q_{n-1} + Q_n) \times \frac{1}{2} \times (T_n - T_{n-1}) \times 3600 \quad (3.30)$$

Dengan :

Q_n = Nilai debit ke – n (m^3/s)

Q_{n-1} = Nilai debit ke – n-1 (m^3/s)

T_n = Waktu ke – n (jam)

T_{n-1} = Waktu ke – n-1 (jam)

3.1.8 Aliran Dasar (*Baseflow*)

Aliran dasar (*baseflow*) merupakan bagian dari aliran sungai yang berasal dari air yang ada di bawah permukaan tanah, yang terjadi ketika elevasi muka air tanah lebih tinggi daripada elevasi dasar sungai. Aliran dasar sangat penting untuk memahami perubahan proses limpasan langsung dalam suatu Daerah Aliran Sungai dari segi waktu maupun ruang. Perhitungan aliran dasar (*baseflow*) pada penelitian ini menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$D = \frac{L}{A} \quad (3.31)$$

$$QB = 0,4715 \times A^{0,6444} \times D^{0,9430} \quad (3.32)$$

Dengan :

A = Luas DAS (km^2)

L = Panjang Sungai (km)

D = Kerapatan jaringan kuras, jumlah panjang sungai semua tingkat tiap satuan luas DAS

3.2 Teori Hidrolika

Hidrolika pada penelitian ini bertujuan untuk memastikan kecukupan tampang sungai untuk mengetahui sungai tersebut banjir atau tidak.. Rumus hitungan hidrolika aliran sebagai berikut.

$$Q = A \times V \quad (3.33)$$

Dengan :

Q = Debit (m^3/s)

A = Luas Penampang aliran (m^2)

V = Kecepatan aliran (m/s)

$$A = (b + m h) h \quad (3.34)$$

Dengan :

b = Lebar dasar saluran

h = Tinggi muka air dalam salura

m = nilai sisi datar terhadap tinggi h = 1

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad \text{atau} \quad (3.35)$$

$$V = ks \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad (3.36)$$

Dengan :

n = Koefisien kekasaran dinding saluran

ks = Kekasaran Strikler

Nilai kekasaran Manning (n) dapat dilihat pada **Tabel 3.7** dibawah ini.

Tabel 3.7 Nilai kekasaran Manning (n)

No	Tipe Saluran	Kondisi Saluran		
	Saluran Buatan	Baik	Cukup	Jelek
1	Saluran tanah, lurus beraturan	0,020	0,023	0,025
2	Saluran tanah, digali biasa	0,028	0,030	0,025
3	Saluran tanah, tidak lurus dan tidak beraturan	0,040	0,045	0,045
4	Saluran batuan, lurus beraturan	0,030	0,035	0,040
5	Saluran batuan, begetasi pada sisinya	0,030	0,030	0,040
6	Dasar Tanah, sisi-sisi batuan lokal	0,030	0,030	0,040
7	Saluran berliku-liku kecepatan rendah	0,025	0,028	0,030
	Saluran Alam	Baik	Cukup	Jelek
1	Bersih, lurus, tanpa pasir dan celah	0,028	0,030	0,033
2	Berliku, bersih, tapi berpasir dan berlubang	0,035	0,040	0,045
3	Seperti 2, tidak dalam, kurang beraturan	0,045	0,050	0,065
4	Aliran lambat, banyak tanaman dan berlubang	0,060	0,070	0,080
5	Tumbuhan tinggi dan padat	0,100	0,125	0,150
	Saluran dilapisi			
1	Batu kosong tanpa adukan semen	0,030	0,033	0,035
2	Seperti 1, dengan adukan semen	0,020	0,025	0,030
3	Lapisan beton sangat halus	0,011	0,012	0,013
4	Lapisan beton biasa dengan tulangan baja	0,015	0,014	0,015
5	Seperti 4, tapi tulangan kayu	0,016	0,016	0,016

(Sumber: Konsultan PT Aztindo Rekaperdana, 2021)

Jari-jari hidraulis

$$R = \frac{A}{P} \quad (3.37)$$

Dengan :

A = Luas Penampang

P = Keliling basah tampang saluran

Keliling basah tampang saluran

$$P = b + 2h \sqrt{1 + m^2} \quad (3.38)$$

Dengan :

b = Lebar dasar saluran

h = Tinggi muka air dalam saluran

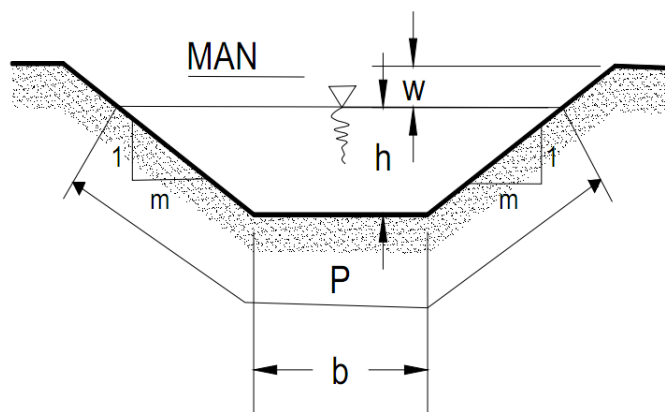
m = nilai sisi datar terhadap tinggi h = 1

Sehingga didapat persamaan sebagai berikut.

$$Q = [(b + m h) h] \left[\frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \right] \quad (3.39)$$

$$Q = [(b + m h) h] \left[\frac{1}{n} \left(\frac{(b + m h) h}{b + 2 h \sqrt{1 + m^2}} \right)^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \right] \quad (3.40)$$

Gambaran tampang saluran dapat dilihat pada **Gambar 3.3** dibawah ini.



Gambar 3.3 Tampang Saluran

(Sumber: Irigasi dan Bangunan Air, 2018)

3.3 HEC-RAS

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) adalah sebuah *software* yang dikembangkan oleh US Army Corps of Engineers untuk analisis hidrolika sungai. Program ini dirancang untuk berbagai aplikasi teknik sipil dan hidrologi, terutama dalam merancang dan mengevaluasi sistem saluran dan sungai.

Komponen analisis sungai :

1. Analisis Aliran Stabil (Steady Flow): Menghitung profil muka air dalam kondisi aliran yang konstan di sepanjang saluran atau sungai, berguna untuk analisis aliran yang stabil di saluran yang relatif seragam.
2. Analisis Aliran Dinamis (Unsteady Flow): Menangani situasi di mana aliran berubah seiring waktu, seperti saat banjir atau perubahan aliran yang tidak terduga.

Data Masukan untuk HEC-RAS:

1. Data Penampang Melintang (Cross-Section Data): Menyediakan informasi tentang geometri saluran di berbagai titik sepanjang sungai.
2. Profil Memanjang: Menggambarkan bentuk dasar sungai sepanjang jalurnya.
3. Parameter Hidraulik Saluran: Termasuk kekasaran dasar (seperti nilai Manning) dan tebing sungai.
4. Parameter Struktur Sungai: Detail tentang struktur buatan seperti bendungan dan pintu air.
5. Debit Aliran: Data mengenai debit aliran yang akan dianalisis.

Output dari HEC-RAS:

1. Grafik dan Tabel: Menyediakan visualisasi dan data numerik dari hasil analisis.
2. Hidrograf (Stage and Flow Hydrograph): Grafik yang menunjukkan variasi tinggi muka air dan debit seiring waktu.

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Umum

Metodologi penelitian yaitu suatu cara yang digunakan dalam melakukan penelitian agar mendapat hasil maksimal. Urutan metode penelitian untuk menghitung dan menganalisis penanggulangan banjir Sungai Serang Jawa Tengah yaitu :

1. Identifikasi masalah
2. Perumusan masalah
3. Studi pustaka
4. Pengumpulan data
5. Analisis hidrologi
6. Analisis hidrolika
7. Pemilihan bangunan pengendali banjir
8. Kesimpulan

4.2 Pengumpulan Data

Sebelum memulai penelitian diperlukan adanya data pendukung dalam melakukan penelitian ini. Pengumpulan data bertujuan sebagai penunjang dalam perhitungan volume air saat terjadinya banjir. Data yang didapatkan adalah sebagai berikut.

1. Data tata guna lahan DAS Serang.
2. Data topografi (detail situasi sungai Serang).
3. Data hidrologi (data curah hujan harian maksimum tahunan 23 tahun, dari tahun 2001 sampai dengan tahun 2023).
4. Data administrasi wilayah
5. Data tanah sekunder

4.3 Hidrologi

Hidrologi pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis besar debit banjir Sungai Serang. Metode distribusi yang digunakan pada analisis frekuensi adalah metode Log Pearson III. Dalam perhitungan hidrograf satuan sintesis metode yang digunakan Nakayasu.

4.4 Hidrolika

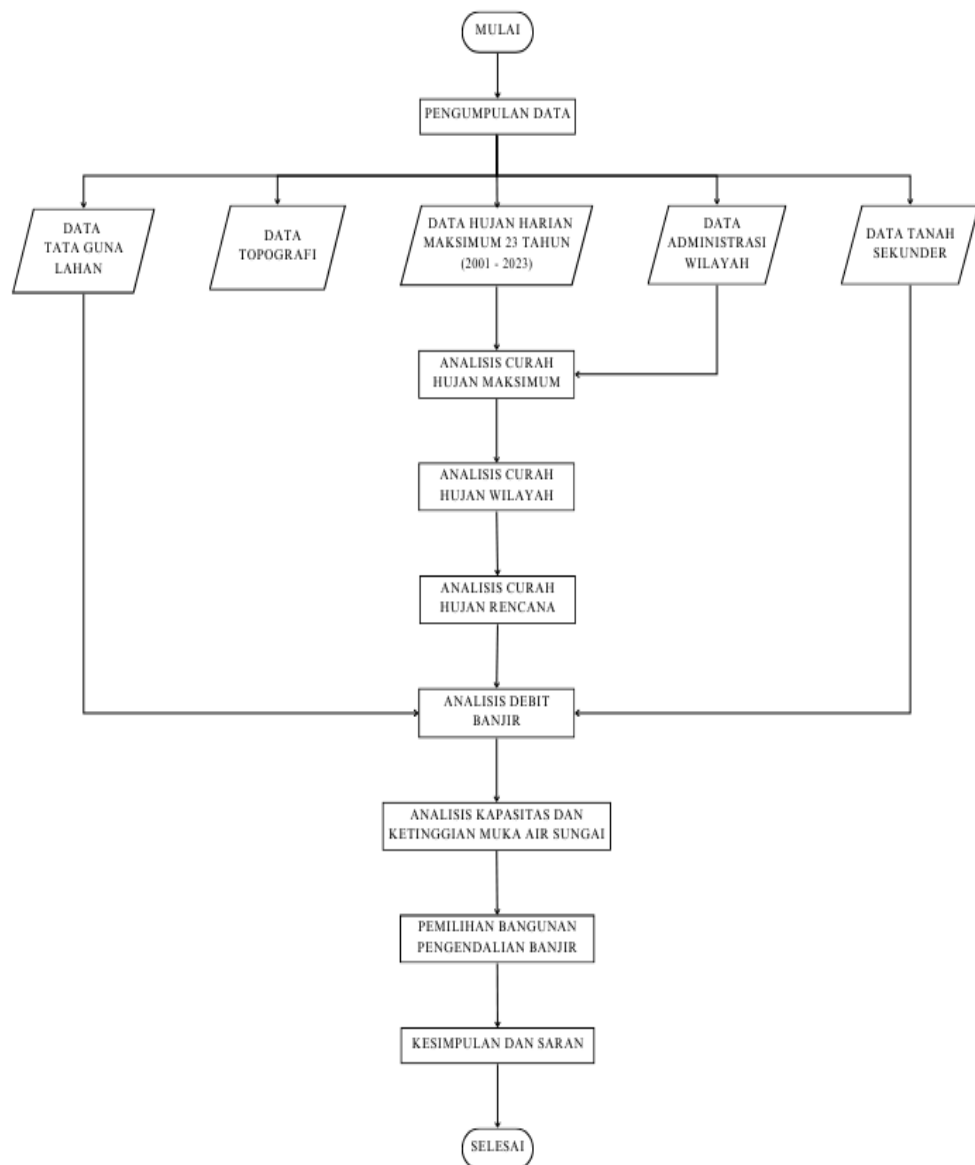
Hidrolika pada penelitian ini bertujuan menganalisis perkiraan tinggi permukaan air Sungai Serang Jawa Tengah pada saat terjadi banjir secara analisis hidrolika. Analisis hidrolika di sini menggunakan aplikasi HEC-RAS karena dengan menggunakan aplikasi HEC-RAS dapat membuat simulasi banjir. Untuk data sekunder yang digunakan adalah data gambaran wilayah pekerjaan, informasi pemanfaatan sungai, studi terdahulu, dan studi literatur, yang kemudian diinput pada aplikasi HEC-RAS.

4.5 Pemilihan Bangunan Dalam Penanggulangan Banjir

Pemilihan bangunan penanggulangan banjir bertujuan agar mengurangi dampak bencana banjir. Salah satu contoh bangunan pengendalian banjir adalah tanggul. Tanggul adalah sebuah bangunan yang berfungsi untuk menahan air agar pada saat terjadi banjir air sungai tidak meluap ke dataran sekitar sungai.

4.6 Bagan Alir Penelitian

Bagan Alir Penelitian yaitu sebuah diagram yang menunjukkan urutan dalam penelitian yang dilakukan. Bagan Alir Penelitian yang digunakan bisa dilihat pada **Gambar 4.1** sebagai berikut.



Gambar 4.1 Bagan Aliran Metode Analisis Hidrologi dan Hidrolika

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Curah Hujan

Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan harian maksimum yang berasal dari stasiun hujan ground station. Data curah hujan yang digunakan adalah data hujan dari tahun 2001 sampai 2023. Tabel data curah hujan dapat dilihat pada **Tabel 5.1** dan peta lokasi stasiun hujan dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.

Tabel 5.1 Data Hujan Ground Station Metode Rata-Rata Aritmatik

Tahun	Hujan Maksimum Harian (mm)			Hujan rata-rata (Hasil Aritmatik)
	Andong	Karanggede	Kemusu	
2001	71	90	140	100,333
2002	140	100	82	107,333
2003	99	113	140	117,333
2004	125	125	140	130,000
2005	121	150	82	117,667
2006	125	100	82	102,333
2007	118	95	120	111,000
2008	125	95	57	92,333
2009	99	105	73	92,333
2010	100	116	95	103,667
2011	100	90	80	90,000
2012	98	155	83	112,000
2013	146	70	125	113,667
2014	134	95	81	103,333
2015	148	100	73	107,000
2016	92	105	82	93,000
2017	135	97	73	101,667
2018	125	95	57	92,333
2019	140	100	130	123,333
2020	142	113	140	131,667
2021	120	106	94	106,582
2022	118	110	100	109,333
2023	122	118	97	112,435

1. Metode hujan rata-rata aritmatik 2001

$$R = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{n}$$

$$R = \frac{71 + 90 + 140}{3}$$

$$R = 100,333 \text{ mm}$$

5.2 Pengujian Data

Pengujian data menggunakan metode Uji Outlier dan Uji Konsistensi (RAPS). Perhitungan data hujan adalah sebagai berikut.

5.2.1 Uji Konsistensi (RAPS)

Hasil perhitungan parameter statistik hujan dengan metode uji konsistensi (RAPS) dapat dilihat pada **Tabel 5.2** sebagai berikut.

Tabel 5.2 Uji Konsistensi (RAPS)

No	Hujan Maks	SK*	DY ²	SK**	[SK**]
1	100,333	-7,088	2,184	-0,622	0,622
2	107,333	-0,088	0,000	-0,008	0,008
3	117,333	9,912	4,272	0,869	0,869
4	130,000	22,579	22,166	1,980	1,980
5	117,667	10,246	4,564	0,898	0,898
6	102,333	-5,088	1,125	-0,446	0,446
7	111,000	3,579	0,557	0,314	0,314
8	92,333	-15,088	9,897	-1,323	1,323
9	92,333	-15,088	9,897	-1,323	1,323
10	103,667	-3,754	0,613	-0,329	0,329
11	90,000	-17,421	13,195	-1,528	1,528
12	112,000	4,579	0,912	0,402	0,402
13	113,667	6,246	1,696	0,548	0,548
14	103,333	-4,088	0,726	-0,358	0,358
15	107,000	-0,421	0,008	-0,037	0,037
16	93,000	-14,421	9,042	-1,265	1,265
17	101,667	-5,754	1,440	-0,505	0,505
18	92,333	-15,088	9,897	-1,323	1,323
19	123,333	15,912	11,009	1,395	1,395
20	131,667	24,246	25,559	2,126	2,126

Lanjutan tabel 5.2 Uji Konsistensi (RAPS)

No	Hujan Maks	SK*	DY ²	SK**	[SK**]
21	109,333	-0,839	0,031	-0,074	0,074
22	112,435	1,912	0,159	0,168	0,168
23	106,582	5,014	1,093	0,440	0,440
Jumlah	2470,684		130,042		
Rata-rata	107,421		5,654		
Dy	11,404				
Q	2,126				
R	3,654				

Kontrol		90%	95%	99%
Q/n ^{0.5}	0,443	< 1,1	< 1,22	< 1,42
R/n ^{0.5}	0,762	< 1,34	< 1,43	< 1,6

1. Menghitung simpangan (baris ke 1)

$$\begin{aligned}
 Sk^* &= (Y_i - Y) \\
 &= (100 - 107,421) \\
 &= -7,088 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

2. Menghitung Dy^2 (baris ke 1)

$$\begin{aligned}
 Dy^2 &= \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y)^2}{n} \\
 &= \frac{(-7,088)^2}{23} \\
 &= 2,184 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

3. Menghitung simpangan rata-rata

$$\begin{aligned}
 Dy &= \sqrt{\sum Dy^2} \\
 &= \sqrt{130,042} \\
 &= 11,404 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4. Menghitung nilai konsistensi data (baris ke 1)

$$\begin{aligned}
 Sk^{**} &= \frac{Sk^*}{Dy} \\
 &= \frac{-7,088}{11,404} \\
 &= -0,622 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

5. Menghitung nilai konsistensi data mutlak

$$\begin{aligned} |sk^{**}| &= |-0,622| \\ &= 0,622 \text{ mm} \end{aligned}$$

6. Menghitung nilai statistik Q

$$\begin{aligned} Q &= \max|SK^{**}| \\ &= 2,126 \text{ mm} \end{aligned}$$

7. Menghitung nilai statistik (range)

$$\begin{aligned} R &= \max |SK^{**}| - \min|SK^{**}| \\ &= 2,126 - |-1,528| \\ &= 3,654 \text{ mm} \end{aligned}$$

8. Menghitung nilai $\frac{Q}{\sqrt{n}}$

$$\begin{aligned} \frac{Q}{\sqrt{n}} &= \frac{2,126}{\sqrt{23}} \\ &= 0,443 \text{ mm} \end{aligned}$$

9. Menghitung nilai $\frac{R}{\sqrt{n}}$

$$\begin{aligned} \frac{R}{\sqrt{n}} &= \frac{3,654}{\sqrt{23}} \\ &= 0,762 \text{ mm} \end{aligned}$$

10. Perbandingan hasil nilai perhitungan dengan nilai syarat

	90%	95%	99%
$\frac{Q}{\sqrt{n}} = 0,433$	< 1,1	< 1,22	< 1,42
$\frac{R}{\sqrt{n}} = 0,762$	< 1,34	< 1,43	< 1,6

Berdasarkan pada hasil perhitungan menunjukkan bahwa data curah hujan lolos pengujian konsistensi (RAPS). Hal ini karena nilai lebih kecil dari nilai ketetapan yang sudah di tentukan.

5.2.2 Uji Outlier

Hasil perhitungan parameter statistik hujan dengan metode uji outlier dapat dilihat pada **Tabel 5.3** sebagai berikut.

Tabel 5.3 Uji Outlier

No	Tahun	Hujan Maks
1	2001	100,333
2	2002	107,333
3	2003	117,333
4	2004	130,000
5	2005	117,667
6	2006	102,333
7	2007	111,000
8	2008	92,333
9	2009	92,333
10	2010	103,667
11	2011	90,000
12	2012	112,000
13	2013	113,667
14	2014	103,333
15	2015	107,000
16	2016	93,000
17	2017	101,667
18	2018	92,333
19	2019	123,333
20	2020	131,667
21	2021	106,582
22	2022	109,333
23	2023	112,435
Jumlah		2470,684
Rata-rata		107,421
Standar Deviasi		11,660
Kn		2.448
Outlier atas		135,969
Outlier bawah		78,873

1. Menghitung Y_{rerata}

$$\begin{aligned}
 Y_{\text{rerata}} &= \frac{\sum_{i=1}^n Y}{n} \\
 &= \frac{2470,684}{23} \\
 &= 107,421 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

2. Menghitung Standar Deviasi

$$\begin{aligned}
 S_d &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - Y_{\text{rerata}})^2}{n-1}} \\
 &= \sqrt{\frac{(100,333 - 107,421)^2}{23 - 1}} \\
 &= 11,660 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

3. Menentukan nilai K_n berdasarkan jumlah data n . Nilai K_n ditentukan berdasarkan tabel.

Jumlah data (n) = 23, nilai K_n = 2.448

4. Menghitung batas atas dan batas bawah

$$\begin{aligned}
 Y_H &= \bar{Y} + K_n S_d \\
 &= 107,421 + 2.448 \times 11,660 \\
 &= 135,969 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_L &= \bar{Y} - K_n S_d \\
 &= 107,421 - 2.448 \times 11,660 \\
 &= 78,873 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan pada hasil perhitungan pengujian Outlier menunjukkan bahwa tidak terdapat data diluar Outlier atas dan Outlier bawah, sehingga data curah hujan dapat digunakan untuk analisis.

5.2.3 Parameter Statistik

Perhitungan parameter statistik dapat dilihat pada **Tabel 5.4** sebagai berikut.

No	Hujan maks
1	100,333
2	107,333
3	117,333
4	130,000
5	117,667
6	102,333
7	111,000
8	92,333
9	92,333
10	103,667
11	90,000
12	112,000
13	113,667
14	103,333
15	107,000
16	93,000
17	101,667
18	92,333
19	123,333
20	131,667
21	106,582
22	109,333
23	112,435
Jumlah	247,684
Rerata	107,421
Standar Deviasi	11,660
Cs	0,407
Ck	-0,262
Cv	0,109

1. Menghitung Koefisien Variasi (Cv)

$$Cv = \left[\frac{S}{\bar{Y}} \right]$$

$$= \left[\frac{11,660}{107,421} \right]$$

$$= 0,109 \text{ mm}$$

2. Menghitung Koefisien Kemiringan (Cs)

$$Cs = \left[\frac{N}{(N-1)(N-2)} \right] \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^3}{S^3} \right]$$

$$= \left[\frac{23}{(23-1)(23-2)} \right] \left[\frac{(100,333 - 107,421)^3}{11,660^3} \right]$$

$$= 0,407$$

3. Menghitung Koefisien Kurtosis (Ck)

$$Ck = \left[\frac{N^2}{(N-1)(N-2)(N-3)} \right] \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^4}{S^4} \right]$$

$$= \left[\frac{23^2}{(23-1)(23-2)(23-3)} \right] \left[\frac{(100,333 - 107,421)^4}{11,660^4} \right]$$

$$= -0,262$$

Setelah didapatkan hasil parameter statistik, hasil tersebut digunakan untuk menentukan jenis distribusi. Pemilihan distribusi frekuensi dapat dilihat pada **Tabel 5.4** Sebagai berikut.

Tabel 5.4 Pemilihan Distribusi Frekuensi

No	Jenis Distribusi	Syarat	Nilai	Keterangan
1	Normal	Cs = 0	0,407	Tidak Memenuhi
		Ck = 3	-0,262	Tidak Memenuhi
2	Log Normal	Cs (ln x) = 0	0,178	Tidak Memenuhi
		Ck (ln x) = 3	-0,494	Tidak Memenuhi
3	Gumbel	Cs = 1,14	0,407	Tidak Memenuhi
		Ck = 5,5	-0,262	Tidak Memenuhi
4	Log Pearson Tipe III	Tidak ada persyaratan, dipakai jika jenis distribusi lain tidak memenuhi syarat		Memenuhi

Berdasarkan pada **Tabel 5.4** dapat diambil kesimpulan bahwa jenis distribusi yang dipakai adalah Log Pearson Tipe III, karena berdasarkan syarat sifat statistik distribusi hujan rancangan keempat distribusi yang lainnya tidak memenuhi syarat.

b. Metode Log Pearson Tipe III

Hasil perhitungan parameter statistik dengan menggunakan metode Log Pearson Tipe III dapat dilihat pada **Tabel 5.5** sebagai berikut.

Tabel 5.5 Hasil Perhitungan Parameter Statistik Metode Log Pearson Tipe III

No.	Tahun	X (mm)	Log Y	$Y_i - \bar{Y}$	$[Y_i - \bar{Y}]^2$	$[Y_i - \bar{Y}]^3$
1	2001	100,333	2,001	-0,027	0,001	0,000
2	2002	107,333	2,031	0,002	0,000	0,000
3	2003	117,333	2,069	0,041	0,002	0,000
4	2004	130,000	2,114	0,085	0,007	0,001
5	2005	117,667	2,071	0,042	0,002	0,000
6	2006	102,333	2,010	-0,019	0,000	0,000
7	2007	111,000	2,045	0,017	0,000	0,000
8	2008	92,333	1,965	-0,063	0,004	0,000
9	2009	92,333	1,965	-0,063	0,004	0,000
10	2010	103,667	2,016	-0,013	0,000	0,000
11	2011	90,000	1,954	-0,074	0,006	0,000
12	2012	112,000	2,049	0,021	0,000	0,000
13	2013	113,667	2,056	0,027	0,001	0,000
14	2014	103,333	2,014	-0,014	0,000	0,000
15	2015	107,000	2,029	2.029	0,001	0,000
16	2016	93,000	1,968	1.968	-0,060	0,004
17	2017	101,667	2,007	2.007	-0,021	0,000
18	2018	92,333	1,965	1.965	-0,063	0,004
19	2019	123,333	2,091	2.091	0,062	0,004
20	2020	131,667	2,119	2.119	0,091	0,008
21	2021	106,582	2,028	2.028	-0,001	0,000

Lanjutan tabel 5.5 Hasil Perhitungan Parameter Statistik Metode

Log Pearson Tipe III

No.	Tahun	X (mm)	Log Y	$Y_i - \bar{Y}$	$[Y_i - \bar{Y}]^2$	$[Y_i - \bar{Y}]^3$
22	2022	109,333	2,039	0,010	0,000	0,000
23	2023	112,435	2,051	0,022	0,000	0,000
Jumlah (Σ)			46,660			
Rerata			2,029			
Standar deviasi (Sd)			0,047			
Banyak data (n)			23			
CS (skewness)			0,178			

Tabel 5.6 Curah Hujan Rancangan Distribusi Log Pearson III

Kala ulang [Tr] (Tahun)	Pr (%)	K	$K \times Sd$	Log R _{rancangan}	R _{rancangan} (mm)
2	50	-0,030	-0,001	2,027	106,485
5	20	0,832	0,039	2,068	116,821
10	10	1,299	0,061	2,089	122,841
20	5	1,694	0,079	2,108	128,168
50	2	2,148	0,100	2,129	134,581

Curah hujan rancangan Log Pearson III

1. Menghitung probabilitas

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{1}{T} \\
 &= \frac{1}{2} \\
 &= 0,5 \times 100\% \\
 &= 50 \%
 \end{aligned}$$

2. Nilai K didapatkan dari tabel Log Pearson Tipe III. Nilai K = -0,030

3. Menghitung nilai $K \times Sd$

$$\begin{aligned}
 K Sd_{Log R} &= -0,030 \times 0,047 \\
 &= -0,001 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4. Menghitung nilai Log $R_{\text{rancangan}}$

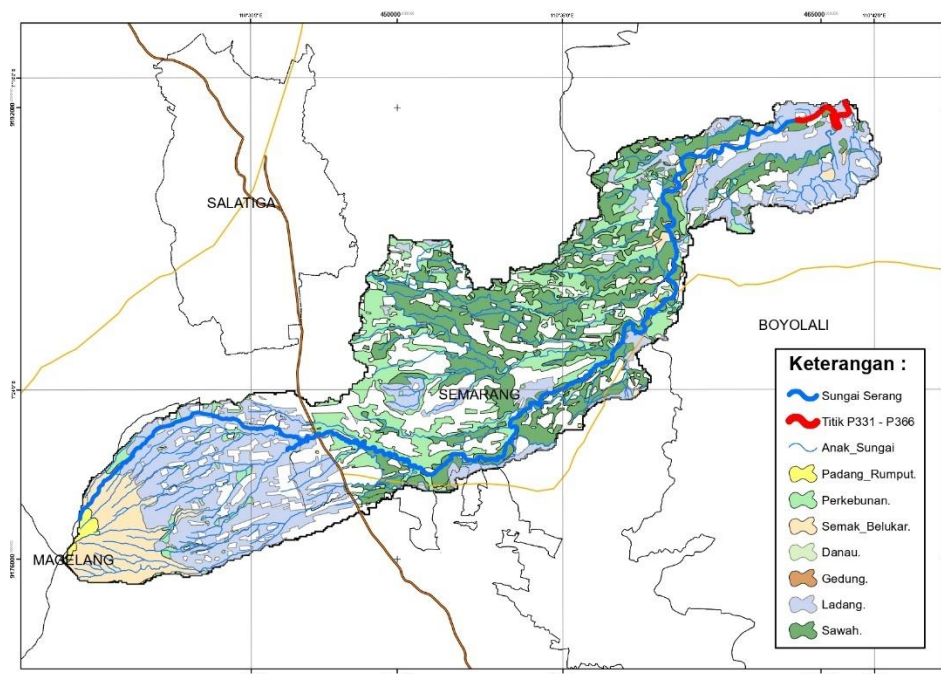
$$\begin{aligned}\text{Log } R_{\text{rancangan}} &= K \times S_d \times Y_{\text{rerata}} \\ &= -0,001 \times 2,029 \\ &= 2,027 \text{ mm}\end{aligned}$$

5. Menghitung nilai $R_{\text{rancangan}}$

$$\begin{aligned}R_{\text{rancangan}} &= 10^{\text{Log } R_{\text{rancangan}}} \\ &= 10^{2,027} \\ &= 106,485 \text{ mm}\end{aligned}$$

5.3 Data Tata Guna Lahan

Data tata guna lahan DAS Serang terdiri dari pemukiman dan tempat kegiatan, perkebunan, ladang, padang rumput, semak belukar, sungai, waduk dan sawah. Data Tata Guna Lahan dapat dilihat pada **Gambar 5.1** dan **Tabel 5.7** sebagai berikut.



Gambar 5.1 Peta Data Tata Guna Lahan DAS Serang
(Sumber: PT Aztindo Rekaperdana, 2021)

Tabel 5.7 Data Tata Guna Lahan DAS Serang

PENGUNAAN LAHAN DAS			
No	Keterangan	Penggunaan Lahan	Luasan (Km ²)
1	DAS	Pemukiman dan tempat kegiatan	39,295
2		Perkebunan/Kebun	27,247
3		Tegalan/Ladang	41,455
4		Padang Rumput	0,782
5		Semak Belukar	11,569
6		Sungai	0,798
7		Waduk	0,002
8		Sawah	38,088
9		Gedung/Bangunan	0,001
Total			159,237

(Sumber: PT Aztindo Rekaperdana, 2021)

5.4 Distribusi Hujan Jam-jaman

Hasil perhitungan distribusi hujan jam-jaman dapat dilihat pada **Tabel 5.8** Sebagai berikut.

Tabel 5.8 Hasil Perhitungan Penentuan Nilai *Curve Number* (CN)

Keterangan	Luas (Km)	Persentase (%)	CN(D)	CN*A
Perkebunan/Kebun	27,247	17,111	86	14,715
Tegalan/Ladang	41,455	26,034	89	23,170
Rumah Komplek / Properti Real Estate	39,296	24,678	87	21,470
Air Tawar	0,800	0,502	98	0,492
Padang Rumput	0,782	0,491	89	0,437
Sawah	38,088	23,919	81	19,374
Semak Belukar	11,569	7,265	83	6,030
Total	159,237	67,822		85,689

1. Menghitung nilai persentase (baris ke 1)

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai persentase} &= \frac{A}{\sum A} \times 100 \% \\
 &= \frac{27,247}{159,237} \times 100 \% \\
 &= 17,111 \%
 \end{aligned}$$

2. Nilai CN didapat berdasarkan pada tabel, nilai CN untuk perkebunan / kebun adalah 86

3. Nilai $CN \times A$

$$\begin{aligned} CN \times A &= 86 \times 17,111 \\ &= 14,715 \end{aligned}$$

4. Nilai total CN

$$\begin{aligned} \Sigma CN &= 14,715 + 23,170 + 21,470 + 0,492 + 0,437 + 19,374 + 6,030 \\ &= 85,689 \end{aligned}$$

Tabel 5.9 Hasil Perhitungan Curah Hujan Efektif

PERHITUNGAN CURAH HUJAN EFEKTIF				
Metode Log Pearson III				
Kala ulang	Curah Hujan	CN	S	Hujan Efektif
2	106,485	85,689	42,421	68,395
5	116,821	85,689	42,421	77,852
10	122,841	85,689	42,421	83,414
20	128,168	85,689	42,421	88,364
50	134,581	85,689	42,421	94,354

1. Menghitung nilai Retensi potensial maksimum (S)

$$\begin{aligned} S &= \frac{2540}{CN} - 254 \\ &= \frac{2540}{85,689} - 254 \\ &= 42,421 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. Menghitung Hujan efektif

$$\begin{aligned} Pe &= \frac{(P - 0,2 \times S)^2}{P + 0,8 \times S} \\ &= \frac{(106,485 - 0,2 \times 42,421)^2}{106,485 + 0,8 \times 42,421} \\ &= 68,395 \text{ mm} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan hujan jam-jaman dapat dilihat pada **Tabel 5.10** sebagai berikut

Tabel 5.10 Hasil Perhitungan Hujan Jam-jaman

Waktu (Jam)	Nilai R/Rt	Kala ulang				
		2 tahun	5 tahun	10 tahun	20 tahun	50 tahun
		68,395	77,852	83,414	88,364	94,354
1	0,050	3,420	3,893	4,171	4,418	4,718
2	0,100	6,840	7,785	8,341	8,836	9,435
3	0,600	41,037	46,711	50,048	53,018	56,612
4	0,160	10,943	12,456	13,346	14,138	15,097
5	0,060	4,104	4,671	5,005	5,302	5,661
6	0,030	2,052	2,336	2,502	2,651	2,831

1. Menghitung hujan jam ke 1 kala ulang 2 tahun

$$\begin{aligned}
 \text{Hujan jam ke 1} &= R_{\text{rancangan}} \times \text{Nilai R/RT} \\
 &= 68,395 \times 0,050 \\
 &= 3,420
 \end{aligned}$$

2. Menghitung hujan jam ke 2 kala ulang 2 tahun

$$\begin{aligned}
 \text{Hujan jam ke 2} &= R_{\text{rancangan}} \times \text{Nilai R/RT} \\
 &= 68,395 \times 0,100 \\
 &= 6,840
 \end{aligned}$$

3. Menghitung hujan jam ke 3 kala ulang 2 tahun

$$\begin{aligned}
 \text{Hujan jam ke 3} &= R_{\text{rancangan}} \times \text{Nilai R/RT} \\
 &= 68,395 \times 0,600 \\
 &= 41,037
 \end{aligned}$$

4. Menghitung hujan jam ke 4 kala ulang 2 tahun

$$\begin{aligned}
 \text{Hujan jam ke 4} &= R_{\text{rancangan}} \times \text{Nilai R/RT} \\
 &= 68,395 \times 0,160 \\
 &= 10,943
 \end{aligned}$$

5. Menghitung Hujan jam ke 5 kala ulang 2 tahun

$$\begin{aligned}
 \text{Hujan jam ke 5} &= R_{\text{rancangan}} \times \text{Nilai R/RT} \\
 &= 68,395 \times 0,060 \\
 &= 4,104
 \end{aligned}$$

6. Menghitung Hujan jam ke 6 kala ulang 2 tahun

$$\begin{aligned}\text{Hujan jam ke 6} &= R_{\text{rancangan}} \times \text{Nilai R/RT} \\ &= 68,395 \times 0,0300 \\ &= 2,052\end{aligned}$$

5.5 Analisis Debit Banjir Hidrograf Satuan Sintesis

a. Metode Nakayasu

Karakteristik DAS

1. Luas DAS (A) = 159,237 km²
2. Panjang sungai utama (L) = 3,517 km
3. Tinggi hujan (R) = 1.000 mm
4. Durasi hujan (Tr) = 1.000 jam

Parameter hidrograf satuan sintesis

1. $T_g = 0,21 \times L^{0.7}$
 $= 0,21 \times (3,517)^{0.7}$
 $= 0,506 \text{ Jam}$
2. $T_r = 0.75 \times T_g$
 $= 0.75 \times 0,506$
 $= 0,380 \text{ Jam}$
3. $T_{0.8} = 0,8 \times T_r$
 $= 0,8 \times 0,380$
 $= 0,304 \text{ Jam}$
4. $T_p = T_g + 0,8 \times T_r$
 $= 0,506 + 0,8 \times 0,380$
 $= 0,810 \text{ Jam}$
5. $\alpha = 2$
6. $T_{0.3} = \alpha \times T_g$
 $= 2 \times 0,506$
 $= 1,013 \text{ Jam}$
 $= T_p + T_{0.3}$
 $= 0,810 + 1,013$

$$\begin{aligned}
&= 1,813 \text{ Jam} \\
&= T_p + T_{0,3} + 1,5 \times T_{0,3} \\
&= 0,810 + 1,013 + 1,5 \times 1,013 \\
&= 3,343 \text{ Jam}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
7. \text{ Volume hujan DAS} &= 159,237 \times 1000 \\
&= 159.237 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
8. Q_p &= \frac{\frac{1}{3.6} (A \times L)}{(0,3 \times T_p \times T_{0,3})} \\
&= \frac{\frac{1}{3.6} (159,237 \times 3,517)}{(0,3 \times 0,810 \times 1,013)} \\
&= 35,217 \text{ m}^3/\text{s}
\end{aligned}$$

Ordinat Hidrograf

$$1. 0 < t < T_p$$

$$0 < t < 0,810$$

$$\begin{aligned}
Q_t &= Q_{\max} \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \\
&= 35,217 \times \left(\frac{0,810}{0,810} \right)^{2,4} \\
&= 35,217 \text{ m}^3/\text{s}
\end{aligned}$$

$$2. T_p < t < (T_p + T_{0,3})$$

$$0,810 < t < (0,810 + 1,013)$$

$$0,810 < t < (1,823)$$

$$\begin{aligned}
Q_t &= Q_{\max} (0,3)^{\left(\frac{t - T_p}{T_{0,3}} \right)} \\
&= 35,217 (0,3)^{\left(\frac{1,823 - 0,810}{1,013} \right)} \\
&= 10,565 \text{ m}^3/\text{s}
\end{aligned}$$

$$3. (T_p + T_{0,3}) < t < (T_p + 2,5 T_{0,3})$$

$$(0,810 + 1,013) < t < (0,810 + 2,5 \times 1,013)$$

$$(1,823) < t < (3,343)$$

$$\begin{aligned}
 Q_t &= Q_{\max} (0,3)^{\left(\frac{((t - T_P) + 0,5 \times T_{0,3})}{1,5 \times T_{0,3}}\right)} \\
 &= 35,217 (0,3)^{\left(\frac{((3,343 - 0,810) + 0,5 \times 1,013)}{1,5 \times 1,013}\right)} \\
 &= 3,170 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

$$4. \ t > (T_P + 2,5 \ T_{0,3})$$

$$t > (0,810 + 2,5 \times 1,013)$$

$$t > (3,343)$$

$$\begin{aligned}
 Q_t &= Q_{\max} (0,3)^{\left(\frac{((t - T_P) + 1,5 \times T_{0,3})}{2 \times T_{0,3}}\right)} \\
 &= 35,217 (0,3)^{\left(\frac{((4 - 0,810) + 1,5 \times 1,013)}{2 \times 1,013}\right)} \\
 &= 2,144 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan debit banjir dengan metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) dapat dilihat pada **Tabel 5.11** dibawah ini.

Tabel 5.11 Hasil Perhitungan Ordinat Hidrograf Nakayasu

Waktu t	Qa	Qd1	Qd2	Qd3	t=T/Tp	q=Q/Qp	Hidrograf Satuan	
(jam)	$(t/T_p)^{2,4}$	$0,3^{((t-T_p)/T^{0,3})}$	$0,3^{((t-T_p+0,5*T^{0,3})/1,5*T^{0,3})}$	$0,3^{((t-T_p+1,5*T^{0,3})/2*T^{0,3})}$			Q= q x Qp	V
0	0				0	0	0	0
0,810	1,000				1,000	1,000	35,217	51366,774
1		0,798			1,234	0,798	28,108	21620,051
1,823		0,300			2,250	0,300	10,565	57307,252
2			0,261		2,468	0,261	9,184	6283,762
3			0,118		3,702	0,118	4,158	24016,018
3,343			0,090		4,125	0,090	3,170	4518,737
4				0,061	4,936	0,061	2,144	6288,128
5				0,034	6,170	0,034	1,184	5990,442
6				0,019	7,404	0,019	0,653	3306,367
7				0,010	8,638	0,010	0,361	1824,918
8				0,006	9,873	0,006	0,199	1007,246
9				0,003	11,107	0,003	0,110	555,940
10				0,002	12,341	0,002	0,061	306,846
11				0,001	13,575	0,001	0,033	169,361
12				0,001	14,809	0,001	0,018	93,477
13				0,000	16,043	0,000	0,010	51,594
14				0,000	17,277	0,000	0,006	28,477
15				0,000	18,511	0,000	0,003	15,717
16				0,000	19,745	0,000	0,002	8,675

Lanjutan tabel 5.11 Hasil Perhitungan Ordinat Hidrograf Nakayasu

Waktu t	Qa	Qd1	Qd2	Qd3	t=T/Tp	q=Q/Qp	Hidrograf Satuan	
(jam)	$(t/T_p)^{2,4}$	$0,3^{((t-T_p)/T^{0,3})}$	$0,3^{((t-T_p+0,5*T^{0,3})/1,5*T^{0,3})}$	$0,3^{((t-T_p+1,5*T^{0,3})/2*T^{0,3})}$			Q= q x Qp	V
17				0,000	20,979	0,000	0,001	4,788
18				0,000	22,213	0,000	0,001	2,643
19				0,000	23,447	0,000	0,000	1,459
20				0,000	24,681	0,000	0,000	0,805
21				0,000	25,915	0,000	0,000	0,444
22				0,000	27,150	0,000	0,000	0,245
23				0,000	28,384	0,000	0,000	0,135
24				0,000	29,618	0,000	0,000	0,075
25				0,000	30,852	0,000	0,000	0,041
26				0,000	32,086	0,000	0,000	0,023
27				0,000	33,320	0,000	0,000	0,013
28				0,000	34,554	0,000	0,000	0,007
29				0,000	35,788	0,000	0,000	0,004
30				0,000	37,022	0,000	0,000	0,002
31				0,000	38,256	0,000	0,000	0,001
32				0,000	39,490	0,000	0,000	0,001
33				0,000	40,724	0,000	0,000	0,000
34				0,000	41,958	0,000	0,000	0,000
35				0,000	43,192	0,000	0,000	0,000
36				0,000	44,427	0,000	0,000	0,000

Lanjutan tabel 5.11 Hasil Perhitungan Ordinat Hidrograf Nakayasu

Waktu t	Qa	Qd1	Qd2	Qd3	t=T/Tp	q=Q/Qp	Hidrograf Satuan	
(jam)	$(t/T_p)^{2,4}$	$0,3^{((t-T_p)/T^{0,3})}$	$0,3^{((t-T_p+0,5*T^{0,3})/(1,5*T^{0,3}))}$	$0,3^{((t-T_p+1,5*T^{0,3})/2*T^{0,3})}$			Q= q x Qp	V
37				0,000	45,661	0,000	0,000	0,000
38				0,000	46,895	0,000	0,000	0,000
39				0,000	48,129	0,000	0,000	0,000
40				0,000	49,363	0,000	0,000	0,000
41				0,000	50,597	0,000	0,000	0,000
42				0,000	51,831	0,000	0,000	0,000
43				0,000	53,065	0,000	0,000	0,000
44				0,000	54,299	0,000	0,000	0,000
45				0,000	55,533	0,000	0,000	0,000
46				0,000	56,767	0,000	0,000	0,000
47				0,000	58,001	0,000	0,000	0,000
48				0,000	59,235	0,000	0,000	0,000
							Vol HSS (m ³)	184770
							Kedalaman Hujan (mm)	1,160

Tabel 5.12 Hasil Perhitungan Hidrograf Koreksi

t (jam)	Qt awal (m ³ /d)	V awal (m ³)	Qt koreksi (m ³ /d)	V koreksi (m ³)
0	0,000	0,000	0,000	0,000
1	35,217	51366,774	28,108	50595,263
2	28,108	21620,051	9,184	67126,706
3	10,565	57307,252	4,158	24016,018
4	9,184	6283,762	2,144	11344,543
5	4,158	2,016,018	1,184	5990,442
6	3,170	4518,737	0,653	3306,367
7	2,144	6288,128	0,361	1824,918
8	1,184	5990,442	0,199	1007,246
9	0,653	3306,367	0,110	555,940
10	0,361	1824,918	0,061	306,846
11	0,199	1007,246	0,033	169,361
12	0,110	555,940	0,018	93,477
13	0,061	306,846	0,010	51,594
14	0,033	169,361	0,006	28,477
15	0,018	93,477	0,003	15,717
16	0,010	51,594	0,002	8,675
17	0,006	28,477	0,001	4,788
18	0,003	15,717	0,001	2,643
19	0,002	8,675	0,000	1,459
20	0,001	4,788	0,000	0,805
21	0,001	2,643	0,000	0,444
22	0,000	1,459	0,000	0,245
23	0,000	0,805	0,000	0,135
24	0,000	0,444	0,000	0,075
25	0,000	0,245	0,000	0,041
26	0,000	0,135	0,000	0,023
27	0,000	0,075	0,000	0,013
28	0,000	0,041	0,000	0,007
29	0,000	0,023	0,000	0,004
30	0,000	0,013	0,000	0,002
31	0,000	0,007	0,000	0,001
32	0,000	0,004	0,000	0,001
33	0,000	0,002	0,000	0,000
34	0,000	0,001	0,000	0,000
35	0,000	0,001	0,000	0,000

Lanjutan tabel 5.12 Hasil Perhitungan Hidrograf Koreksi

t (jam)	Qt awal (m ³ /d)	V awal (m ³)	Qt koreksi (m ³ /d)	V koreksi (m ³)
36	0,000	0,000	0,000	0,000
37	0,000	0,000	0,000	0,000
38	0,000	0,000	0,000	0,000
39	0,000	0,000	0,000	0,000
40	0,000	0,000	0,000	0,000
41	0,000	0,000	0,000	0,000
42	0,000	0,000	0,000	0,000
43	0,000	0,000	0,000	0,000
44	0,000	0,000	0,000	0,000
45	0,000	0,000	0,000	0,000
46	0,000	0,000	0,000	0,000
47	0,000	0,000	0,000	0,000
48	0,000	0,000	0,000	0,000
49	0,000	0,000	0,000	0,000
50	0,000	0,000	0,000	0,000
51	0,000	0,000	0,000	0,000
Jumlah (m ³)		184770		166452
Kedalaman Hujan (mm)		1,160		1

5.6 Analisis Banjir Rancangan

Berikut adalah perhitungan analisis banjir rancangan.

1. Analisis banjir rancangan jam ke 1 kala ulang 2 tahun

Banjir rancangan jam ke 1 = HSS × Nilai distribusi hujan jam-jaman

$$= 28,108 \times 3,420$$

$$= 96,125 \text{ mm}$$

2. Analisis banjir rancangan jam ke 2 kala ulang 2 tahun

Banjir rancangan jam ke 2 = HSS × Nilai distribusi hujan jam-jaman

$$= 0 \times 6,840$$

$$= 0 \text{ mm}$$

3. Nilai debit = 96,125 m³/s
4. Volume limpasan = $(Q_{n-1} + Q_n) \times \frac{1}{2} \times (T_n - T_{n-1}) \times 3600$
 $= (0 - 96,125) \times \frac{1}{2} \times (1 + 0) \times 3600$
 $= 173024,174 \text{ m}^3$

Hasil dari analisis banjir rancangan dapat dilihat pada **Tabel 5.13**.

5.7 Aliran Dasar (*Baseflow*)

Berikut adalah perhitungan aliran dasar (*baseflow*).

$$D = \frac{L}{A}$$

$$= \frac{382,942}{159,237}$$

$$= 2,404$$

$$QB = 0,4715 \times A^{0,6444} \times D^{0,9430}$$

$$= 0,4715 \times 159,237^{0,6444} \times 2,404^{0,9430}$$

$$= 28,304 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tabel 5.13 Analisis Banjir Rancangan Kala ulang 2 Tahun

Waktu (jam)	HSS Nakayasu	Tinggi Hujan (mm/jam)						Q Limpasan (m3/s)	Q Baseflow (m3/s)	Q Banjir Rancangan (m3/s)
		1	2	3	4	5	6			
		3.420	6.840	41.037	10.943	4.104	2.052	68.395		
0	0.000	0.000						0.000	28.304	28.304
1	28.108	96.125	0.000					96.125		124.429
2	9.184	31.408	192.249	0.000				223.657		251.961
3	4.158	14.220	62.815	1153.494	0.000			1230.529		1258.833
4	2.144	7.333	28.439	376.892	307.599	0.000		720.263		748.567
5	1.184	4.048	14.667	170.637	100.504	115.349	0.000	405.205		433.509
6	0.653	2.234	8.095	88.001	45.503	37.689	57.675	239.198		267.502
7	0.361	1.233	4.468	48.572	23.467	17.064	18.845	113.648		141.952
8	0.199	0.681	2.466	26.809	12.952	8.800	8.532	60.240		88.544
9	0.110	0.376	1.361	14.797	7.149	4.857	4.400	32.940		61.244
10	0.061	0.207	0.751	8.167	3.946	2.681	2.429	18.181		46.485
11	0.033	0.114	0.415	4.508	2.178	1.480	1.340	10.035		38.339
12	0.018	0.063	0.229	2.488	1.202	0.817	0.740	5.539		33.843
13	0.010	0.035	0.126	1.373	0.663	0.451	0.408	3.057		31.361
14	0.006	0.019	0.070	0.758	0.366	0.249	0.225	1.687		29.991
15	0.003	0.011	0.038	0.418	0.202	0.137	0.124	0.931		29.235
16	0.002	0.006	0.021	0.231	0.112	0.076	0.069	0.514		28.818
17	0.001	0.003	0.012	0.127	0.062	0.042	0.038	0.284		28.588
18	0.001	0.002	0.006	0.070	0.034	0.023	0.021	0.157		28.461

Lanjutan tabel 5.13 Analisis Banjir Rancangan Kala ulang 2 Tahun

Waktu (jam)	HSS Nakayasu	Tinggi Hujan (mm/jam)						Q Limpasan (m3/s)	Q Baseflow (m3/s)	Q Banjir Rancangan (m3/s)
		1	2	3	4	5	6			
		3.420	6.840	41.037	10.943	4.104	2.052			
19	0.000	0.001	0.004	0.039	0.019	0.013	0.012	0.086	28.304	28.390
20	0.000	0.001	0.002	0.021	0.010	0.007	0.006	0.048		28.352
21	0.000	0.000	0.001	0.012	0.006	0.004	0.004	0.026		28.330
22	0.000	0.000	0.001	0.007	0.003	0.002	0.002	0.015		28.319
23	0.000	0.000	0.000	0.004	0.002	0.001	0.001	0.008		28.312
24	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.001	0.001	0.004		28.308
25	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.002		28.306
26	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001		28.305
27	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001		28.305
28	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
29	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
31	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
32	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
33	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
34	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
35	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
36	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
37	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304

Lanjutan tabel 5.13 Analisis Banjir Rancangan Kala ulang 2 Tahun

Waktu (jam)	HSS Nakayasu	Tinggi Hujan (mm/jam)						Q Limpasan (m3/s)	Q Baseflow (m3/s)	Q Banjir Rancangan (m3/s)
		1	2	3	4	5	6			
		3.420	6.840	41.037	10.943	4.104	2.052			
38	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	28.304	28.304
39	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
41	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
42	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
43	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
44	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
45	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
46	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
47	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
48	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
49	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
51	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
Q Limpasan									(m3/s)	1230.529
Q Baseflow									(m3/s)	28.304
Q Banjir Rancangan									(m3/s)	1258.833

Hasil perhitungan analisis debit banjir rancangan dapat dilihat pada **Tabel 5.13** sebagai berikut.

Tabel 5.14 Hasil Analisis Debit Banjir Rancangan

No	Kala ulang (Tahun)	Q Banjir Rancangan (m ³ /s)
1	2	1258.833
2	5	1428.976
3	10	1529.036
4	20	1618.092
5	50	1725.864

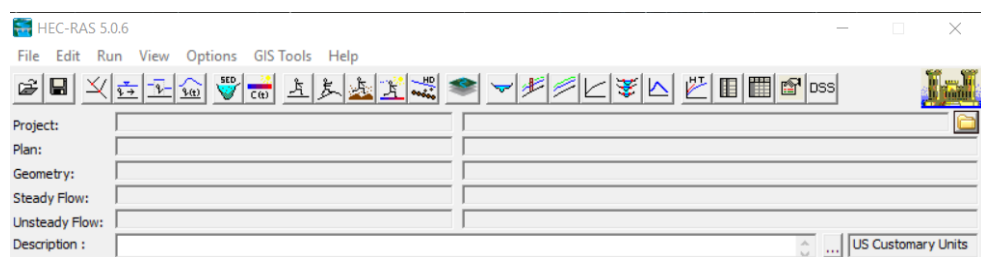
Detail hasil Analisis debit banjir rancangan dapat dilihat pada **Lampiran**.

5.8 Analisis Kapasitas dan Ketinggian Muka Air Sungai

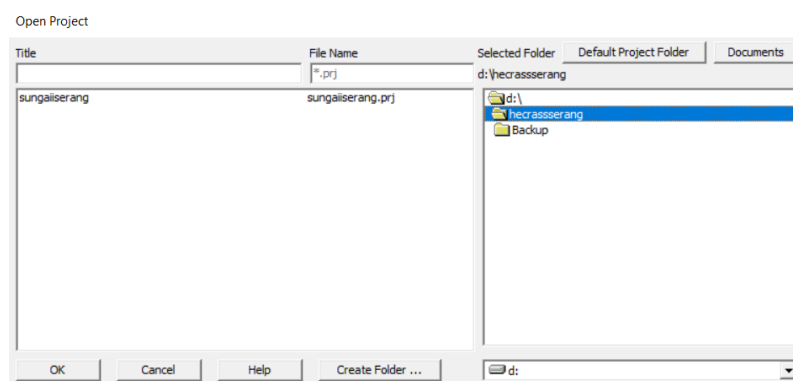
Langkah – Langkah dalam menggunakan program HEC-RAS adalah sebagai berikut.

1. Membuat project baru

Membuat proyek baru adalah menetapkan direktori tempat yang diinginkan untuk memasukkan judul dan menyimpan pekerjaan atau proyek baru. Untuk memulai proyek baru, buka menu File pada jendela utama HEC-RAS dan pilih proyek baru. Tampilan Menu utama dan tampilan pengisian nama file baru program HEC-RAS dapat dilihat pada **Gambar 5.2** dan **Gambar 5.3** dibawah ini.



Gambar 5.2 Tampilan Menu Utama Program HEC-RAS



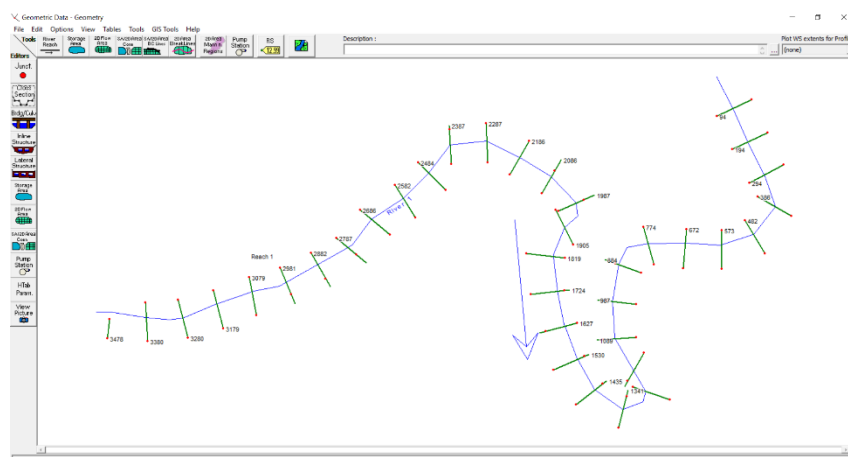
Gambar 5.3 Tampilan Pengisian Nama File Baru Program HEC-RAS

2. Memasukkan data geometri

Data geometri yang diperlukan terdiri dari skema sistem saluran dan data *cross section*. Data geometri dimasukkan dengan cara memilih *Geometric Data* pada jendela utama program HEC-RAS.

a. Menggambar skema alur sungai

Menggambar skema alur sungai dengan cara memilih tombol *River Reach* kemudian menggambar alur dari hulu ke hilir. Setelah selesai menggambar alur sungai, masukkan nama saluran sungai dan ruas (reach). Tampilan skema alur sungai dapat dilihat pada **Gambar 5.4** dibawah ini.

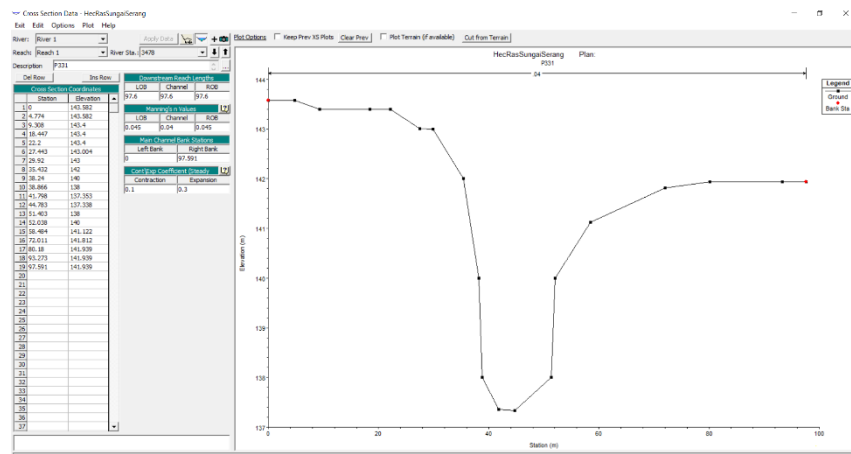


Gambar 5.4 Tampilan Skema Alur Sungai Program HEC-RAS

b. Memasukkan data *cross section*

Memasukkan data *cross section* dengan cara memilih tombol *cross section*. Pilih saluran sungai dan ruas sungai yang akan di masukkan data *cross*

section. Kemudian pada menu options pilih Add a New *cross section* dan masukkan data. Setelah semua data dimasukkan tekan tombol apply data dan save geometri data pada menu file. Tampilan input data *cross section* dapat dilihat pada **Gambar 5.5** dibawah ini.



Gambar 5.5 Tampilan Input Data Cross Section Program HEC-RAS

3. Memasukkan data aliran dan kondisi batas

Memasukkan data aliran dan kondisi batas dengsn cara memilih tombol menu edit dan pilih *steady flow* pada jendela utama HEC-RAS.

a. Data aliran

Data aliran yang digunakan adalah data debit rencana yang didapat dari hasil analisis hidrologi dengan menggunakan metode HSS Nakayasu. Tampilan input data debit rencana dapat dilihat pada **Gambar 5.6** dibawah ini.

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates	
River	Reach	RS	PF 1	
1 River 1	Reach 1	3478	1500.732	

Gambar 5.6 Tampilan Input Data Debit Rencana

b. Kondisi Batas

Untuk memasukkan data kondisi batas pilih tombol *Boundary Conditions*.

Terdapat 4 tipe kondisi batas :

a. Known Water Surface Elevations.

Pada kondisi ini harus memasukkan elevasi permukaan air yang di ketahui untuk setiap profil yang akan dihitung.

b. Critical Depth

Pada kondisi ini, pengguna tidak diharuskan memasukkan informasi lebih lanjut. Program ini akan menghitung kedalaman kritis pada masing masing profil dan menggunakannya sebagai kondisi batas.

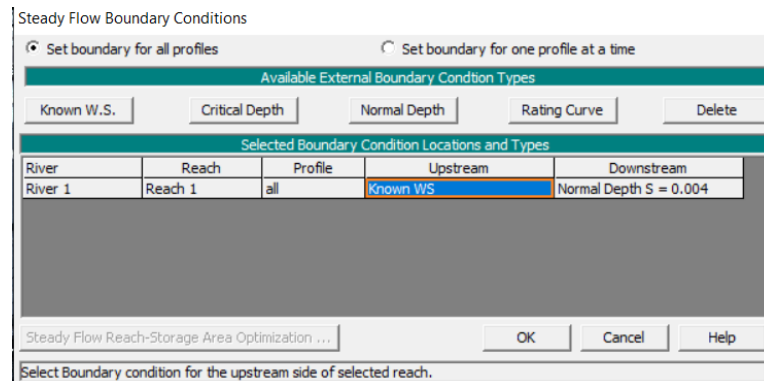
c. Normal Depth

Pada kondisi ini, pengguna diminta untuk memasukkan kemiringan energi yang akan digunakan dalam menghitung kedalaman normal (menggunakan persamaan manning). Kedalaman normal akan dihitung untuk setiap profil berdasarkan kemiringan yang akan dimasukkan. Kemiringan energi dapat diperkirakan dengan menggunakan kemiringan rata rata saluran atas kemiringan rata rata permukaan air di sekitar penampang.

d. Rating Curve

Pada kondisi ini, pengguna diminta memasukkan kurva peringkat elevasi versus aliran. Untuk setiap profil, elevasi diinterpolasi dan kurva peringkat yang diberikan aliran, menggunakan interpolasi linier antara titik yang dimasukkan pengguna.

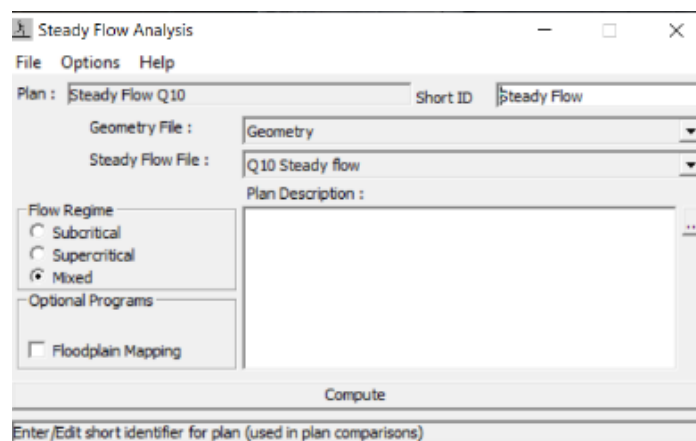
Pada bagian *Upstream* parameter yang digunakan adalah Known .WS dengan menggunakan nilai hasil HSS Nakayasu sebesar 1500,732 m³/s dan tinggi muka air normal yang di dapat dari *cross section* peta topografi sebesar 123,370 m. Pada bagian *Downstream* parameter yang digunakan adalah Normal Depth dengan menggunakan nilai kekasaran manning sebesar 0.04. Setelah semua data aliran dan kondisi batas dimasukkan, pilih tombol *save flow data* pada menu file. Tampilan menu *Boundary Conditions* dapat dilihat pada **Gambar 5.7** dibawah ini.



Gambar 5.7 Tampilan Menu *Boundary Conditions* Program HEC-RAS

4. Melakukan perhitungan hidrolika

Semua data geometri dan data aliran dimasukkan, maka pengguna dapat melakukan perhitungan profil muka air. Melakukan perhitungan profil muka air dengan cara simulasi. Pilih *Steady Flow Analysis* menu *Run* pada jendela utama menu HEC-RAS dan pilih aliran (plan) yang akan dihitung. Perhitungan dilakukan dengan memilih tombol compute pada jendela *Steady Flow Analysis*. Data hasil perhitungan dapat dilihat pada menu *Profile Summary Table*. Tampilan *Steady Flow Analysis* dan *Profile Summary Table* dapat dilihat pada **Gambar 5.8** dan **Gambar 5.9** dibawah ini.



Gambar 5.8 Tampilan *Steady Flow Analysis* Program HEC-RAS

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: Steady Flow 10 Tahun River: River 1 Reach: Reach 1 Profile: PF 1

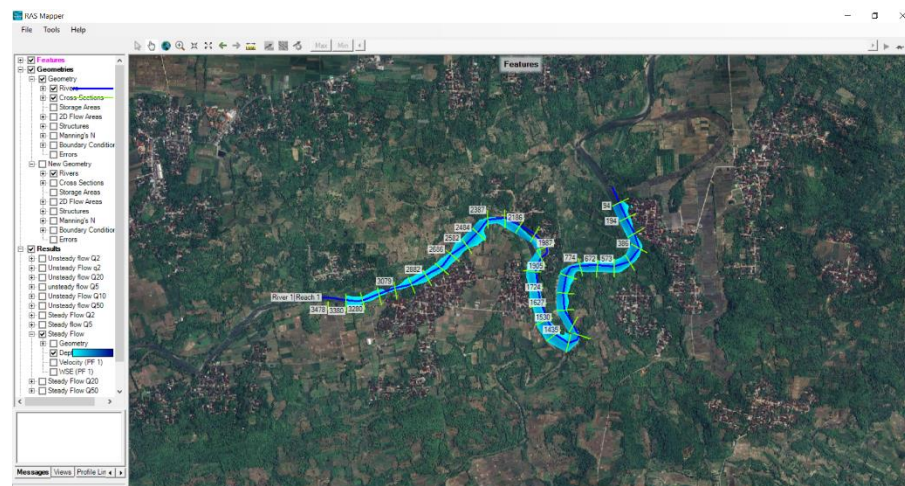
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chrt (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Produce # Ch
Reach 1	1478	PF 1	1500.73	137.54	144.52	144.52	145.96	0.012116	5.32	203.16	97.59	1.00
Reach 1	1380	PF 1	1500.73	136.00	143.78	143.13	144.88	0.006483	4.64	323.32	84.16	0.76
Reach 1	1380	PF 1	1500.73	135.92	143.26		144.21	0.006048	4.32	347.53	97.20	0.73
Reach 1	1179	PF 1	1500.73	135.21	141.99	141.98	143.33	0.011929	5.14	291.83	108.25	1.00
Reach 1	1070	PF 1	1500.73	134.60	140.95	140.83	142.20	0.010377	4.96	302.86	106.99	0.94
Reach 1	1081	PF 1	1500.73	134.00	141.03		141.51	0.002636	3.08	488.03	123.07	0.49
Reach 1	1082	PF 1	1500.73	134.00	140.92		141.27	0.001844	2.62	572.84	126.03	0.40
Reach 1	1787	PF 1	1500.73	132.97	140.78		141.11	0.001576	2.57	585.56	130.56	0.39
Reach 1	1686	PF 1	1500.73	132.89	140.48		140.91	0.002274	2.93	513.01	125.58	0.46
Reach 1	1582	PF 1	1500.73	132.83	140.20		140.66	0.002521	3.01	499.19	125.57	0.48
Reach 1	1484	PF 1	1500.73	132.63	139.94		140.42	0.002594	3.05	491.31	121.82	0.48
Reach 1	1387	PF 1	1500.73	131.97	139.71		140.17	0.002497	3.00	500.34	127.80	0.48
Reach 1	1287	PF 1	1500.73	131.82	138.62		139.71	0.007343	4.61	325.54	98.60	0.80
Reach 1	1186	PF 1	1500.73	131.00	138.43		139.04	0.003931	3.46	434.08	125.59	0.59
Reach 1	1086	PF 1	1500.73	130.74	136.91		138.32	0.011909	5.26	285.21	100.79	1.00
Reach 1	1087	PF 1	1500.73	130.00	136.02	135.51	137.06	0.006846	4.51	332.77	98.14	0.78
Reach 1	1052	PF 1	1500.73	129.76	135.93		136.52	0.004274	3.67	408.66	116.45	0.63
Reach 1	1010	PF 1	1500.73	128.95	135.56		136.16	0.003552	3.44	435.86	117.91	0.57
Reach 1	1724	PF 1	1500.73	127.99	134.88		135.72	0.005586	4.07	369.12	109.12	0.71
Reach 1	1627	PF 1	1500.73	127.89	134.37		135.16	0.005646	3.92	382.98	120.70	0.70
Reach 1	1530	PF 1	1500.73	127.86	133.78		134.61	0.005551	4.04	371.66	110.81	0.70
Reach 1	1435	PF 1	1500.73	126.95	133.75		134.15	0.002336	2.82	531.50	143.11	0.47
Reach 1	1341	PF 1	1500.73	126.93	133.57		133.94	0.001970	2.68	559.46	142.47	0.43
Reach 1	1254	PF 1	1500.73	126.81	133.20		133.72	0.003025	3.19	471.09	128.15	0.51
Reach 1	1189	PF 1	1500.73	126.00	133.02		133.51	0.003081	3.09	485.05	140.08	0.53
Reach 1	1089	PF 1	1500.73	125.98	132.07		133.05	0.005817	4.37	345.67	95.62	0.73
Reach 1	987	PF 1	1500.73	125.79	131.47		132.46	0.005802	4.39	342.23	95.39	0.73
Reach 1	884	PF 1	1500.73	125.00	131.15		131.89	0.004035	3.80	394.69	100.79	0.61
Reach 1	774	PF 1	1500.73	123.99	130.67		131.40	0.004875	3.80	395.09	115.39	0.66
Reach 1	672	PF 1	1500.73	123.91	130.18		130.90	0.004853	3.74	401.44	121.52	0.66
Reach 1	573	PF 1	1500.73	123.00	129.69		130.42	0.004701	3.80	394.57	113.69	0.65
Reach 1	482	PF 1	1500.73	122.91	129.30		129.99	0.004955	3.67	408.93	121.99	0.64
Reach 1	388	PF 1	1500.73	122.85	128.03		129.59	0.005191	3.29	455.76	122.61	0.55
Reach 1	294	PF 1	1500.73	121.96	128.22		129.14	0.006667	4.25	353.14	112.63	0.77
Reach 1	194	PF 1	1500.73	121.87	127.42		128.44	0.007167	4.47	335.36	105.06	0.80
Reach 1	94	PF 1	1500.73	120.88	126.16	126.16	127.49	0.012071	5.12	293.28	110.95	1.01

Total flow in cross section.

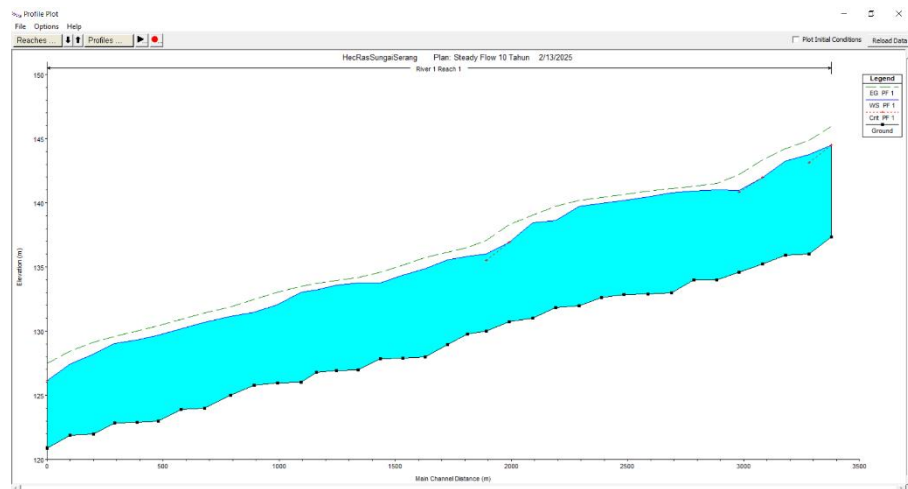
Gambar 5.9 Tampilan *Profile Summary Table* Program HEC-RAS

5. Menampilkan dan mencetak hasil

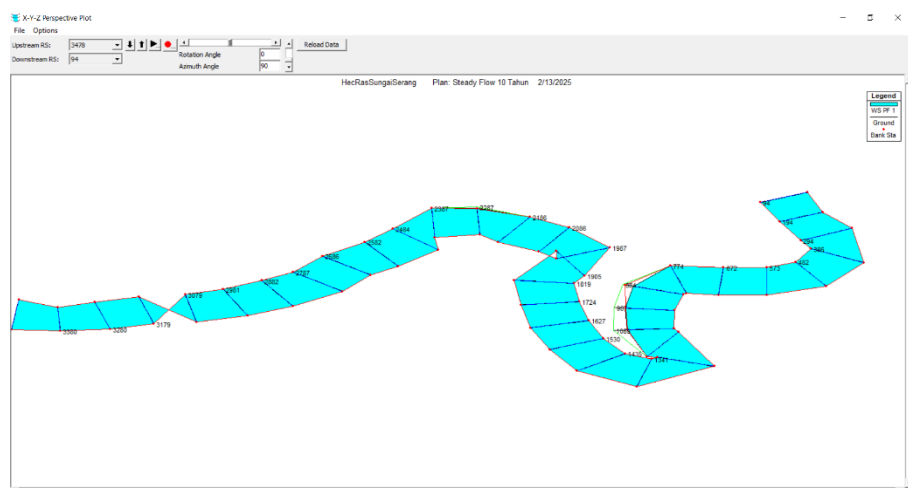
Setelah perhitungan profil muka air selesai, hasil dapat ditampilkan pada menu *View* pada jendela utama HEC-RAS. Tampilan *RAS Mapper*, *Profile Plot* dan *X-Y-Z Perspective Plot* dapat dilihat pada **Gambar 5.10**, **Gambar 5.11** dan **Gambar 5.12** dibawah ini.



Gambar 5.10 Tampilan *RAS Mapper* Program HEC-RAS



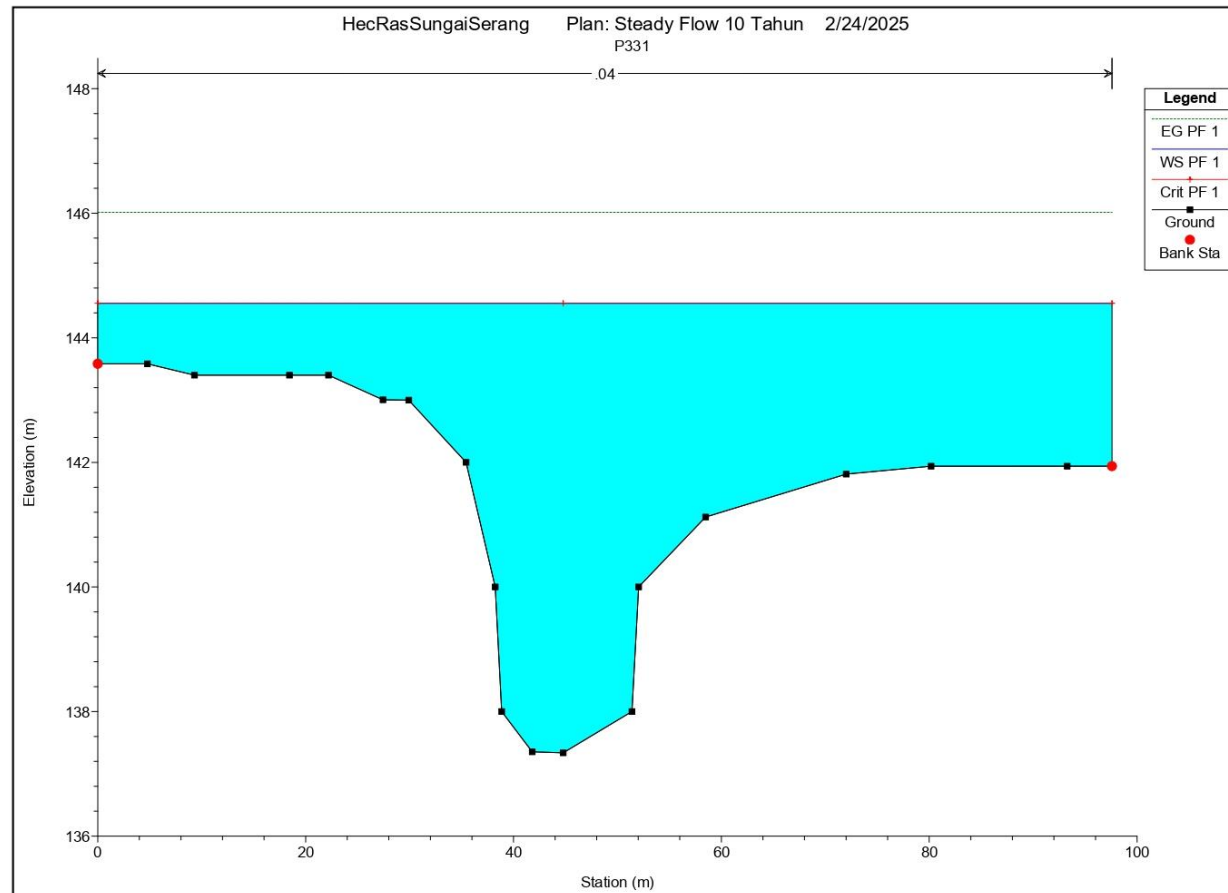
Gambar 5.11 Tampilan *Profile Plot* Program HEC-RAS



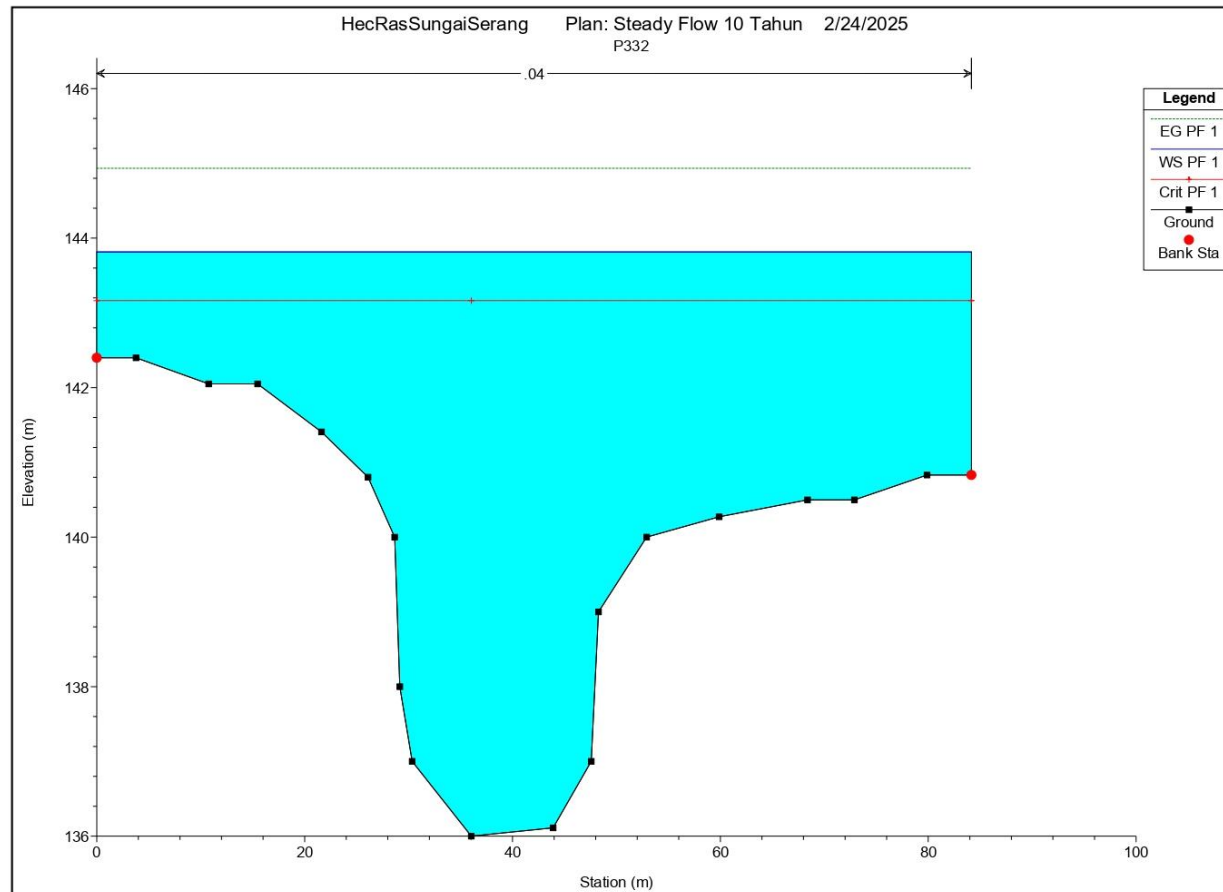
Gambar 5.12 Tampilan *X-Y-Z Perspective Plot* Program HEC-RAS

Berikut adalah beberapa gambar muka air sungai serang pada saat banjir.

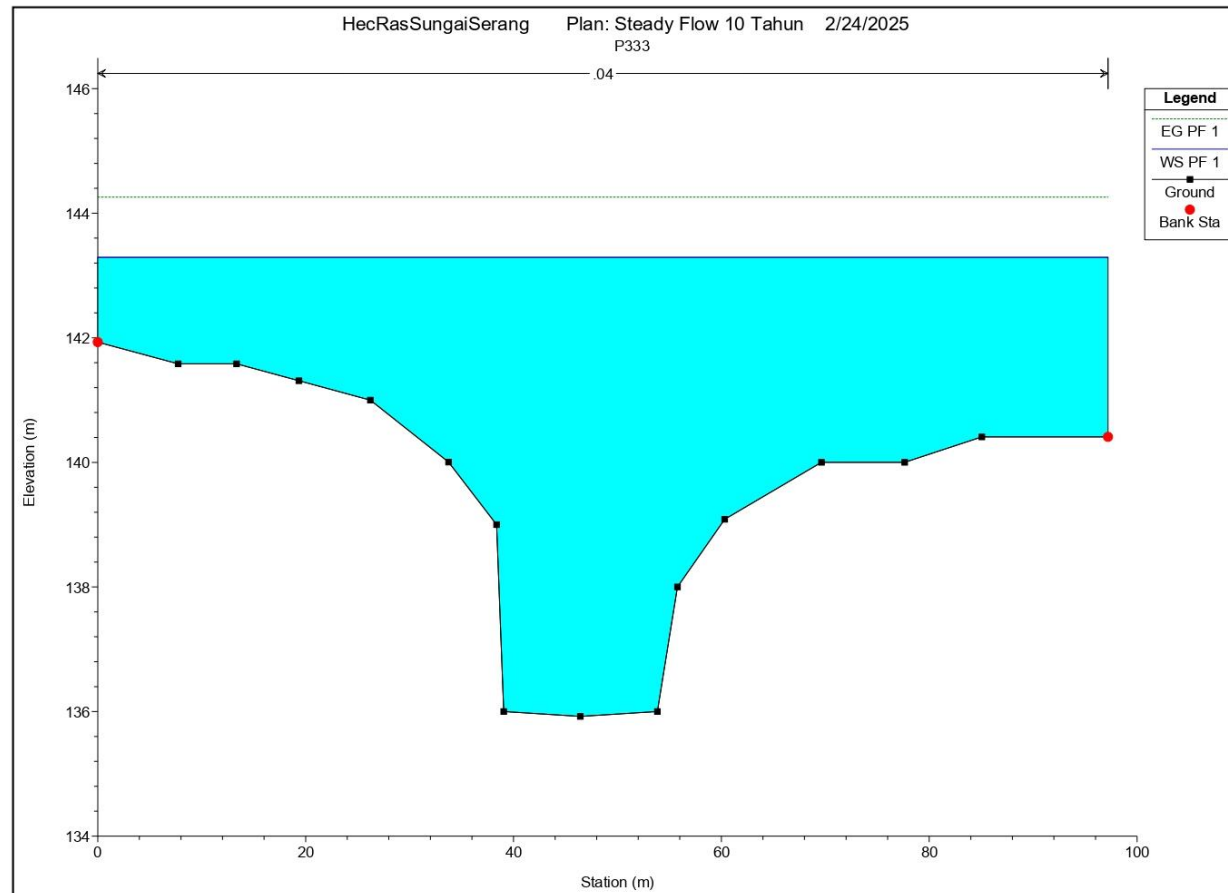
Gambar 5.13 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.331



Gambar 5.14 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.332



Gambar 5.15 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.333



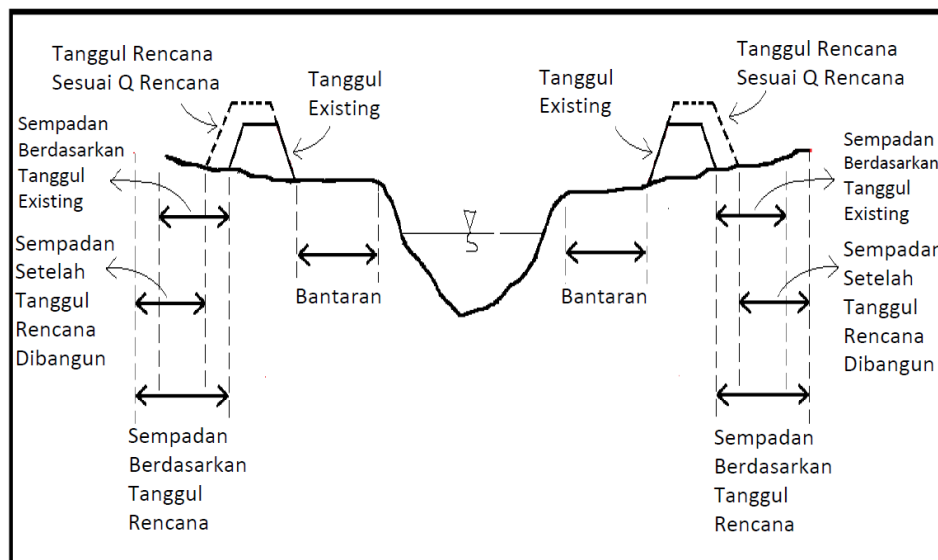
Hasil dari analisis kapasitas dan ketinggian muka air lebih lanjut dapat dilihat pada **Lampiran**.

5.9 Pemilihan Bangunan Dalam Penanggulangan Banjir

Berdasarkan pada hasil analisis diatas maka di perlukan nya bangunan penanggulangan banjir. Bangunan ini bertujuan untuk mencegah air sungai meluap ke daerah sekitar sungai. Oleh karena itu diperlukannya bangunan untuk penanggulangan banjir. Acuan yang digunakan dalam pemilihan bangunan penanggulangan banjir ini adalah Permen PUPR No 28 Tahun 2015 tentang sempadan sungai. Berikut adalah beberapa ketentuan dalam penentuan bangunan penanggulangan banjir :

1. Ibukota Kabupaten/Kota untuk mengalirkan debit rencana ($Q_{10} - Q_{20}$)
2. Ibukota Provinsi untuk mengalirkan debit rencana ($Q_{20} - Q_{50}$)
3. Ibukota Negara/Metropolitan untuk mengalirkan debit rencana ($Q_{50} - Q_{100}$)

Berdasarkan pada ketentuan, Boyolali masuk dalam ketentuan pertama yaitu Ibukota Kabupaten/Kota. Perencanaan penanggulangan banjir pada sempadan sungai akan menggunakan debit kala ulang 10 tahun. Gambar penentuan sempadan sungai dapat dilihat pada **Gambar 5.16** sebagai berikut.



Gambar 5.16 Penentuan Sempadan Sungai
(Sumber: Permen PUPR No 28, 2015)

Bangunan yang dipilih untuk penanggulangan banjir adalah tanggul. Dipilihnya tanggul, karena lokasi sungai yang tidak terlalu dekat dengan pemukiman penduduk dan ketersediaan material bangunan yang mudah diakses sehingga pembangunan tanggul lebih hemat dan efisien. Hal ini juga mempertimbangkan dampak lingkungan sehingga memungkinkan pemeliharaan fungsi ekosistem sungai tanpa merugikan kawasan pemukiman. Dalam membuat desain tanggul terdapat ketentuan dalam menentukan tinggi jagaan dan lebar tanggul (*freeboard*). Tabel tinggi jagaan dan lebar puncak tanggul dapat dilihat pada **Tabel 5.14** dan **Tabel 5.15** dibawah ini.

Tabel 5.15 Tinggi Jagaan

Debit Banjir Rencana (m ³ /s)	Tinggi Jagaan (m)
< 200	0,60
200 – 500	0,80
500 – 2000	1,00
2000 – 5000	1,20
5000 - 10000	1,50

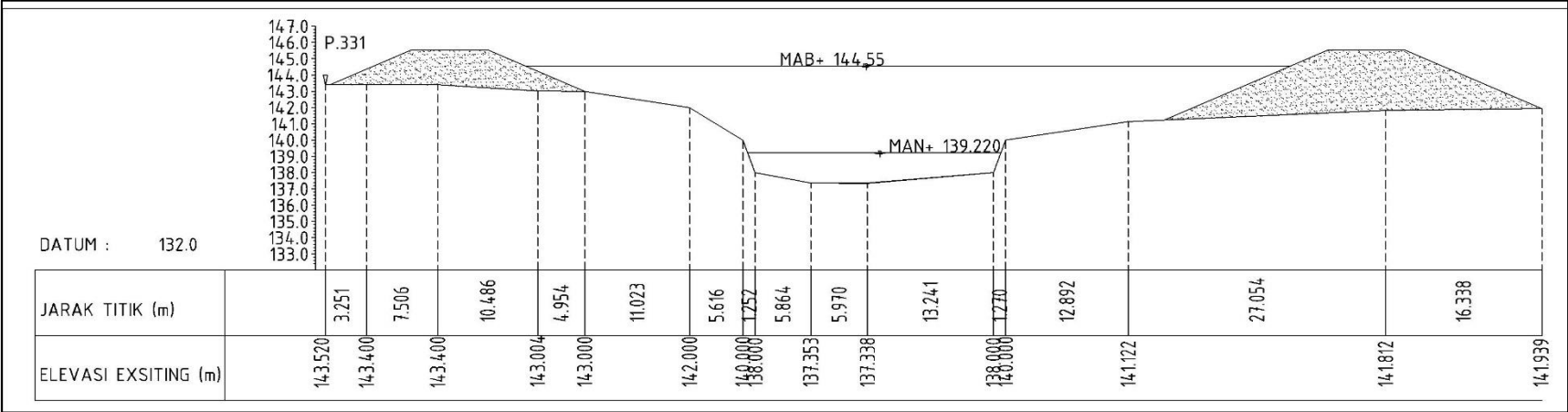
(Sumber: Modul Dasar Perencanaan Alur dan Bangunan Sungai PUPR, 2017)

Tabel 5.16 Lebar Puncak Tanggul

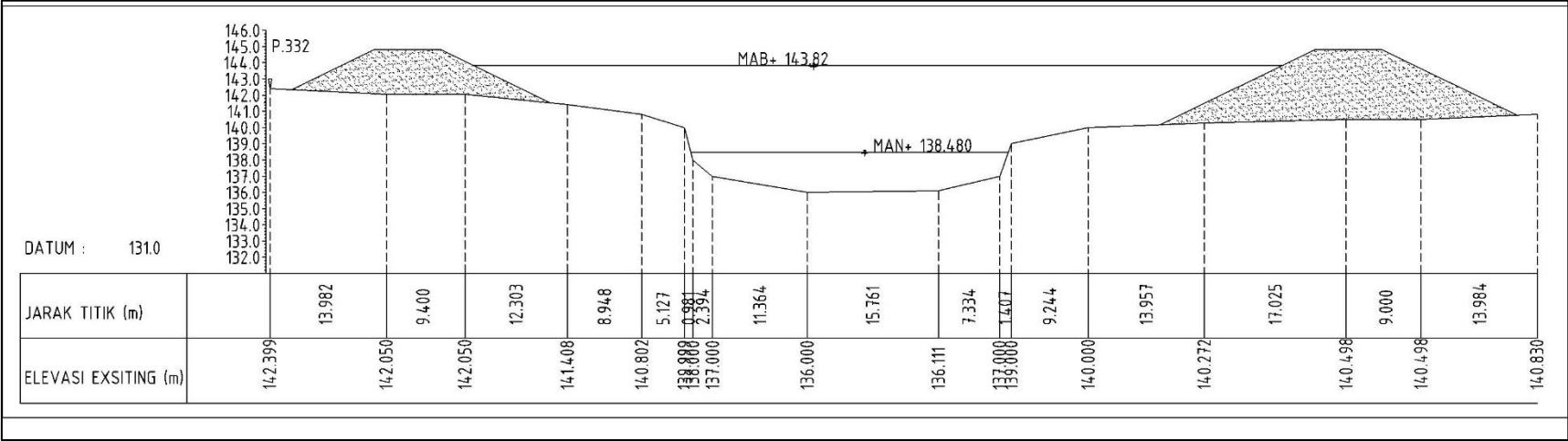
Debit Banjir Rencana (m ³ /s)	Lebar Tanggul (m)
< 500	3
500 - 2000	4
2000 - 5000	5
5000 – 10000	6
> 10000	7

(Sumber: Modul Dasar Perencanaan Alur dan Bangunan Sungai PUPR, 2017)

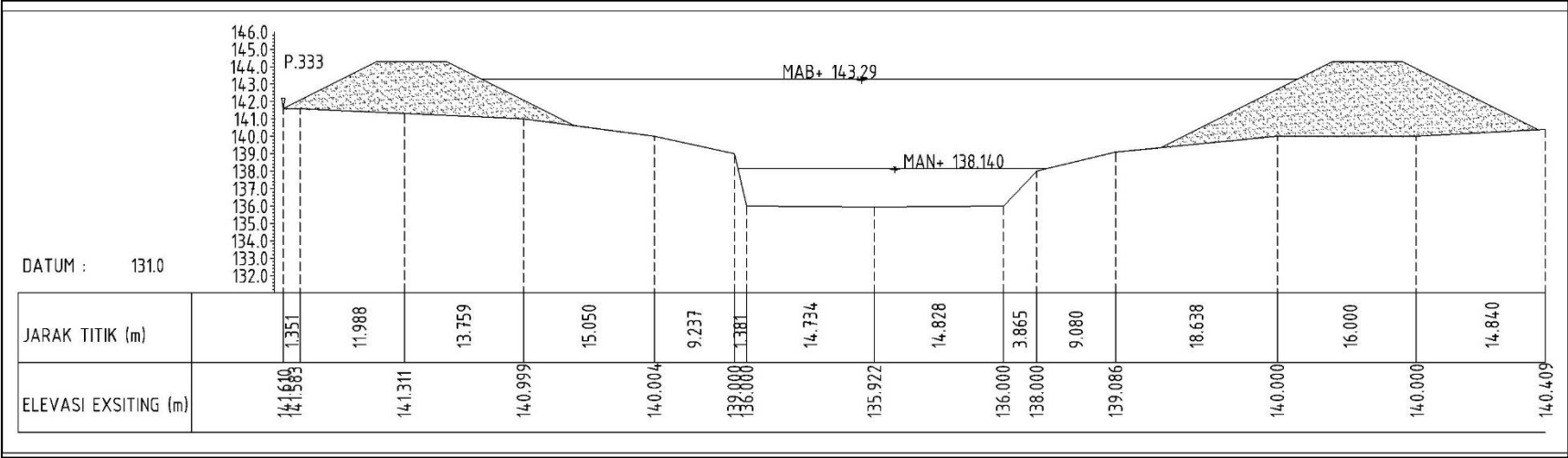
Gambar 5.16 Desain Tanggul Pada Cross Section P.331



Gambar 5.17 Desain Tanggul Pada Cross Section P.332



Gambar 5.18 Desain Tanggul Pada Cross Section P.333



5.10 Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis, pada kala ulang 2 tahun Sungai Serang mengalami banjir yang menggenangi seluruh wilayah sungai. Sesusai dengan Permen PUPR No. 28 Tahun 2015 tentang sempadan sungai, Ibukota Kabupaten/Kota menggunakan debit rencana kala ulang 10 sampai dengan kala ulang 20 tahun, sehingga data debit yang digunakan adalah data debit kala ulang 10 tahun sampai dengan 20 tahun. Hasil analisis dengan dengan debit kala ulang 10 sampai dengan 20 tahun mendapatkan bahwa masih terjadi banjir pada Sungai Serang.

Pada penelitian terdahulu di wilayah Sungai Takalla dan Sungai Bolifar mendapatkan hasil bahwa pada kala ulang 2 tahun kedua sungai tersebut sudah mengalami banjir, tetapi hanya beberapa wilayah yang tergenang. Hal ini menunjukkan bahwa sungai-sungai di indonesia rawan banjir, sehingga memerlukan perhatian khusus dalam pengelolaan sungai pada saat terjadi banjir.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil analisis, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Tinggi muka air pada Sungai Serang pada saat banjir adalah sebagai berikut..

Kala ulang 2 tahun = 144,20 m

Kala ulang 5 tahun = 144,42 m

Kala ulang 10 tahun = 144,52 m

Kala ulang 20 tahun = 144,67 m

Kala ulang 50 tahun = 144,80 m

2. Hasil perhitungan debit banjir dengan metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) dapat dilihat pada Tabel sebagai berikut.

Tabel 6.1 Hasil perhitungan debit banjir dengan metode HSS

No	Kala ulang (Tahun)	Q Banjir Rancangan (m ³ /s)
1	2	1258.833
2	5	1428.976
3	10	1529.036
4	20	1618.092
5	50	1725.864

3. Dari hasil analisis hidrolika menggunakan program HEC-RAS diperoleh hasil bahwa terjadi luapan banjir dengan kala ulang 2, 5, 10, 20 dan 50 tahun pada seluruh wilayah sehingga diperlukan tanggul atau dinding penahan di sepanjang sungai. Berdasarkan pada Permen PUPR No 28 Tahun 2015 tentang sempadan sungai menyebutkan bahwa untuk Ibukota Kabupaten/Kota menggunakan data debit kala ulang 10 sampai dengan 20 tahun. Data debit yang digunakan untuk analisis hidrolika adalah data debit kala ulang 10 tahun sampai dengan 20 tahun.

6.2 Saran

1. Diperlukan adanya pembuatan tanggul atau dinding penahan di sepanjang sungai untuk mencegah terjadinya luapan banjir.
2. Agar menghasilkan hasil studi yang baik, maka harus diperhatikan kembali kelengkapan data hidrologi yang berkaitan dengan data hujan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aliansyah, Andi Muhammad. 2017. Analisis Hidrolika Aliran Sungai Bolifar dengan menggunakan HEC-RAS. Tugas Akhir. Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Armila dan Akbar, Muhammad Nur. 2021. Simulasi Komputansi Debit Sungai Takalla (Studi Kasus Dusun Takalalla Kabupaten Sinjai). Skripsi. Universitas Muhammadiyah Makassar. Makassar.
- Ansori, M. B., Edijatno, dan Soesanto, S. R. 2018. Irigasi dan Bangunan Air. Laboratorium Keairan dan Teknik Pantai, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana. SNI No. 2415:2016. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- C.D, Soemarto. 1995. Hidrologi Teknik. Erlangga. Jakarta.
- Irawan, Tedy, Haza Zainul Faizien dan Widaryanto Lilik Hendro. 2017. Analisis Genangan Banjir Menggunakan Sistem Aplikasi HEC-RAS 5.0.7 (Studi Kasus sub-DAS Sungai Dengkeng). Jurnal Skripsi. Universitas Sarjanawinata Tamansiswa. Yogyakarta
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2015. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 28 Tahun 2015 tentang Penetapan Garis Sempadan Sungai dan Garis Sempadan Danau. Kementrian PUPR. Jakarta
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2017. Modul Dasar-Dasar Perencanaan Alur Dan Bangunan Sungai Pelatihan Perencanaan Teknik Sungai. Pusat Pendidikan Dan Pelatihan Sumber Daya Air Dan Konstruksi. Bandung

- PT. Aztindo Rekapardana. 2021. ArcGis dan AutoCad Peta Sungai Serang.
- PT. Aztindo Rekapardana. 2021. Laporan Hidrologi Sungai Serang.
- Soewarno. 1995. Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisis Data, Nova, Bandung
- Sri Harto. 1993. Analisis Hidrologi. Gramedia. Jakarta.
- SSiby, Elza Patricia, L. Kawet, dan F. Halim. 2013. Studi Perbandingan Hidrograf Satuan Sintetik Pada Daerah Aliran Sungai Ranoyapo. Jurnal Skripsi. Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Triatmodjo, B. 2008. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset. Yogyakarta
- US Army Corps of Engineers Hrydrologic Engineering Center. 2024. HEC-RAS River Analysis System User's Manual. US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center.

LAMPIRAN

Lampiran 1.1 Harga K untuk metode Log Pearson III

Koefisien Kemencengan (C_s)	Kala ulang (Tahun)							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
3,0	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051	4,970	7,250
2,5	-0,360	0,518	1,250	2,262	3,048	3,845	4,652	6,600
2,2	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705	4,444	6,200
2,0	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605	4,298	5,910
1,8	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499	4,147	5,660
1,6	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388	3,990	5,390
1,4	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271	3,828	5,110
1,2	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149	3,661	4,820
1,0	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022	3,489	4,540
0,9	-0,148	0,769	1,339	2,018	2,498	2,957	3,401	4,395
0,8	-0,132	0,780	1,336	2,998	2,453	2,891	3,312	4,250
0,7	-0,116	0,790	1,333	2,967	2,407	2,824	3,223	4,105
0,6	-0,099	0,800	1,328	2,939	2,359	2,755	3,132	3,960
0,5	-0,083	0,808	1,323	2,910	2,311	2,686	3,041	3,815
0,4	-0,066	0,816	1,317	2,880	2,261	2,615	2,949	3,670
0,3	-0,050	0,824	1,309	2,849	2,211	2,544	2,856	3,525
0,2	-0,033	0,830	1,301	2,818	2,159	2,472	2,763	3,380
0,1	-0,017	0,836	1,292	2,785	2,107	2,400	2,670	3,235
0,0	0,000	0,842	1,282	2,751	2,054	2,326	2,576	3,090
-0,1	0,017	0,836	1,270	2,761	2,000	2,252	2,482	3,950
-0,2	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178	2,388	2,810
-0,3	0,050	0,853	1,245	1,643	1,890	2,104	2,294	2,675
-0,4	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029	2,201	2,540
-0,5	0,083	0,856	1,216	1,567	1,777	1,955	2,108	2,400
-0,6	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880	2,016	2,275
-0,7	0,116	0,857	1,183	1,488	1,663	1,806	1,926	2,150
-0,8	0,132	0,856	1,166	1,488	1,606	1,733	1,837	2,035
-0,9	0,148	0,854	1,147	1,407	1,549	1,660	1,749	1,910
-1,0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588	1,664	1,800
-1,2	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449	1,501	1,625
-1,4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318	1,351	1,465
-1,6	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,200	1,216	1,280
-1,8	0,282	0,799	0,945	0,035	1,069	1,089	1,097	1,130
-2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990	1,995	1,000
-2,2	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905	0,907	0,910
-2,5	0,360	0,711	0,771	0,793	0,798	0,799	0,800	0,802
-3,0	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667	0,667	0,668

Lampiran 1.2 Hasil Analisis Banjir Rancangan Kala ulang 5 Tahun

Waktu (jam)	HSS Nakayasu	Tinggi Hujan (mm/jam)						Q Limpasan (m3/s)	Q Baseflow (m3/s)	Q Banjir Rancangan (m3/s)
		1	2	3	4	5	6			
		3.893	7.785	46.711	12.456	4.671	2.336	77.852		
0	0.000	0.000						0.000	28.304	28.304
1	28.108	109.415	0.000					109.415		137.719
2	9.184	35.750	218.831	0.000				254.581		282.885
3	4.158	16.186	71.501	1312.986	0.000			1400.672		1428.976
4	2.144	8.347	32.372	429.004	350.130	0.000		819.852		848.156
5	1.184	4.607	16.695	194.230	114.401	131.299	0.000	461.232		489.536
6	0.653	2.543	9.215	100.169	51.795	42.900	65.649	272.271		300.575
7	0.361	1.404	5.086	55.287	26.712	19.423	21.450	129.362		157.666
8	0.199	0.775	2.807	30.515	14.743	10.017	9.712	68.569		96.873
9	0.110	0.428	1.549	16.843	8.137	5.529	5.008	37.494		65.798
10	0.061	0.236	0.855	9.296	4.491	3.052	2.764	20.695		48.999
11	0.033	0.130	0.472	5.131	2.479	1.684	1.526	11.422		39.726
12	0.018	0.072	0.261	2.832	1.368	0.930	0.842	6.304		34.608
13	0.010	0.040	0.144	1.563	0.755	0.513	0.465	3.480		31.784
14	0.006	0.022	0.079	0.863	0.417	0.283	0.257	1.921		30.225
15	0.003	0.012	0.044	0.476	0.230	0.156	0.142	1.060		29.364
16	0.002	0.007	0.024	0.263	0.127	0.086	0.078	0.585		28.889
17	0.001	0.004	0.013	0.145	0.070	0.048	0.043	0.323		28.627
18	0.001	0.002	0.007	0.080	0.039	0.026	0.024	0.178		28.482

Lanjutan Lampiran 1.2 Hasil Analisis Banjir Rancangan Kala ulang 5 Tahun

Waktu (jam)	HSS Nakayasu	Tinggi Hujan (mm/jam)						Q Limpasan (m3/s)	Q Baseflow (m3/s)	Q Banjir Rancangan (m3/s)
		1	2	3	4	5	6			
		3.893	7.785	46.711	12.456	4.671	2.336	77.852		
19	0.000	0.001	0.004	0.044	0.021	0.015	0.013	0.098	28.304	28.402
20	0.000	0.001	0.002	0.024	0.012	0.008	0.007	0.054		28.358
21	0.000	0.000	0.001	0.013	0.007	0.004	0.004	0.030		28.334
22	0.000	0.000	0.001	0.007	0.004	0.002	0.002	0.017		28.321
23	0.000	0.000	0.000	0.004	0.002	0.001	0.001	0.009		28.313
24	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.001	0.001	0.005		28.309
25	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.003		28.307
26	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002		28.306
27	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001		28.305
28	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
29	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
31	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
32	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
33	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
34	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
35	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
36	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
37	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304

Lanjutan Lampiran 1.2 Hasil Analisis Banjir Rancangan Kala ulang 5 Tahun

Waktu (jam)	HSS Nakayasu	Tinggi Hujan (mm/jam)						Q Limpasan (m3/s)	Q Baseflow (m3/s)	Q Banjir Rancangan (m3/s)
		1	2	3	4	5	6			
		3.893	7.785	46.711	12.456	4.671	2.336	77.852		
38	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	28.304	28.304
39	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
41	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
42	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
43	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
44	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
45	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
46	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
47	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
48	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
49	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
51	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
								Q Limpasan	(m3/s)	1400.672
								Q Baseflow	(m3/s)	28.304
								Q Banjir Rancangan	(m3/s)	1428.976

Lampiran 1.3 Hasil Analisis Banjir Rancangan Kala ulang 10 Tahun

Waktu (jam)	HSS Nakayasu	Tinggi Hujan (mm/jam)						Q Limpasan (m3/s)	Q Baseflow (m3/s)	Q Banjir Rancangan (m3/s)
		1	2	3	4	5	6			
		4.171	8.341	50.048	13.346	5.005	2.502			
0	0.000	0.000						0.000	28.304	28.304
1	28.108	117.232	0.000					117.232		145.536
2	9.184	38.304	234.464	0.000				272.768		301.072
3	4.158	17.342	76.608	1406.782	0.000			1500.732		1529.036
4	2.144	8.944	34.684	459.650	375.142	0.000		878.420		906.724
5	1.184	4.936	17.887	208.106	122.573	140.678	0.000	494.181		522.485
6	0.653	2.725	9.873	107.325	55.495	45.965	70.339	291.721		320.025
7	0.361	1.504	5.449	59.237	28.620	20.811	22.983	138.603		166.907
8	0.199	0.830	3.008	32.695	15.797	10.732	10.405	73.467		101.771
9	0.110	0.458	1.660	18.046	8.719	5.924	5.366	40.173		68.477
10	0.061	0.253	0.916	9.960	4.812	3.270	2.962	22.173		50.477
11	0.033	0.140	0.506	5.497	2.656	1.805	1.635	12.238		40.542
12	0.018	0.077	0.279	3.034	1.466	0.996	0.902	6.755		35.059
13	0.010	0.043	0.154	1.675	0.809	0.550	0.498	3.728		32.032
14	0.006	0.023	0.085	0.924	0.447	0.303	0.275	2.058		30.362
15	0.003	0.013	0.047	0.510	0.246	0.167	0.152	1.136		29.440
16	0.002	0.007	0.026	0.282	0.136	0.092	0.084	0.627		28.931
17	0.001	0.004	0.014	0.155	0.075	0.051	0.046	0.346		28.650
18	0.001	0.002	0.008	0.086	0.041	0.028	0.026	0.191		28.495

Lanjutan Lampiran 1.3 Hasil Analisis Banjir Rancangan Kala ulang 10 Tahun

Waktu (jam)	HSS Nakayasu	Tinggi Hujan (mm/jam)						Q Limpasan (m ³ /s)	Q Baseflow (m ³ /s)	Q Banjir Rancangan (m ³ /s)
		1	2	3	4	5	6			
		4.171	8.341	50.048	13.346	5.005	2.502	83.414		
19	0.000	0.001	0.004	0.047	0.023	0.016	0.014	0.105	28.304	28.409
20	0.000	0.001	0.002	0.026	0.013	0.009	0.008	0.058		28.362
21	0.000	0.000	0.001	0.014	0.007	0.005	0.004	0.032		28.336
22	0.000	0.000	0.001	0.008	0.004	0.003	0.002	0.018		28.322
23	0.000	0.000	0.000	0.004	0.002	0.001	0.001	0.010		28.314
24	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.001	0.001	0.005		28.309
25	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.003		28.307
26	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002		28.306
27	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001		28.305
28	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001		28.305
29	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
31	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
32	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
33	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
34	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
35	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
36	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
37	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304

Lanjutan Lampiran 1.3 Hasil Analisis Banjir Rancangan Kala ulang 10 Tahun

Waktu (jam)	HSS Nakayasu	Tinggi Hujan (mm/jam)						Q Limpasan (m3/s)	Q Baseflow (m3/s)	Q Banjir Rancangan (m3/s)
		1	2	3	4	5	6			
		4.171	8.341	50.048	13.346	5.005	2.502	83.414		
38	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	28.304	28.304
39	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
41	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
42	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
43	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
44	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
45	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
46	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
47	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
48	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
49	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
51	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
Q Limpasan									(m3/s)	1500.732
Q Baseflow									(m3/s)	28.304
Q Banjir Rancangan									(m3/s)	1529.036

Lampiran 1.4 Hasil Analisis Banjir Rancangan Kala ulang 20 Tahun

Waktu (jam)	HSS Nakayasu	Tinggi Hujan (mm/jam)						Q Limpasan (m ³ /s)	Q Baseflow (m ³ /s)	Q Banjir Rancangan (m ³ /s)
		1	2	3	4	5	6			
		4.418	8.836	53.018	14.138	5.302	2.651	88.364		
0	0.000	0.000						0.000	28.304	28.304
1	28.108	124.189	0.000					124.189		152.493
2	9.184	40.577	248.377	0.000				288.954		317.258
3	4.158	18.371	81.154	1490.263	0.000			1589.788		1618.092
4	2.144	9.474	36.743	486.927	397.403	0.000		930.547		958.851
5	1.184	5.229	18.949	220.455	129.847	149.026	0.000	523.507		551.811
6	0.653	2.886	10.459	113.694	58.788	48.693	74.513	309.033		337.337
7	0.361	1.593	5.773	62.752	30.318	22.046	24.346	146.828		175.132
8	0.199	0.879	3.186	34.635	16.734	11.369	11.023	77.827		106.131
9	0.110	0.485	1.759	19.117	9.236	6.275	5.685	42.557		70.861
10	0.061	0.268	0.971	10.551	5.098	3.464	3.138	23.489		51.793
11	0.033	0.148	0.536	5.824	2.814	1.912	1.732	12.964		41.268
12	0.018	0.082	0.296	3.214	1.553	1.055	0.956	7.156		35.460
13	0.010	0.045	0.163	1.774	0.857	0.582	0.528	3.949		32.253
14	0.006	0.025	0.090	0.979	0.473	0.321	0.291	2.180		30.484
15	0.003	0.014	0.050	0.540	0.261	0.177	0.161	1.203		29.507
16	0.002	0.008	0.027	0.298	0.144	0.098	0.089	0.664		28.968
17	0.001	0.004	0.015	0.165	0.080	0.054	0.049	0.367		28.671
18	0.001	0.002	0.008	0.091	0.044	0.030	0.027	0.202		28.506

Lanjutan Lampiran 1.4 Hasil Analisis Banjir Rancangan Kala ulang 20 Tahun

Waktu (jam)	HSS Nakayasu	Tinggi Hujan (mm/jam)						Q Limpasan (m3/s)	Q Baseflow (m3/s)	Q Banjir Rancangan (m3/s)
		1	2	3	4	5	6			
		4.418	8.836	53.018	14.138	5.302	2.651			
19	0.000	0.001	0.005	0.050	0.024	0.016	0.015	0.112	28.304	28.416
20	0.000	0.001	0.003	0.028	0.013	0.009	0.008	0.062		28.366
21	0.000	0.000	0.001	0.015	0.007	0.005	0.005	0.034		28.338
22	0.000	0.000	0.001	0.008	0.004	0.003	0.003	0.019		28.323
23	0.000	0.000	0.000	0.005	0.002	0.002	0.001	0.010		28.314
24	0.000	0.000	0.000	0.003	0.001	0.001	0.001	0.006		28.310
25	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.003		28.307
26	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002		28.306
27	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001		28.305
28	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001		28.305
29	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
31	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
32	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
33	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
34	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
35	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
36	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
37	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304

Lanjutan Lampiran 1.4 Hasil Analisis Banjir Rancangan Kala ulang 20 Tahun

Waktu (jam)	HSS Nakayasu	Tinggi Hujan (mm/jam)						Q Limpasan (m3/s)	Q Baseflow (m3/s)	Q Banjir Rancangan (m3/s)
		1	2	3	4	5	6			
		4.418	8.836	53.018	14.138	5.302	2.651			
38	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	28.304	28.304
39	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
41	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
42	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
43	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
44	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
45	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
46	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
47	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
48	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
49	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
51	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
Q Limpasan									(m3/s)	1589.788
Q Baseflow									(m3/s)	28.304
Q Banjir Rancangan									(m3/s)	1618.092

Lampiran 1.5 Hasil Analisis Banjir Rancangan Kala ulang 50 Tahun

Waktu (jam)	HSS Nakayasu	Tinggi Hujan (mm/jam)						Q Limpasan (m ³ /s)	Q Baseflow (m ³ /s)	Q Banjir Rancangan (m ³ /s)
		1	2	3	4	5	6			
		4.718	9.435	56.612	15.097	5.661	2.831			
0	0.000	0.000						0.000	28.304	28.304
1	28.108	132.607	0.000					132.607		160.911
2	9.184	43.328	265.215	0.000				308.542		336.846
3	4.158	19.617	86.656	1591.287	0.000			1697.560		1725.864
4	2.144	10.117	39.233	519.935	424.343	0.000		993.629		1021.933
5	1.184	5.584	20.234	235.400	138.649	159.129	0.000	558.995		587.299
6	0.653	3.082	11.168	121.401	62.773	51.994	79.564	329.982		358.286
7	0.361	1.701	6.164	67.006	32.374	23.540	25.997	156.781		185.085
8	0.199	0.939	3.402	36.983	17.868	12.140	11.770	83.103		111.407
9	0.110	0.518	1.878	20.413	9.862	6.701	6.070	45.442		73.746
10	0.061	0.286	1.036	11.267	5.443	3.698	3.350	25.081		53.385
11	0.033	0.158	0.572	6.218	3.004	2.041	1.849	13.843		42.147
12	0.018	0.087	0.316	3.432	1.658	1.127	1.021	7.641		35.945
13	0.010	0.048	0.174	1.894	0.915	0.622	0.563	4.217		32.521
14	0.006	0.027	0.096	1.046	0.505	0.343	0.311	2.328		30.632
15	0.003	0.015	0.053	0.577	0.279	0.189	0.172	1.285		29.589
16	0.002	0.008	0.029	0.319	0.154	0.105	0.095	0.709		29.013
17	0.001	0.004	0.016	0.176	0.085	0.058	0.052	0.391		28.695
18	0.001	0.002	0.009	0.097	0.047	0.032	0.029	0.216		28.520

Lanjutan Lampiran 1.5 Hasil Analisis Banjir Rancangan Kala ulang 50 Tahun

Waktu (jam)	HSS Nakayasu	Tinggi Hujan (mm/jam)						Q Limpasan (m3/s)	Q Baseflow (m3/s)	Q Banjir Rancangan (m3/s)
		1	2	3	4	5	6			
		4.718	9.435	56.612	15.097	5.661	2.831	94.354		
19	0.000	0.001	0.005	0.054	0.026	0.018	0.016	0.119	28.304	28.423
20	0.000	0.001	0.003	0.030	0.014	0.010	0.009	0.066		28.370
21	0.000	0.000	0.002	0.016	0.008	0.005	0.005	0.036		28.340
22	0.000	0.000	0.001	0.009	0.004	0.003	0.003	0.020		28.324
23	0.000	0.000	0.000	0.005	0.002	0.002	0.001	0.011		28.315
24	0.000	0.000	0.000	0.003	0.001	0.001	0.001	0.006		28.310
25	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.003		28.307
26	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002		28.306
27	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001		28.305
28	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001		28.305
29	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
31	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
32	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
33	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
34	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
35	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
36	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
37	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304

Lanjutan Lampiran 1.5 Hasil Analisis Banjir Rancangan Kala ulang 50 Tahun

Waktu (jam)	HSS Nakayasu	Tinggi Hujan (mm/jam)						Q Limpasan (m3/s)	Q Baseflow (m3/s)	Q Banjir Rancangan (m3/s)
		1	2	3	4	5	6			
		4.718	9.435	56.612	15.097	5.661	2.831			
38	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	28.304	28.304
39	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
41	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
42	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
43	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
44	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
45	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
46	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
47	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
48	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
49	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
51	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28.304
Q Limpasan									(m3/s)	1697.560
Q Baseflow									(m3/s)	28.304
Q Banjir Rancangan									(m3/s)	1725.864

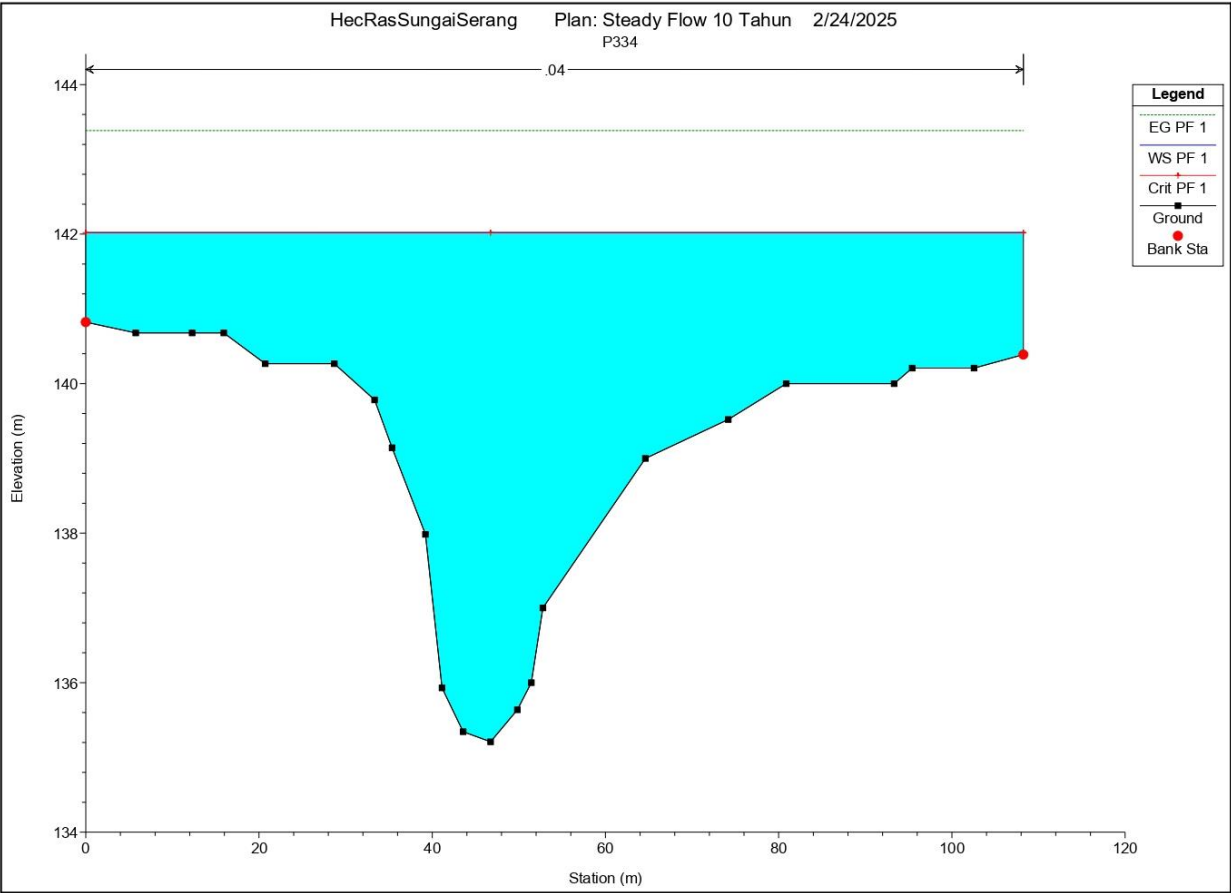
Lampiran 1.6 Profil Output Q10 *Steady Flow*

River	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
1	Q10	1529.04	137.34	144.55	144.55	146.01	0.012063	5.35	285.8	97.59	1
2	Q10	1529.04	136	143.82	143.16	144.93	0.006529	4.68	326.41	84.16	0.76
3	Q10	1529.04	135.92	143.29		144.26	0.006084	4.36	350.92	97.2	0.73
4	Q10	1529.04	135.21	142.02	142.02	143.38	0.01188	5.17	295.56	108.25	1
5	Q10	1529.04	134.6	140.99	140.87	142.25	0.010233	4.97	307.67	106.99	0.94
6	Q10	1529.04	134	141.08		141.57	0.002631	3.1	493.99	123.07	0.49
7	Q10	1529.04	134	140.97		141.32	0.001647	2.64	579.17	129.03	0.4
8	Q10	1529.04	132.97	140.82		141.17	0.001579	2.59	589.93	130.56	0.39
9	Q10	1529.04	132.89	140.52		140.97	0.002273	2.95	518.99	125.58	0.46
10	Q10	1529.04	132.83	140.25		140.72	0.002517	3.03	505.2	125.57	0.48
11	Q10	1529.04	132.63	139.99		140.47	0.002502	3.08	497.13	121.82	0.49
12	Q10	1529.04	131.97	139.76		140.22	0.00249	3.02	506.55	127.9	0.48
13	Q10	1529.04	131.82	138.66		139.76	0.007349	4.65	329.23	98.89	0.81
14	Q10	1529.04	131	138.47		139.09	0.003912	3.48	439.81	125.59	0.59
15	Q10	1529.04	130.74	136.94	136.94	138.38	0.011912	5.3	288.47	100.79	1
16	Q10	1529.04	130	136.06	135.55	137.12	0.006859	4.55	336.42	98.14	0.78
17	Q10	1529.04	129.76	135.87		136.57	0.004268	3.7	413.53	116.45	0.63
18	Q10	1529.04	128.95	135.6		136.21	0.003552	3.47	440.87	117.91	0.57

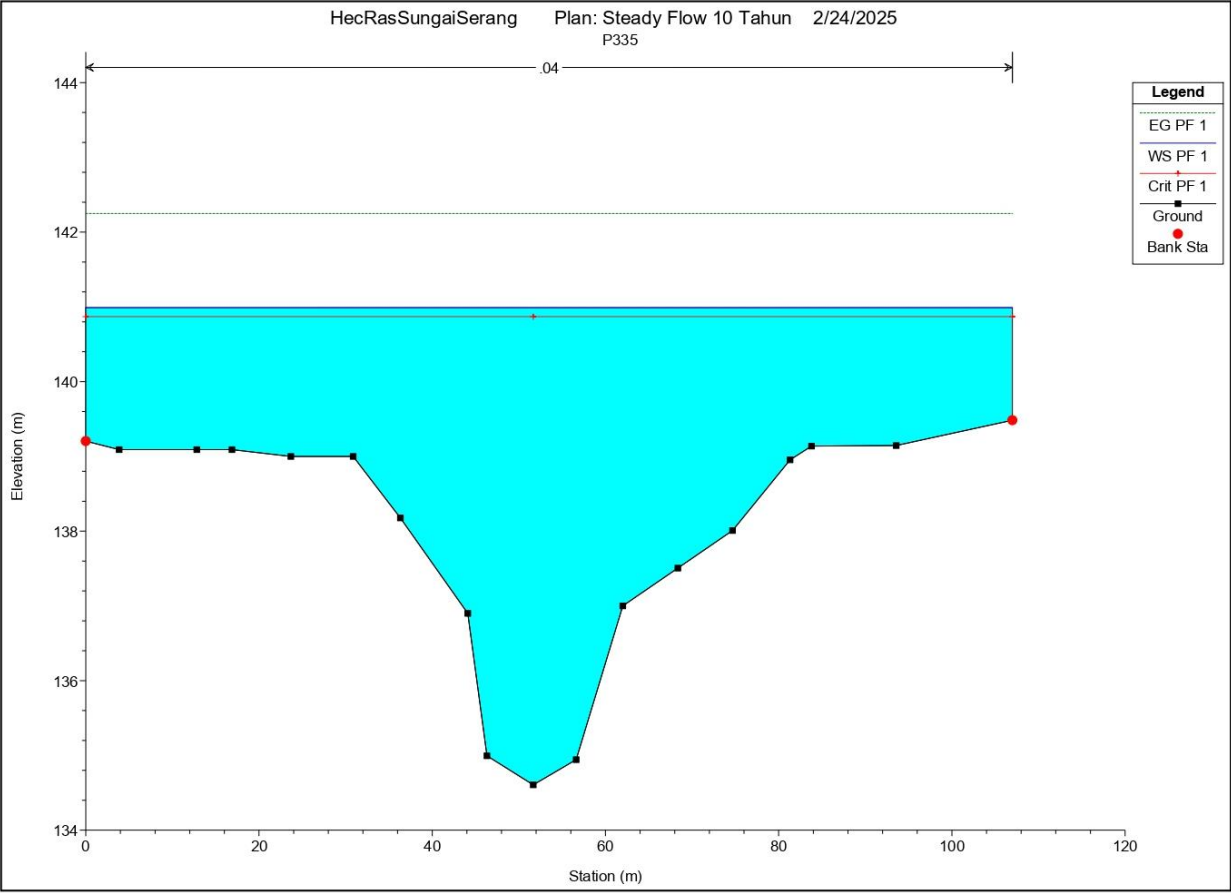
Lanjutan Lampiran 1.6 Profil Output Q10 *Steady Flow*

River	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
19	Q10	1529.04	127.99	134.91		135.77	0.005593	4.1	373.24	109.12	0.71
20	Q10	1529.04	127.89	134.41		135.21	0.005616	3.94	388	120.7	0.7
21	Q10	1529.04	127.86	133.82		134.66	0.00553	4.06	376.37	110.81	0.7
22	Q10	1529.04	126.95	133.8		134.21	0.002327	2.84	538.31	143.11	0.47
23	Q10	1529.04	126.93	133.62		133.99	0.001965	2.7	566.34	142.47	0.43
24	Q10	1529.04	126.81	133.25		133.77	0.003011	3.2	477.19	128.15	0.53
25	Q10	1529.04	126	133.07		133.56	0.00305	3.11	492.12	140.08	0.53
26	Q10	1529.04	125.98	132.12		133.1	0.005809	4.4	347.76	96.17	0.73
27	Q10	1529.04	125.79	131.51		132.51	0.005811	4.42	346.04	95.53	0.74
28	Q10	1529.04	125	131.19		131.94	0.00406	3.84	398.68	100.94	0.62
29	Q10	1529.04	123.99	130.71		131.45	0.004876	3.83	399.62	115.39	0.66
30	Q10	1529.04	123.91	130.23		130.95	0.004838	3.76	406.43	121.52	0.66
31	Q10	1529.04	123	129.73		130.48	0.004703	3.83	399.08	113.69	0.65
32	Q10	1529.04	122.91	129.34		130.04	0.004551	3.69	414.04	121.99	0.64
33	Q10	1529.04	122.85	129.08		129.64	0.003191	3.32	461	122.61	0.55
34	Q10	1529.04	121.96	128.26		129.19	0.00664	4.28	357.64	112.63	0.77
35	Q10	1529.04	121.87	127.44		128.48	0.007242	4.52	338.15	105.06	0.8
36	Q10	1529.04	120.88	126.2	126.2	127.54	0.011897	5.13	297.96	110.95	1

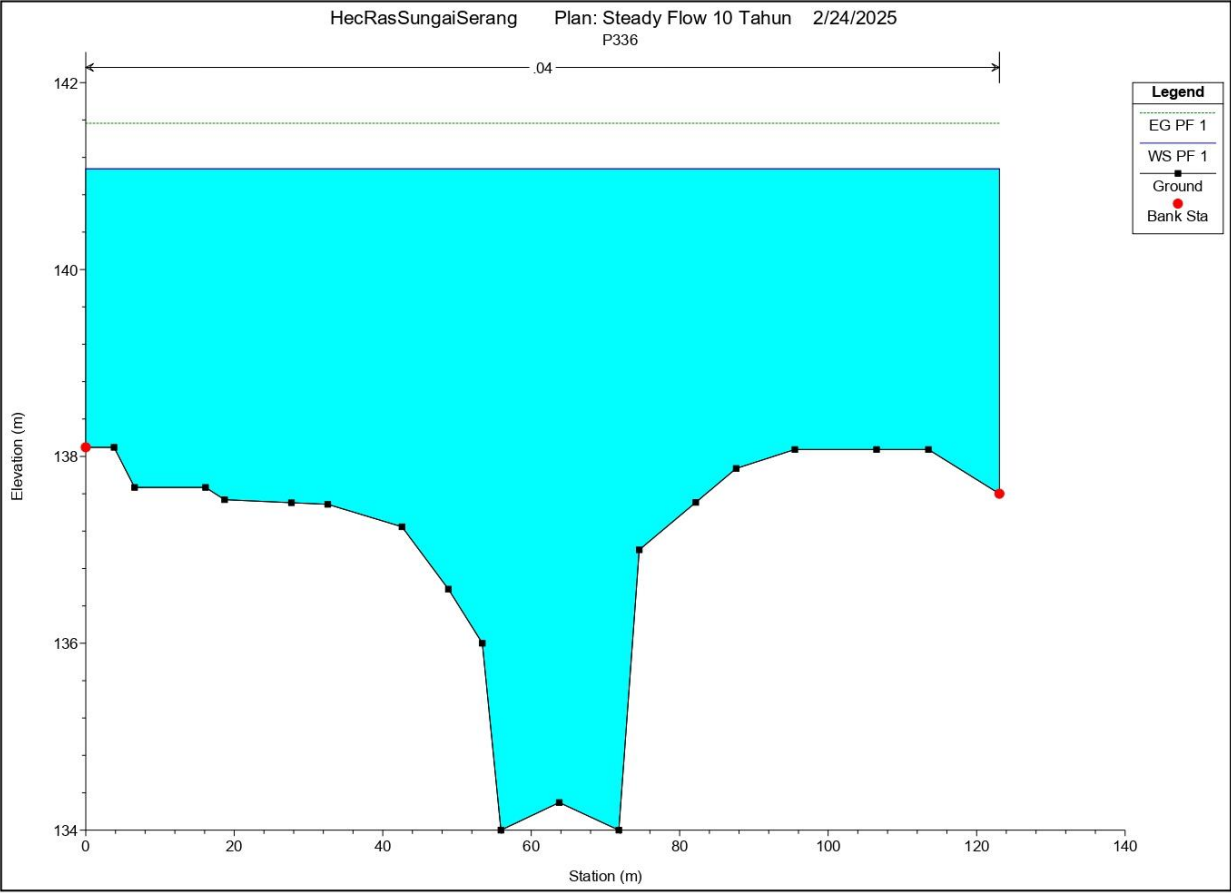
Lampiran 1.7 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.334



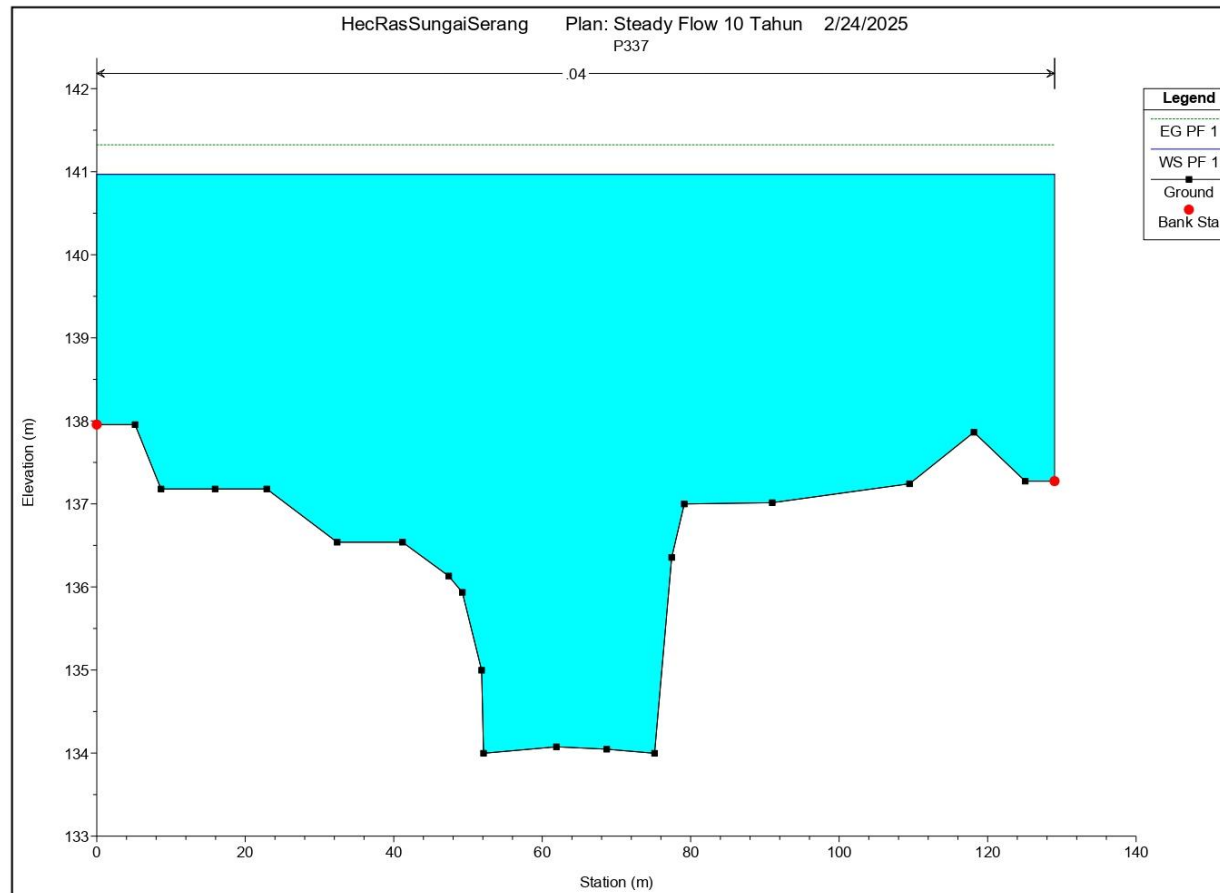
Lampiran 1.8 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.335



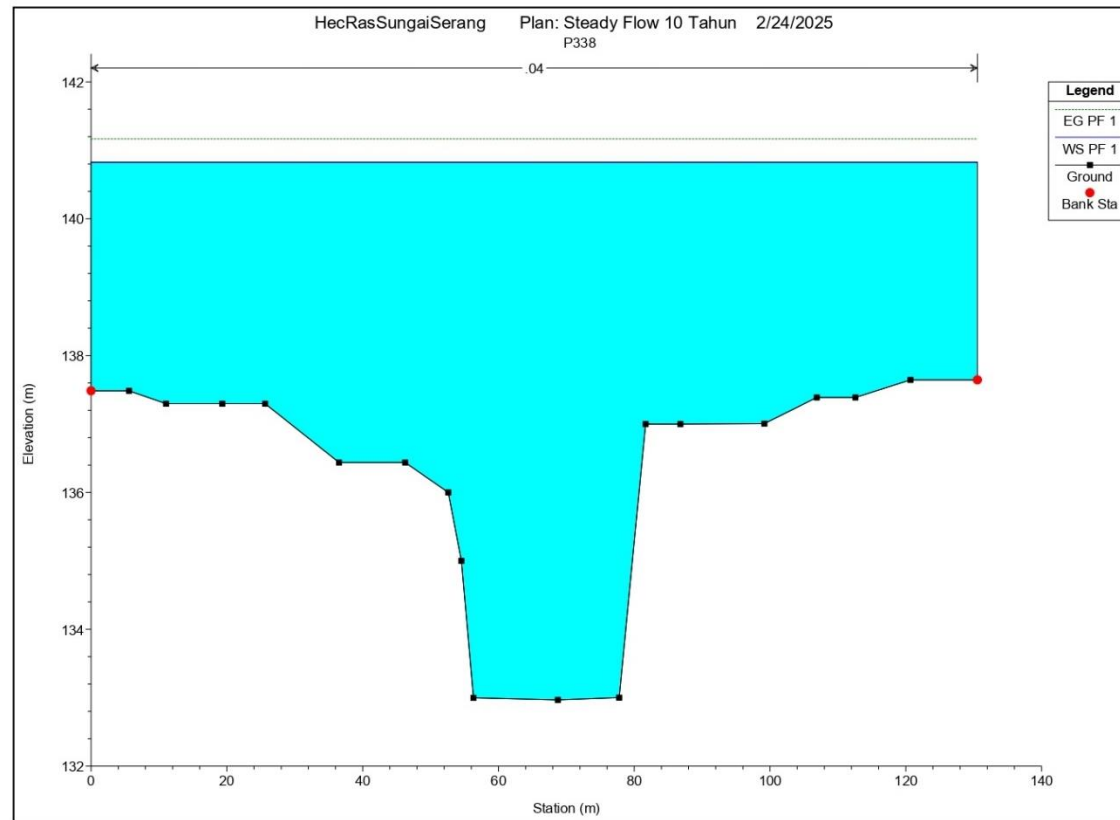
Lampiran 1.9 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.336



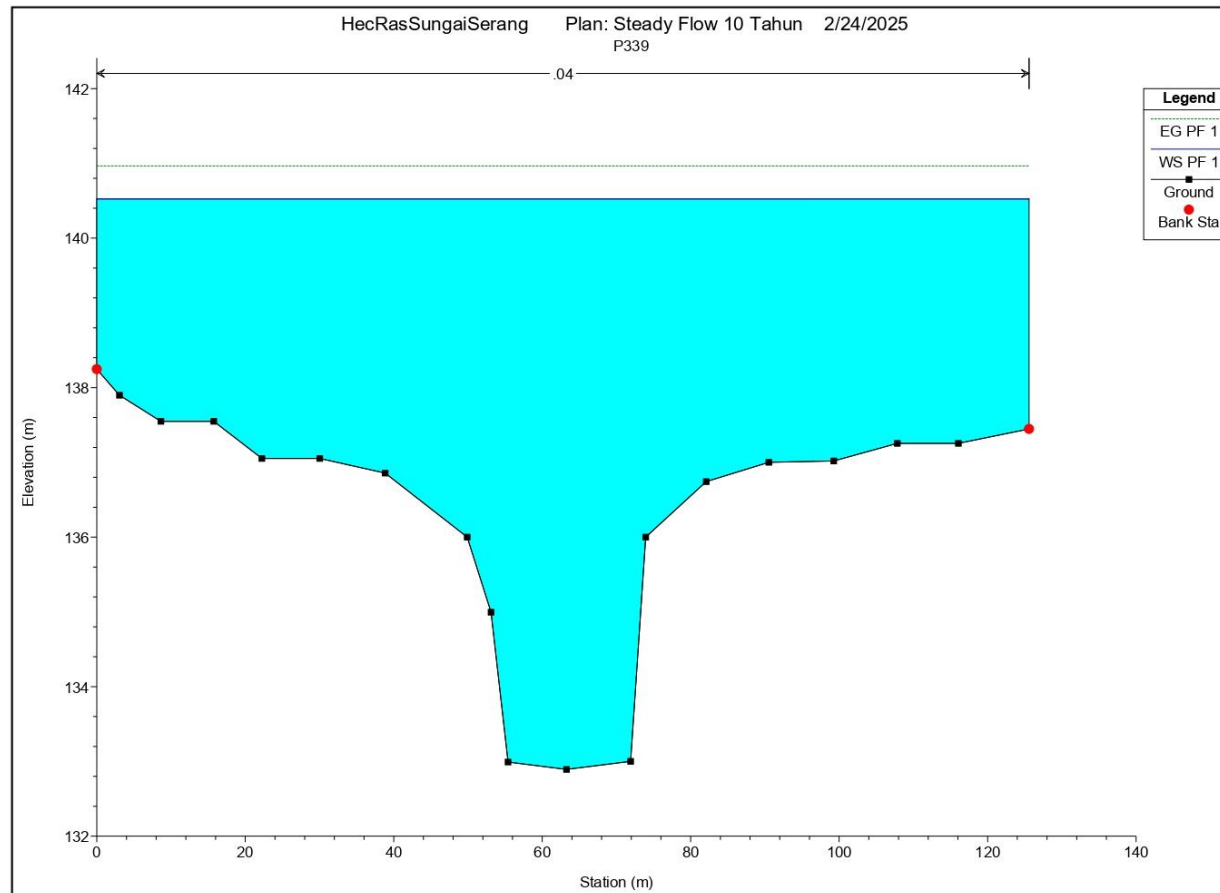
Lampiran 1.10 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.337



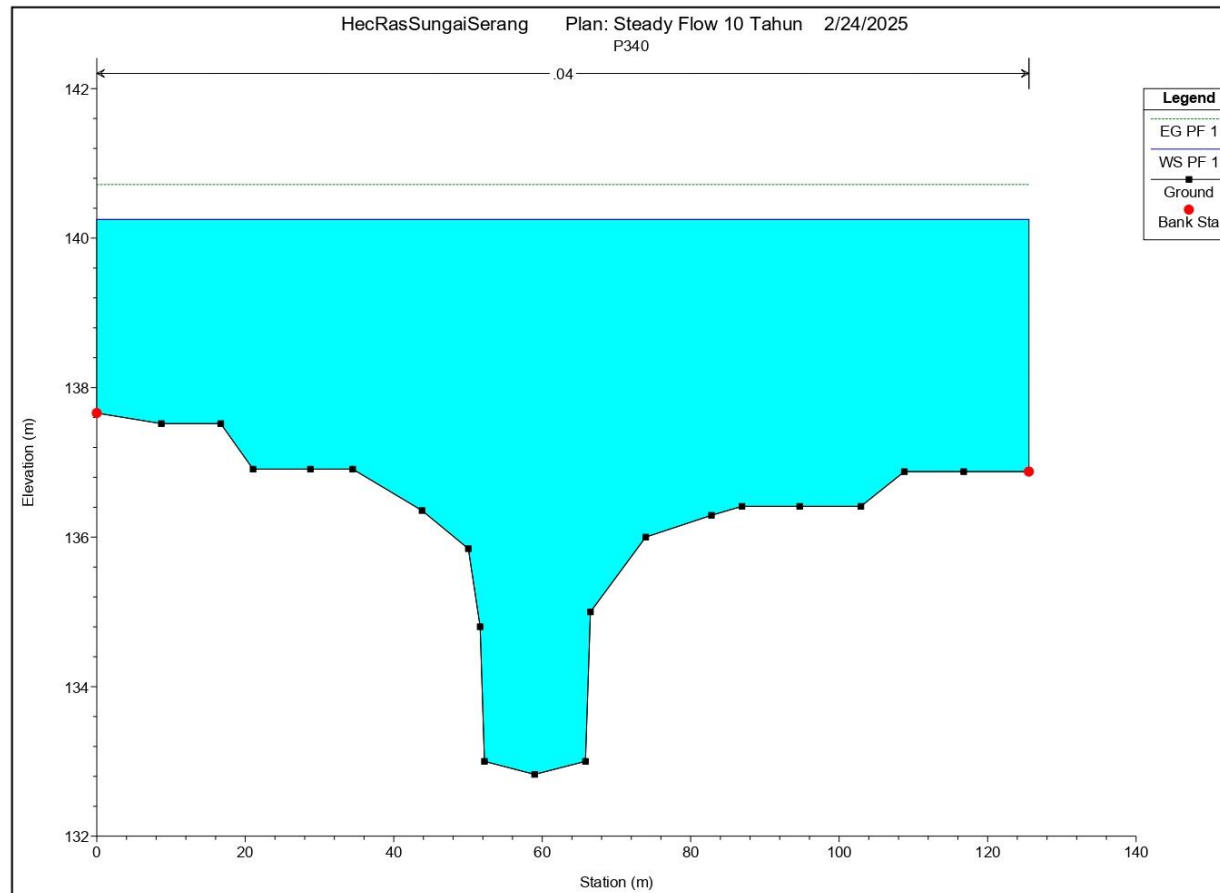
Lampiran 1.11 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.338



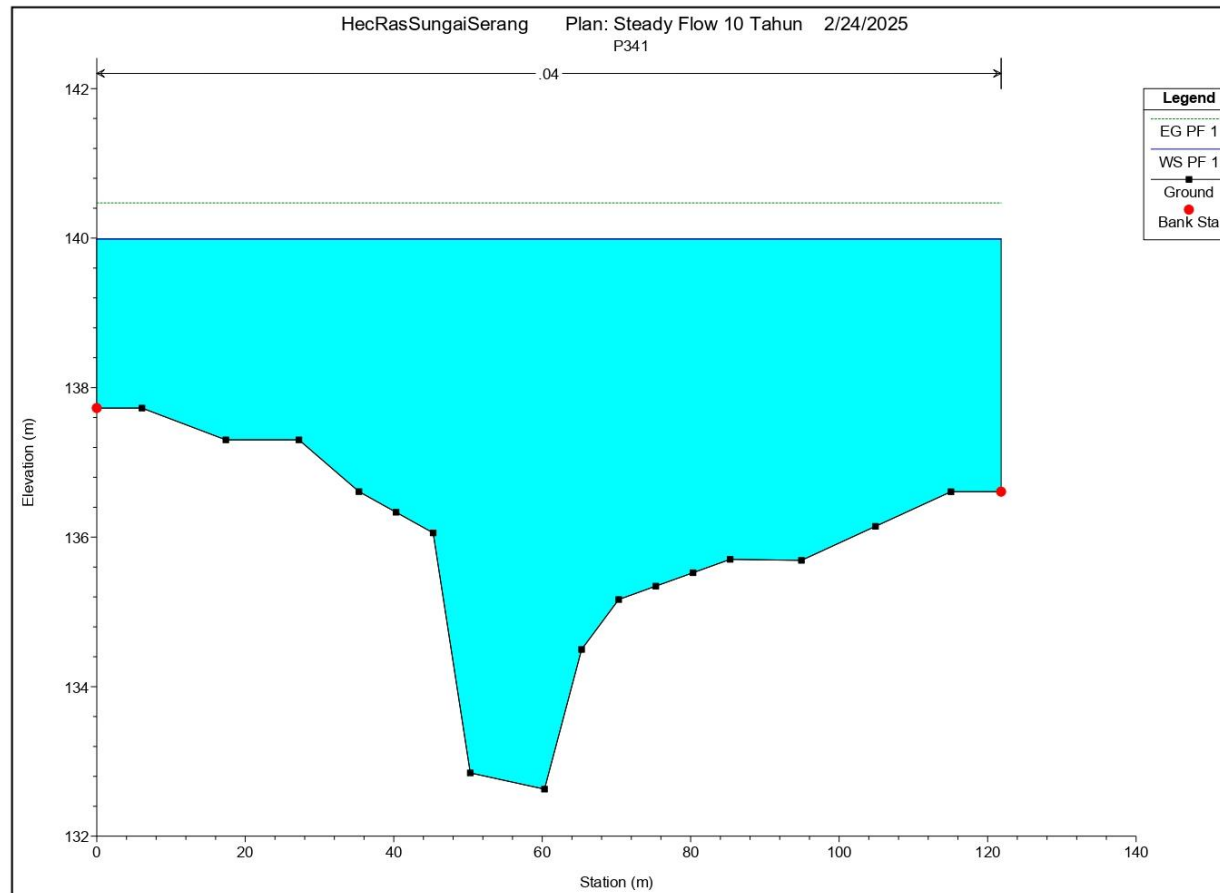
Lampiran 1.12 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.339



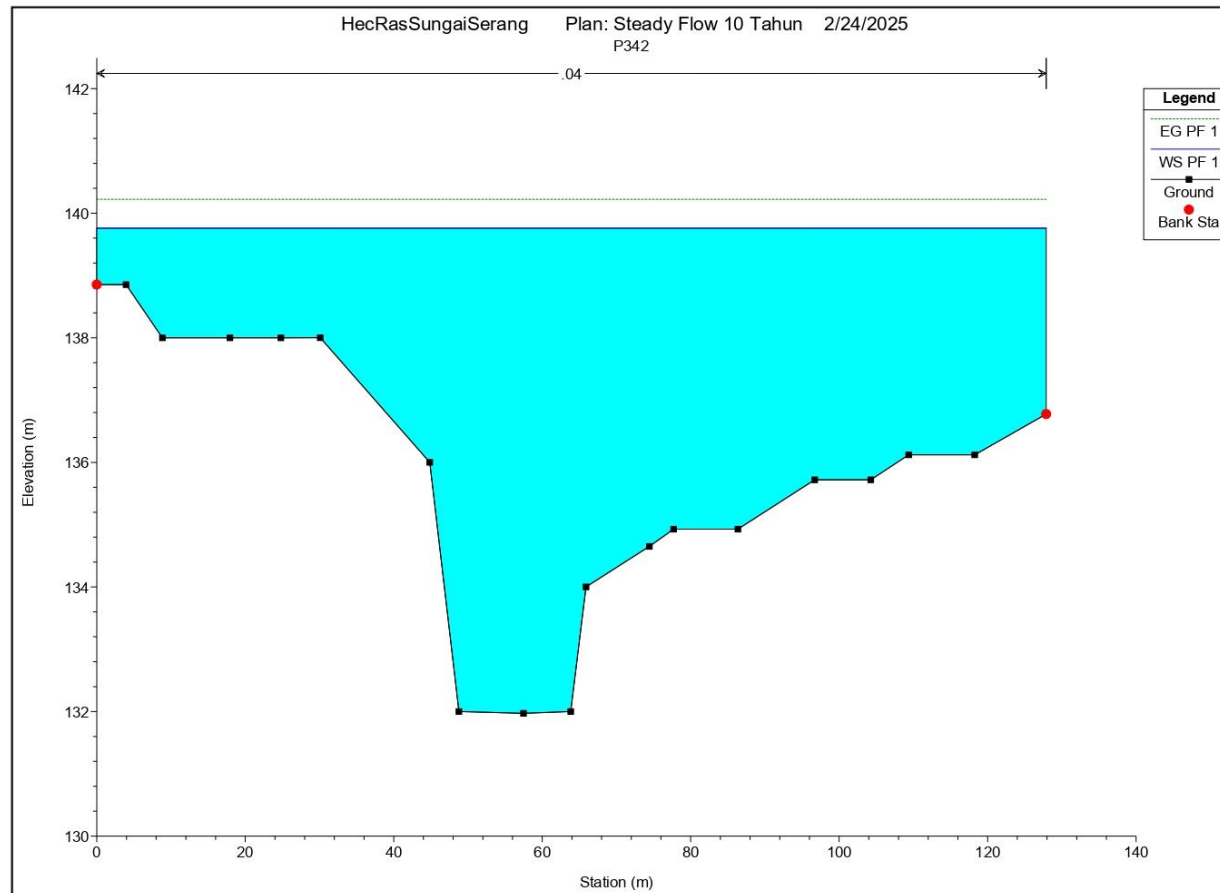
Lampiran 1.13 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.340



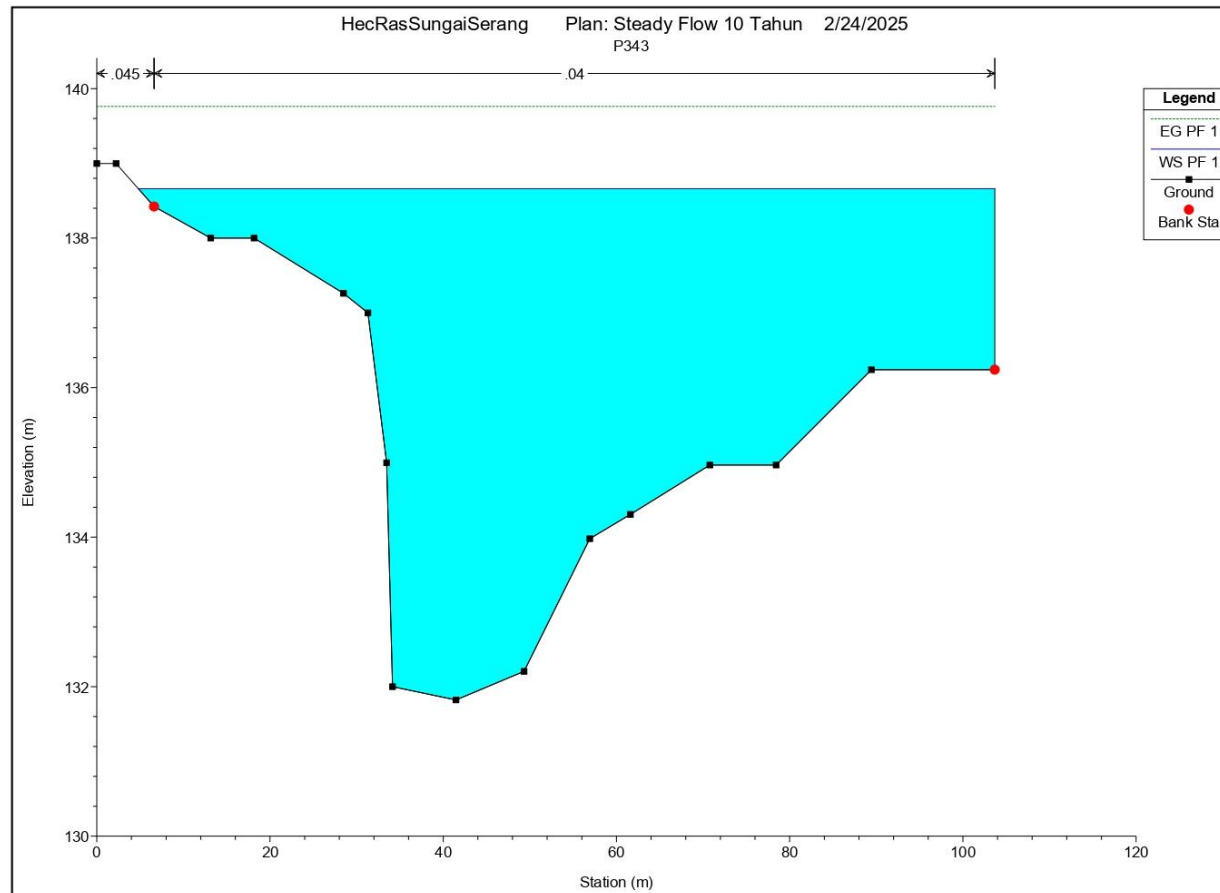
Lampiran 1.14 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.341



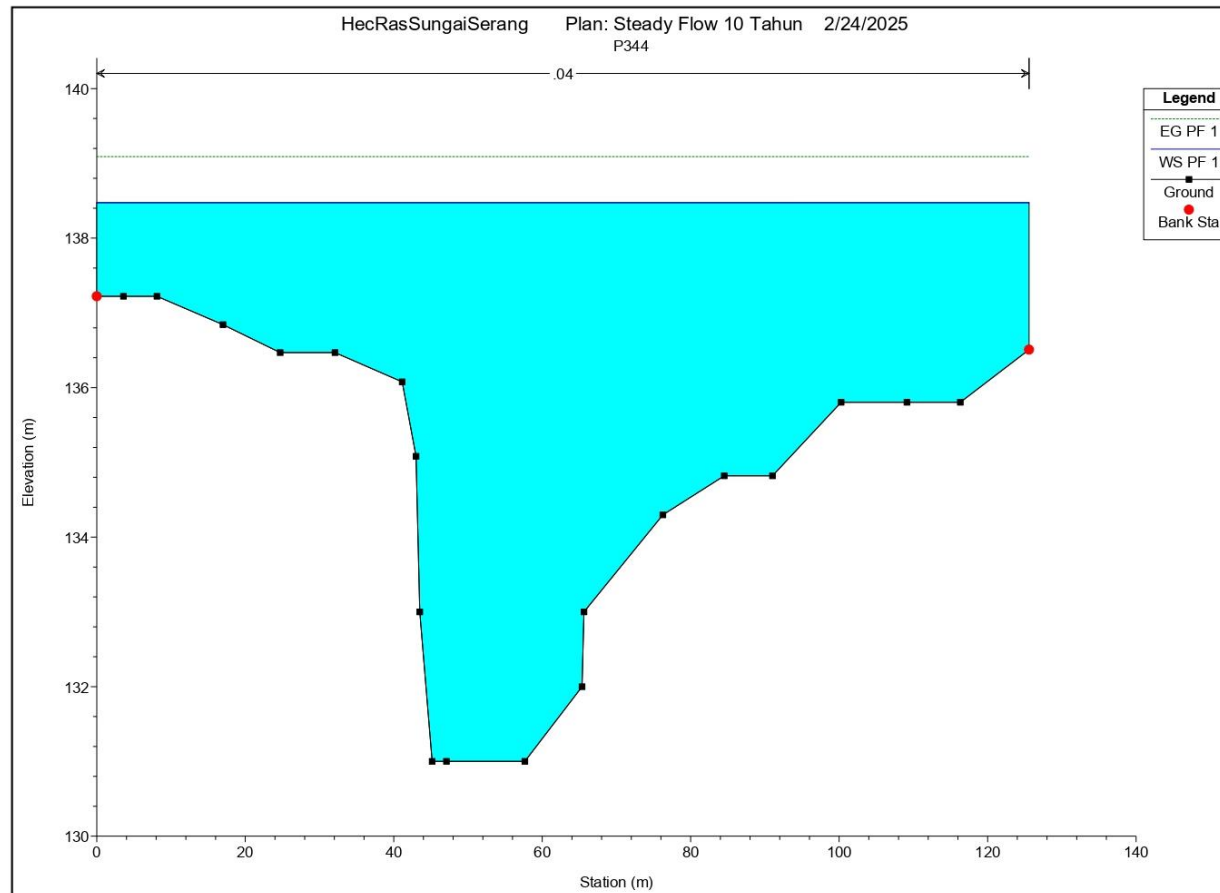
Lampiran 1.15 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.342



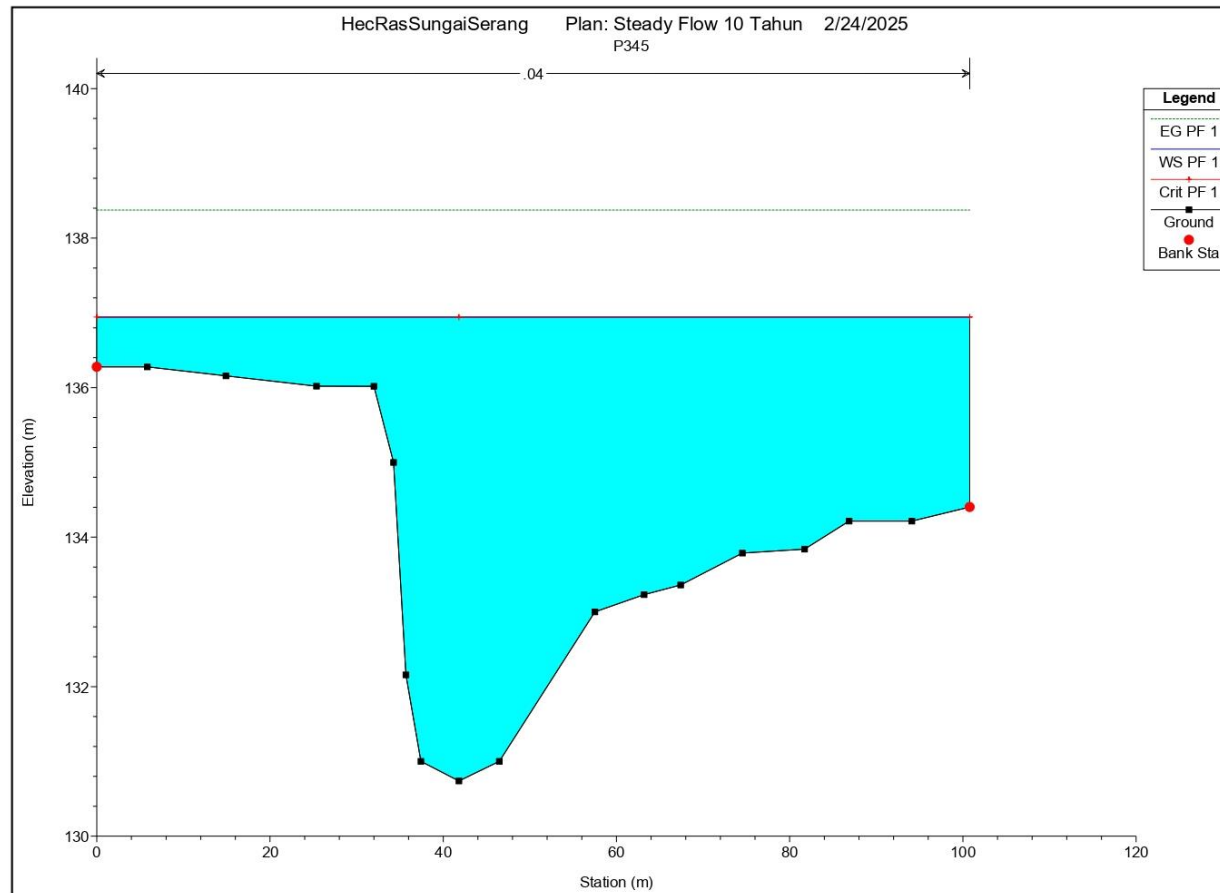
Lampiran 1.16 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.343



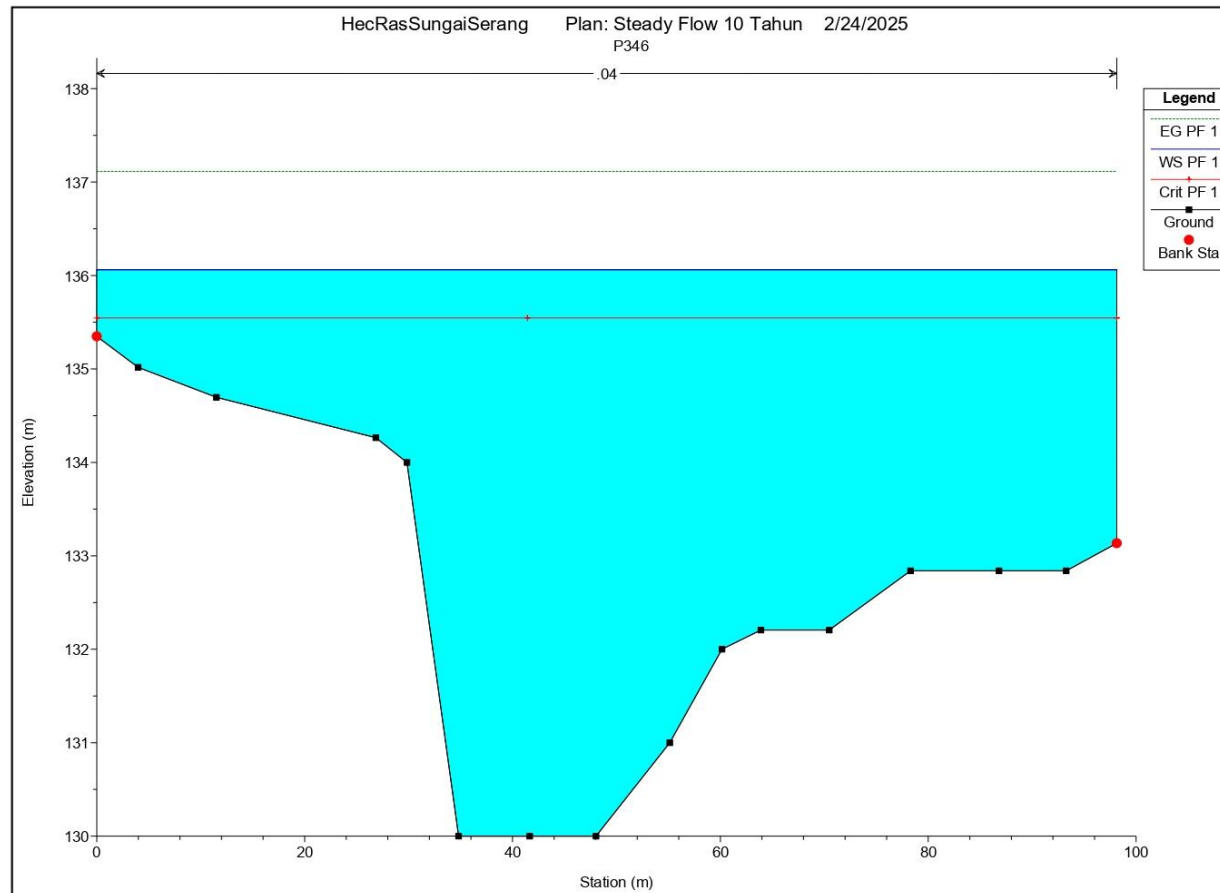
Lampiran 1.17 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.344



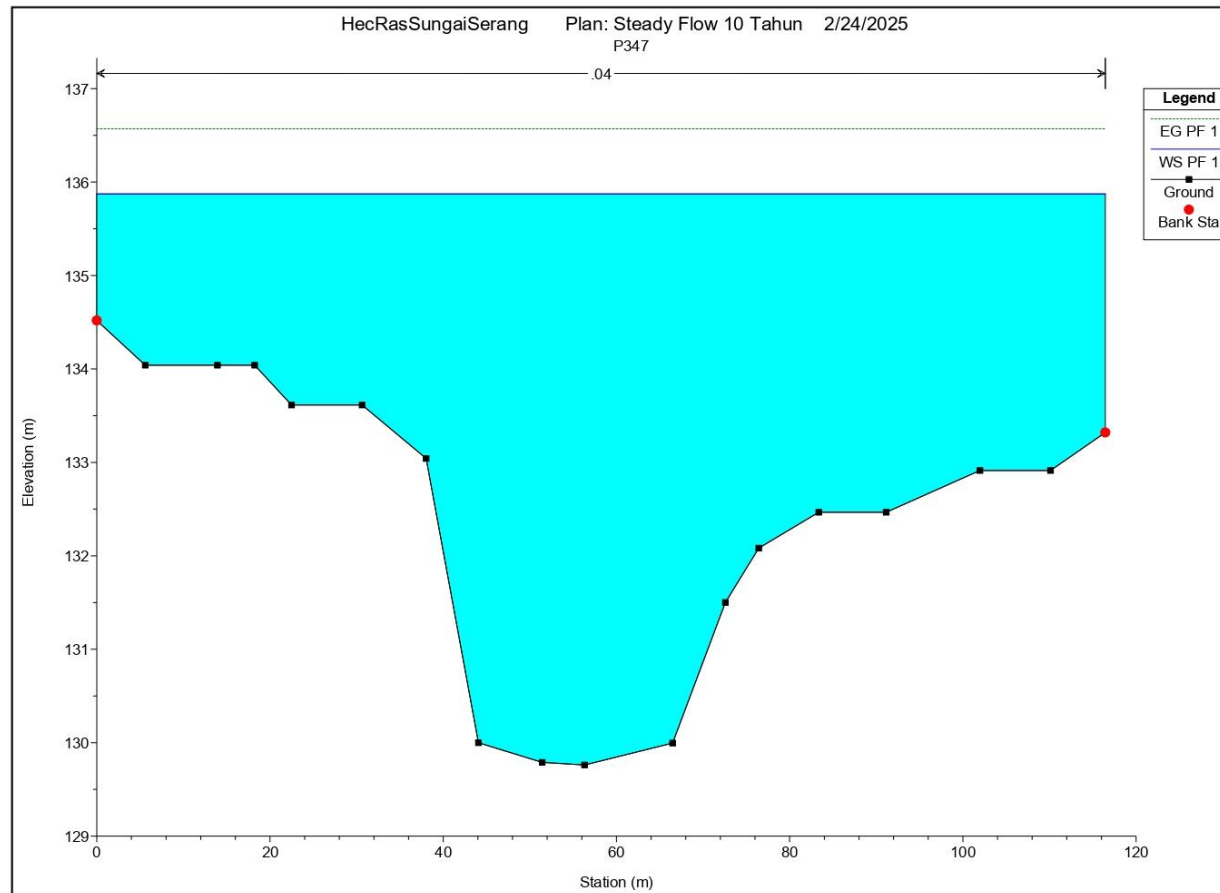
Lampiran 1.18 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.345



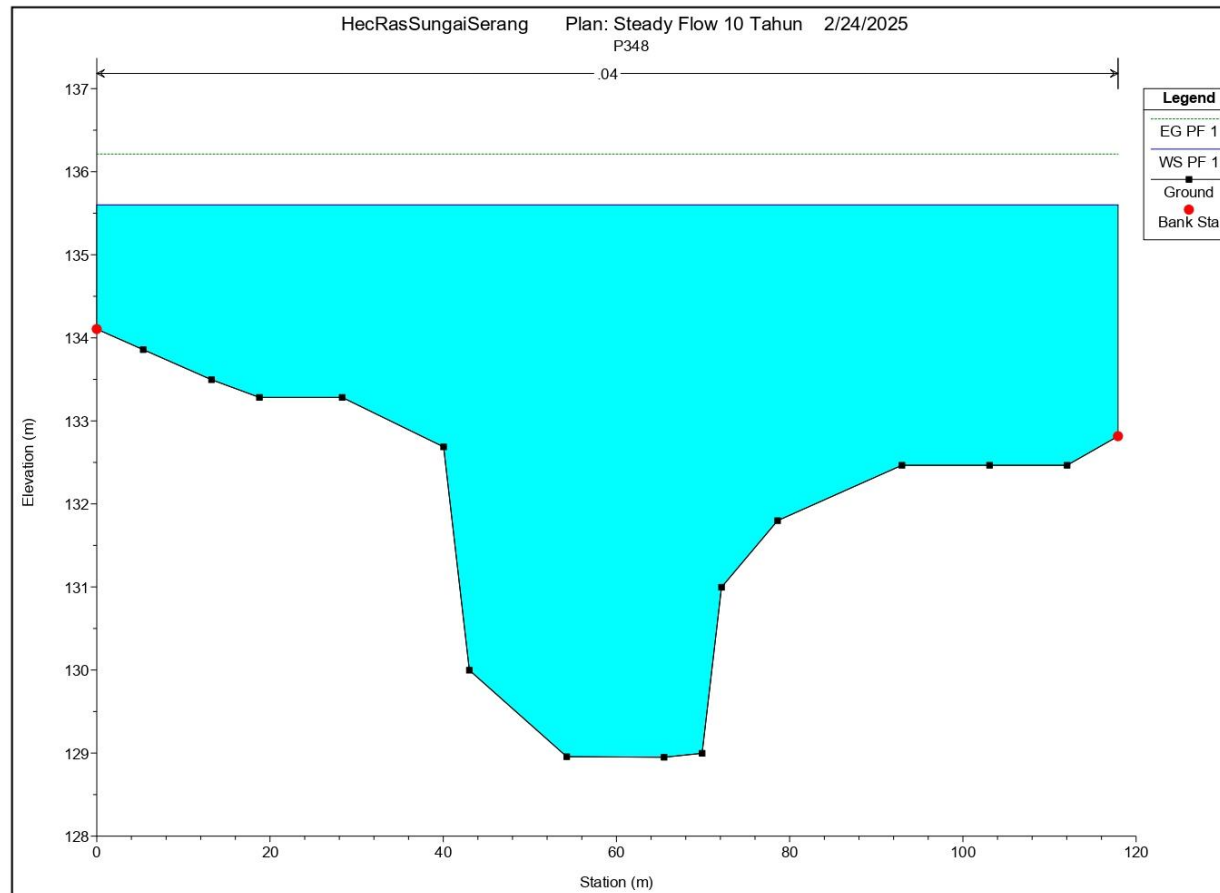
Lampiran 1.19 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.346



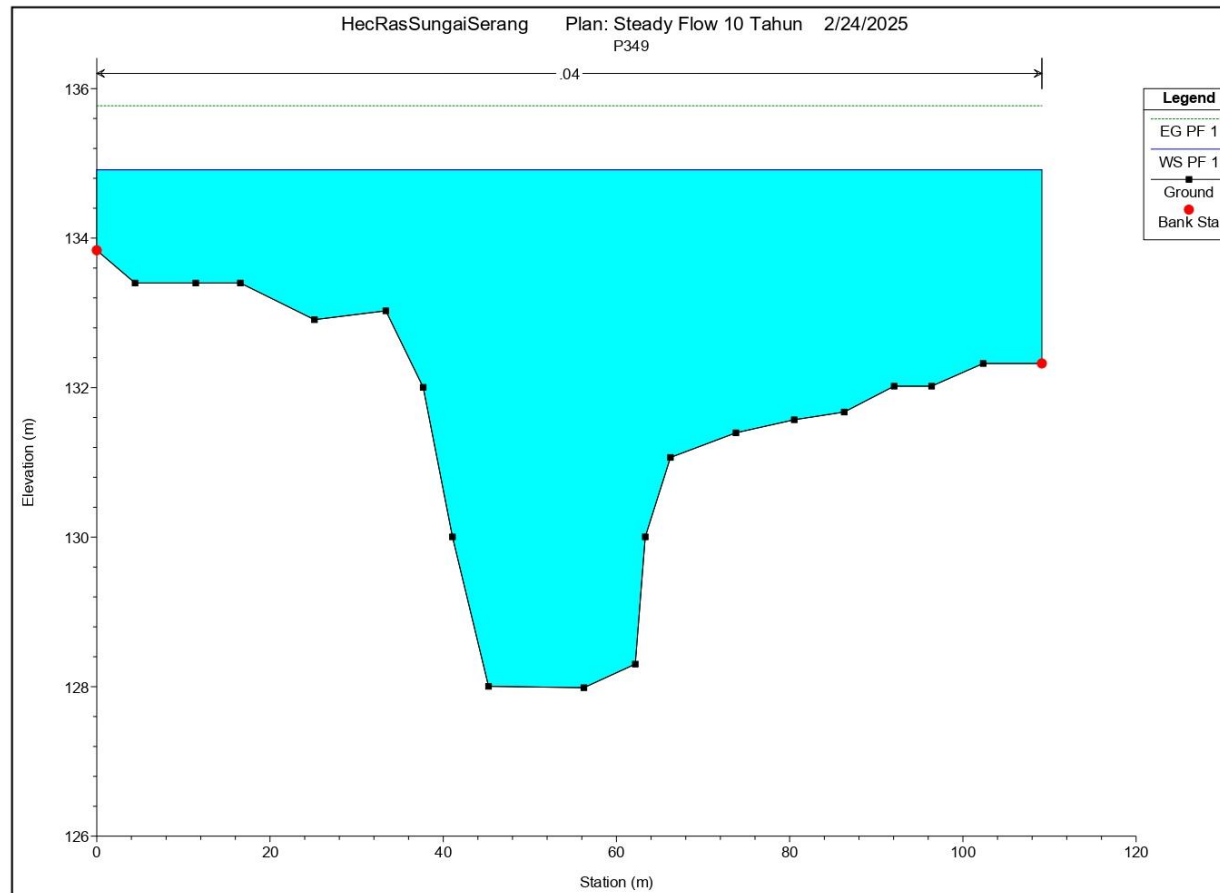
Lampiran 1.20 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.347



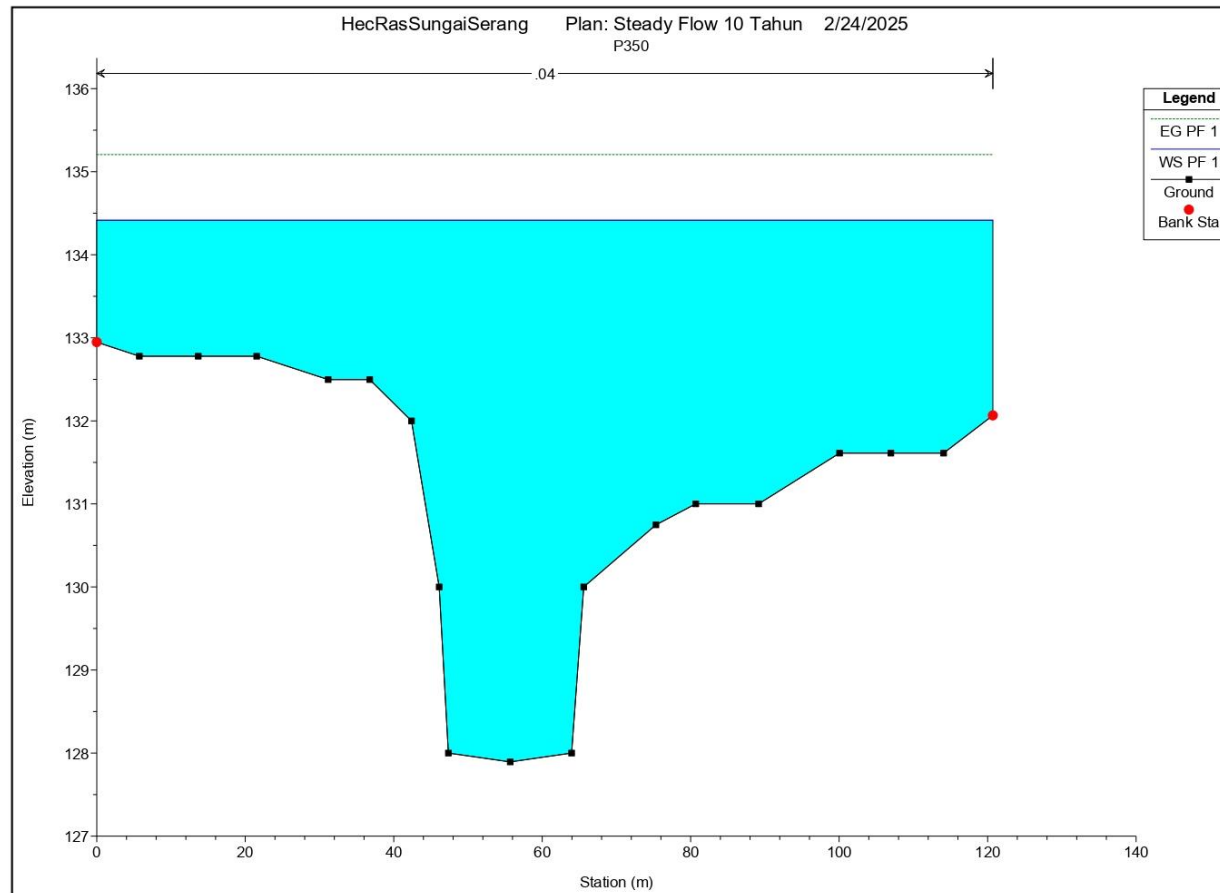
Lampiran 1.21 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.348



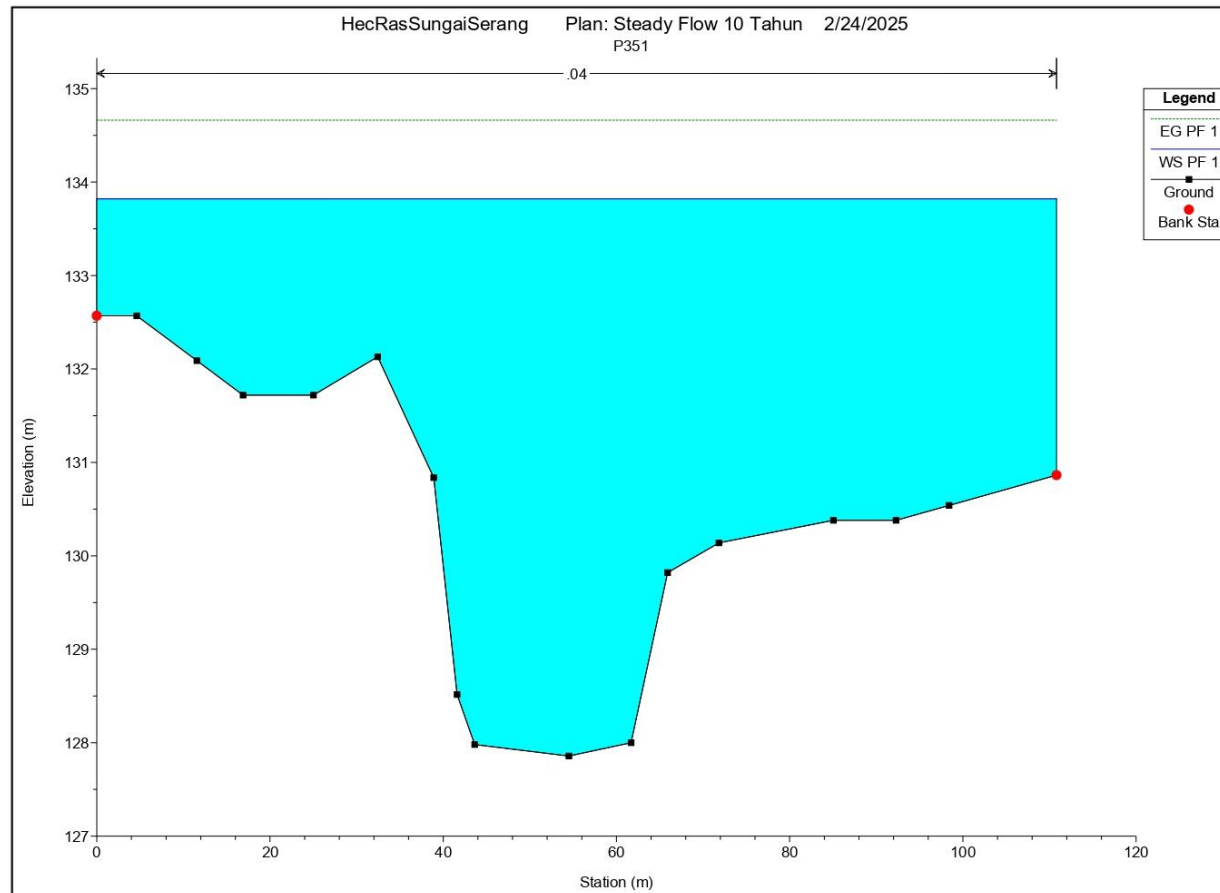
Lampiran 1.22 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.349



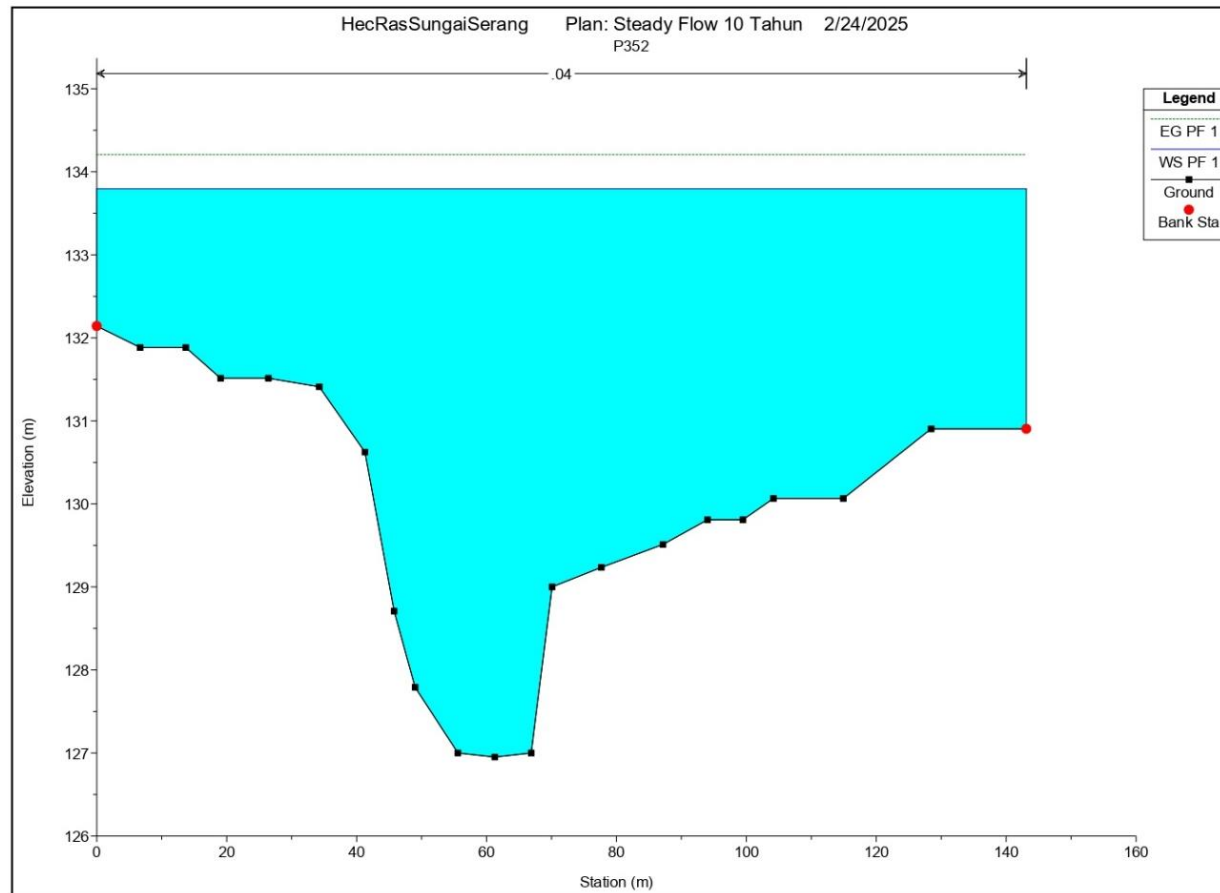
Lampiran 1.23 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.350



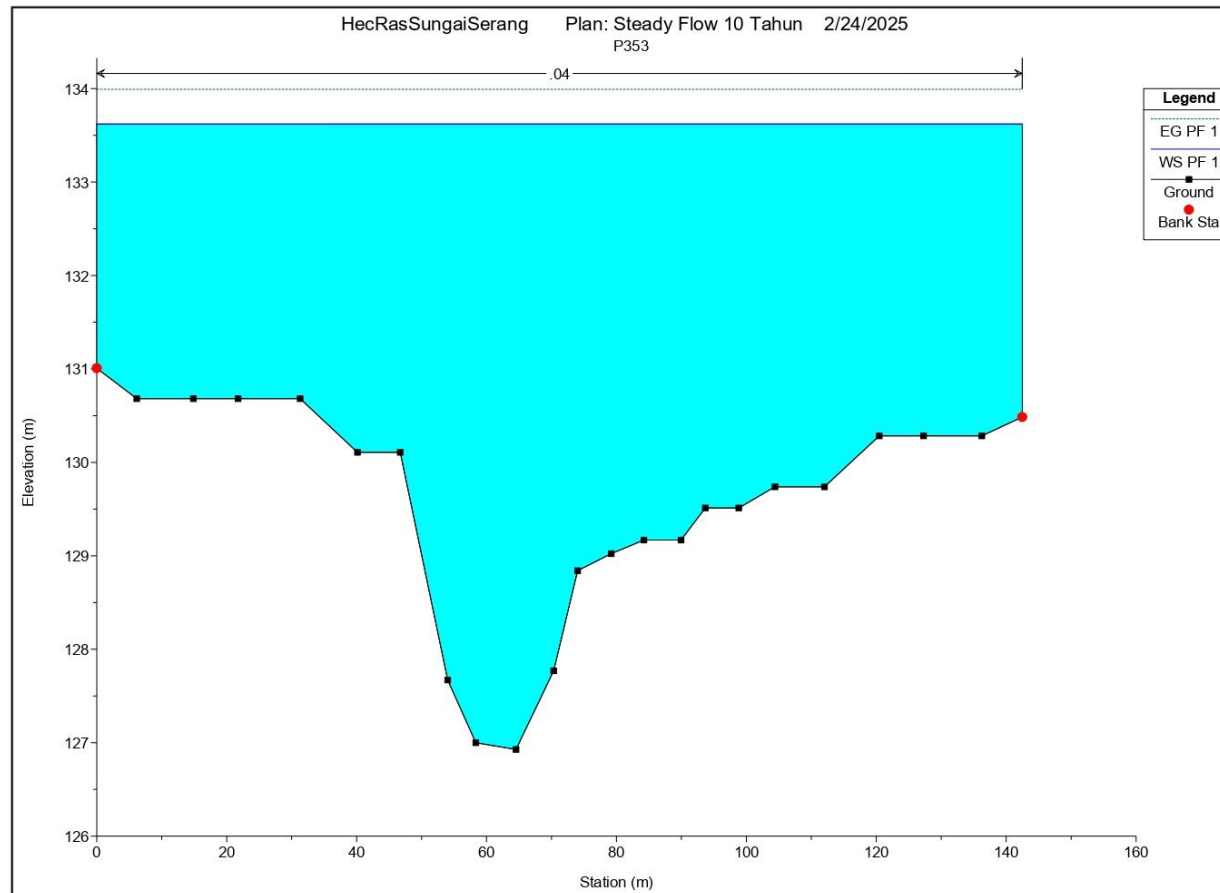
Lampiran 1.24 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.351



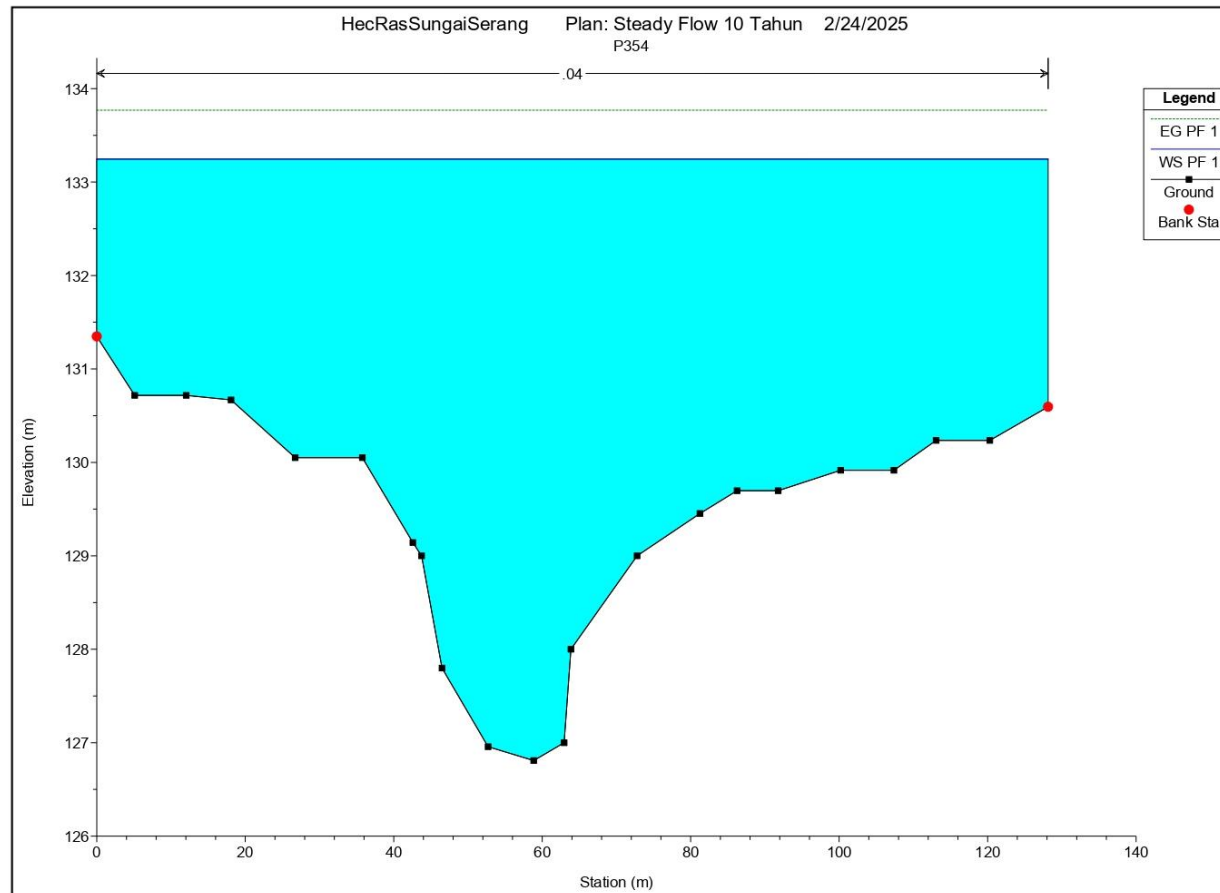
Lampiran 1.25 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.352



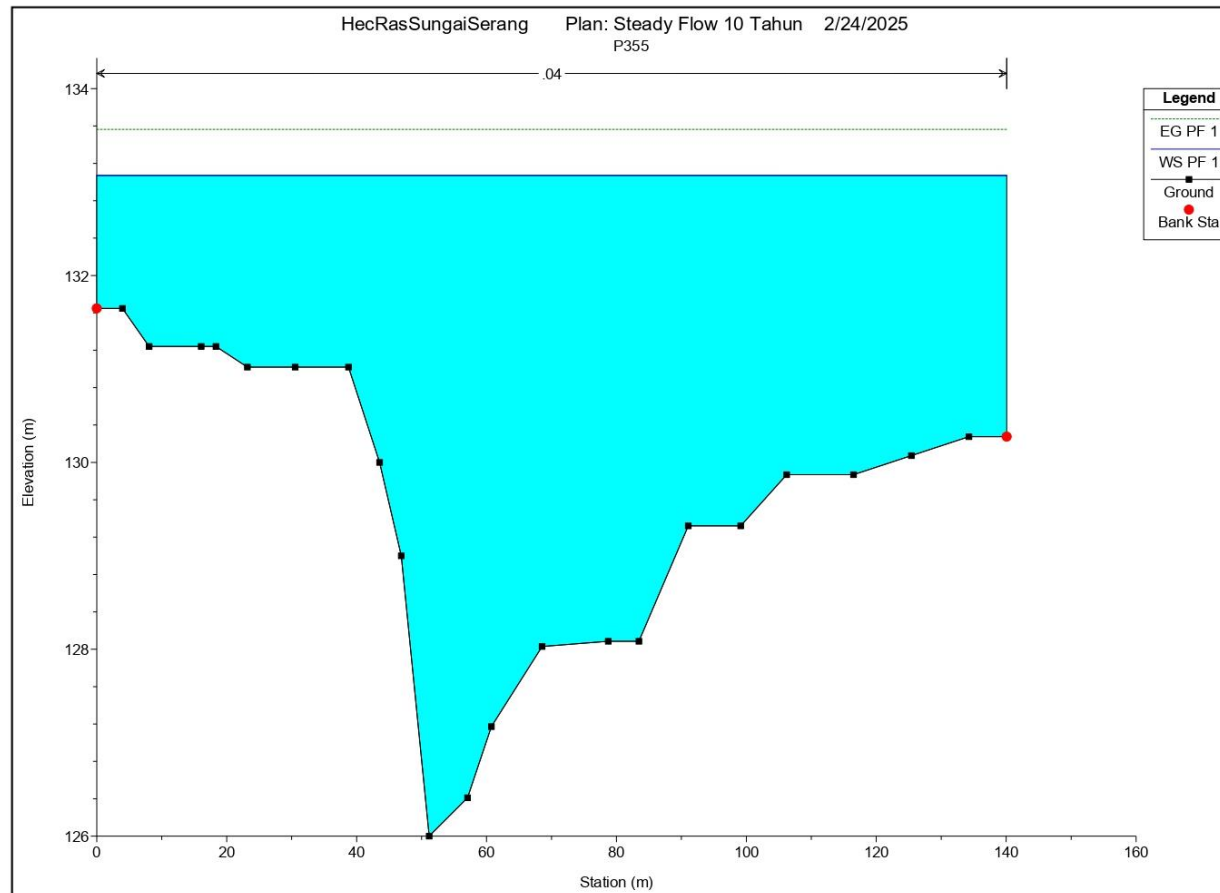
Lampiran 1.26 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.353



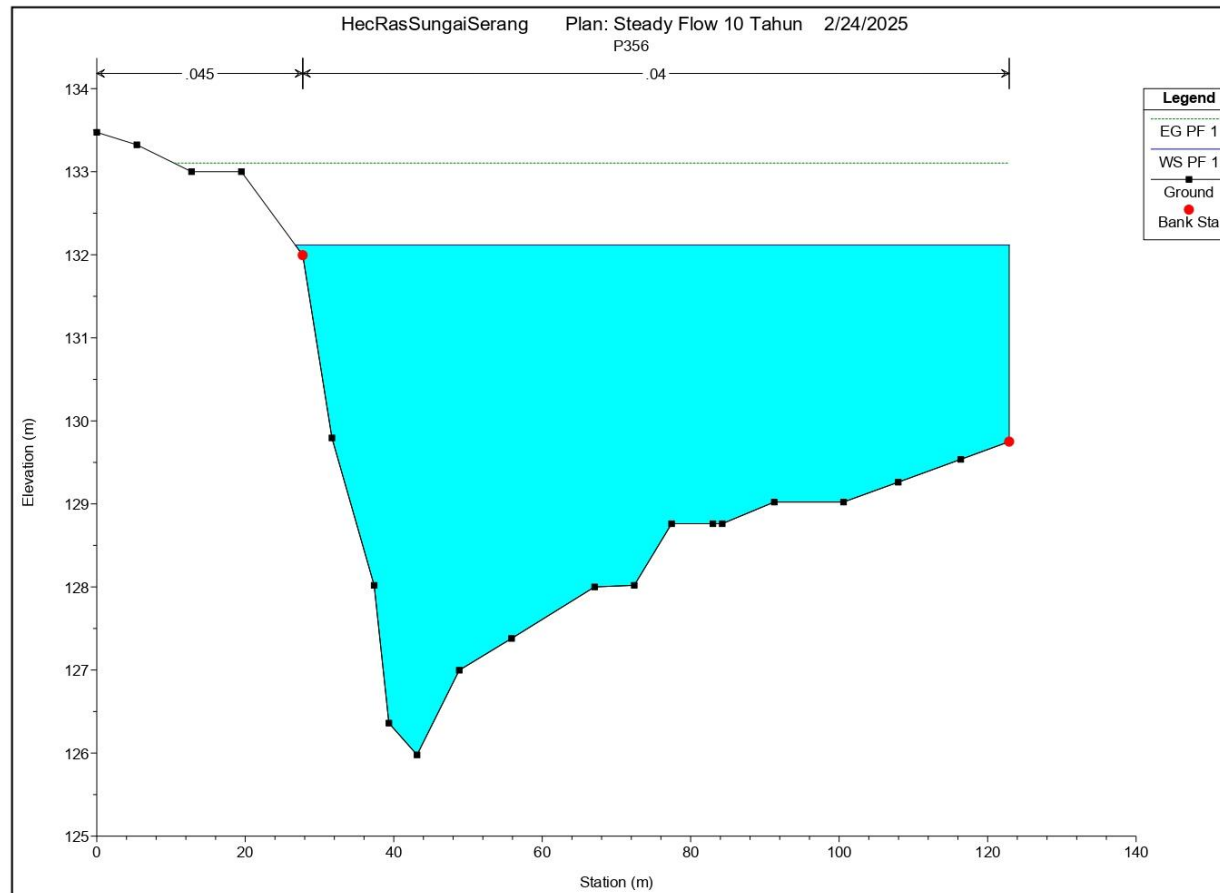
Lampiran 1.27 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.354



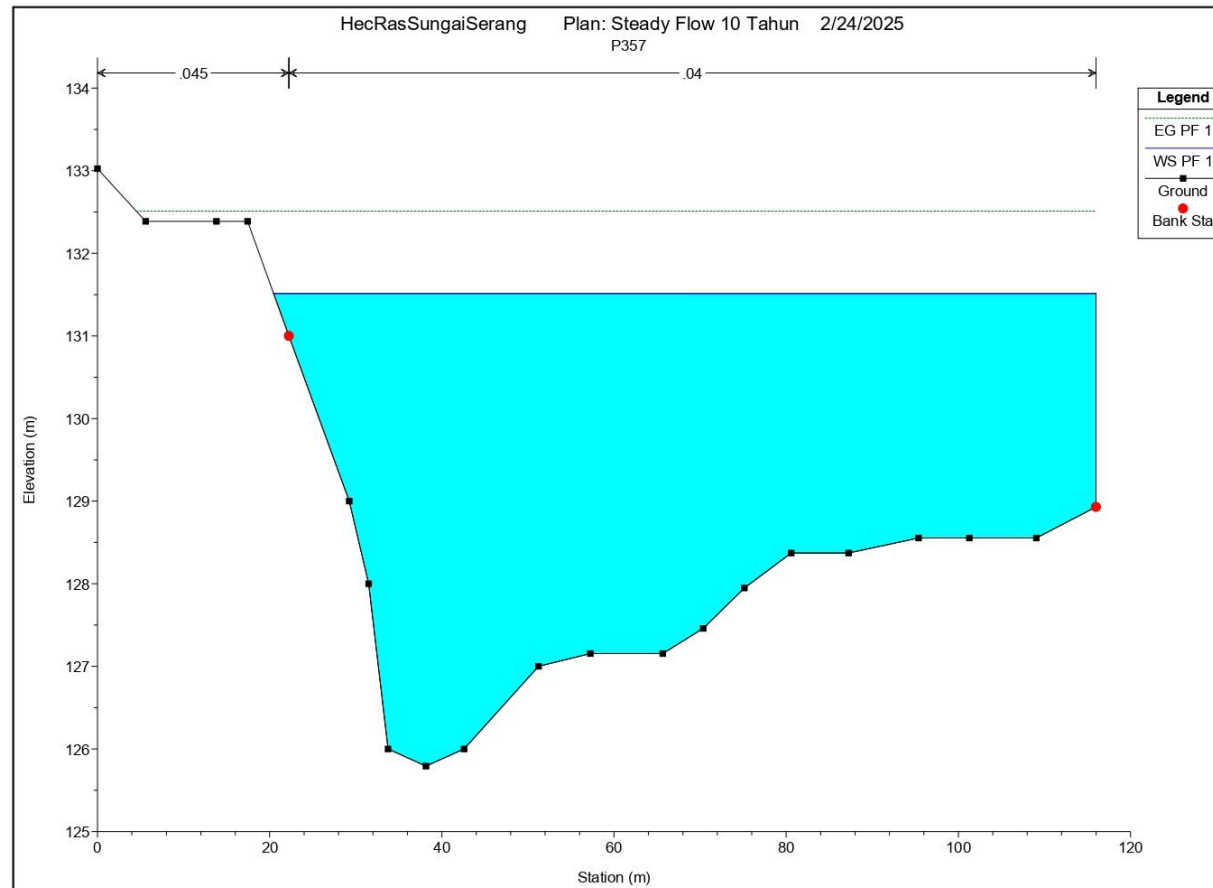
Lampiran 1.28 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.355



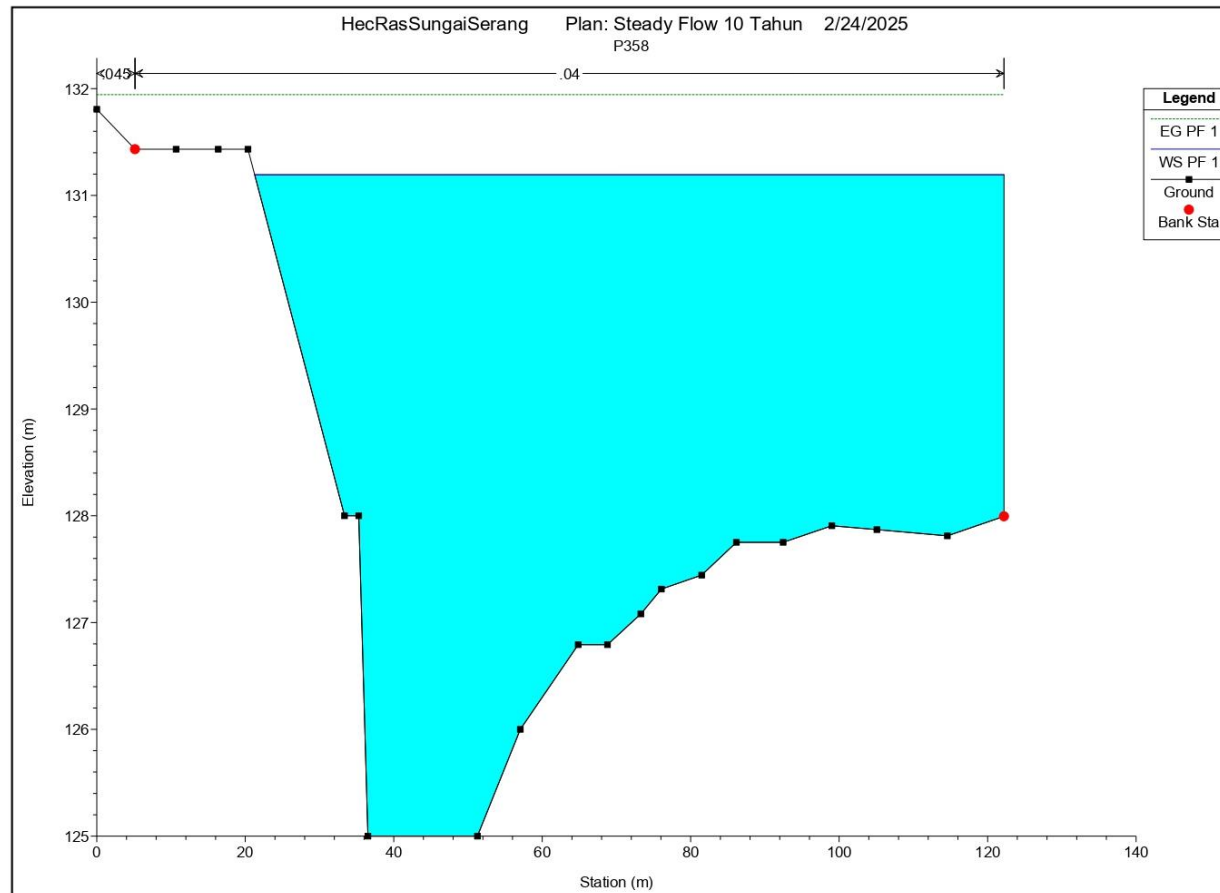
Lampiran 1.29 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.356



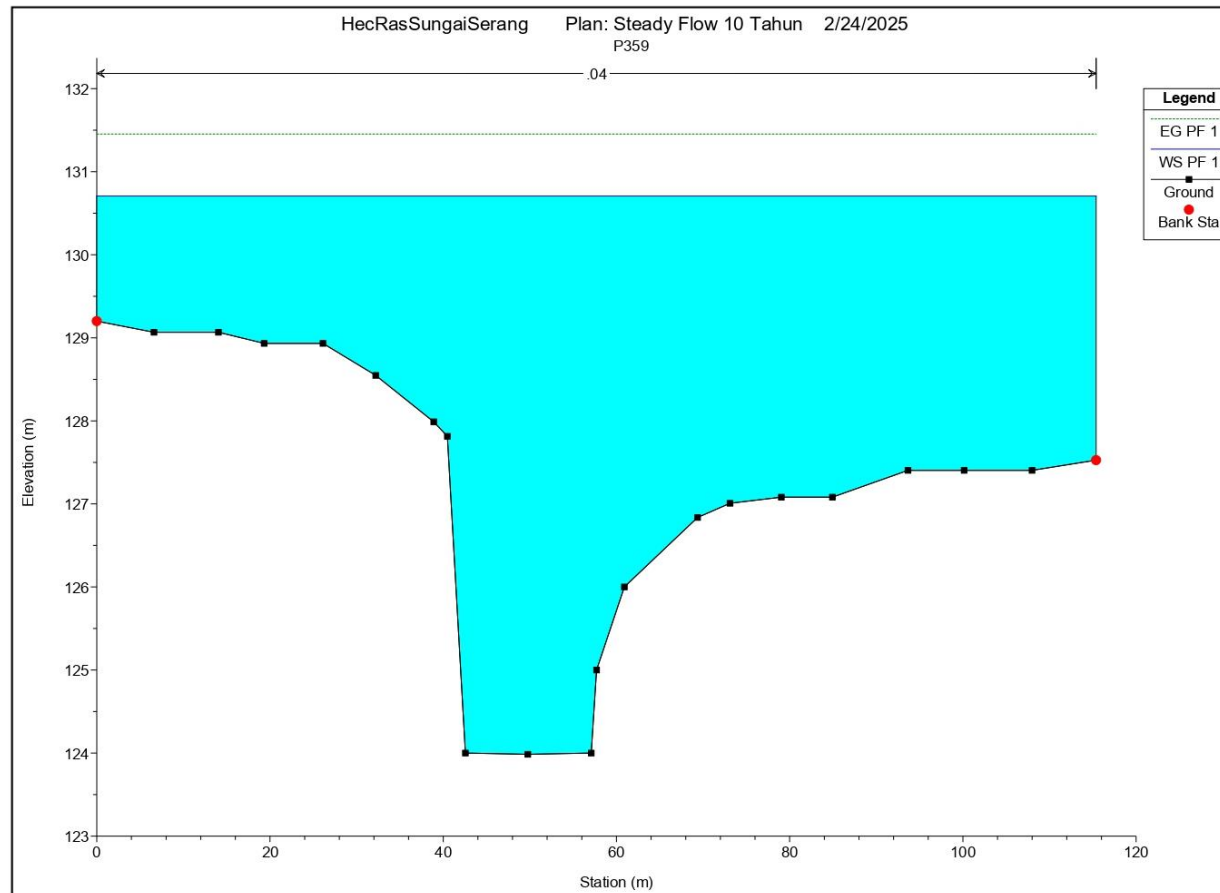
Lampiran 1.30 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.357



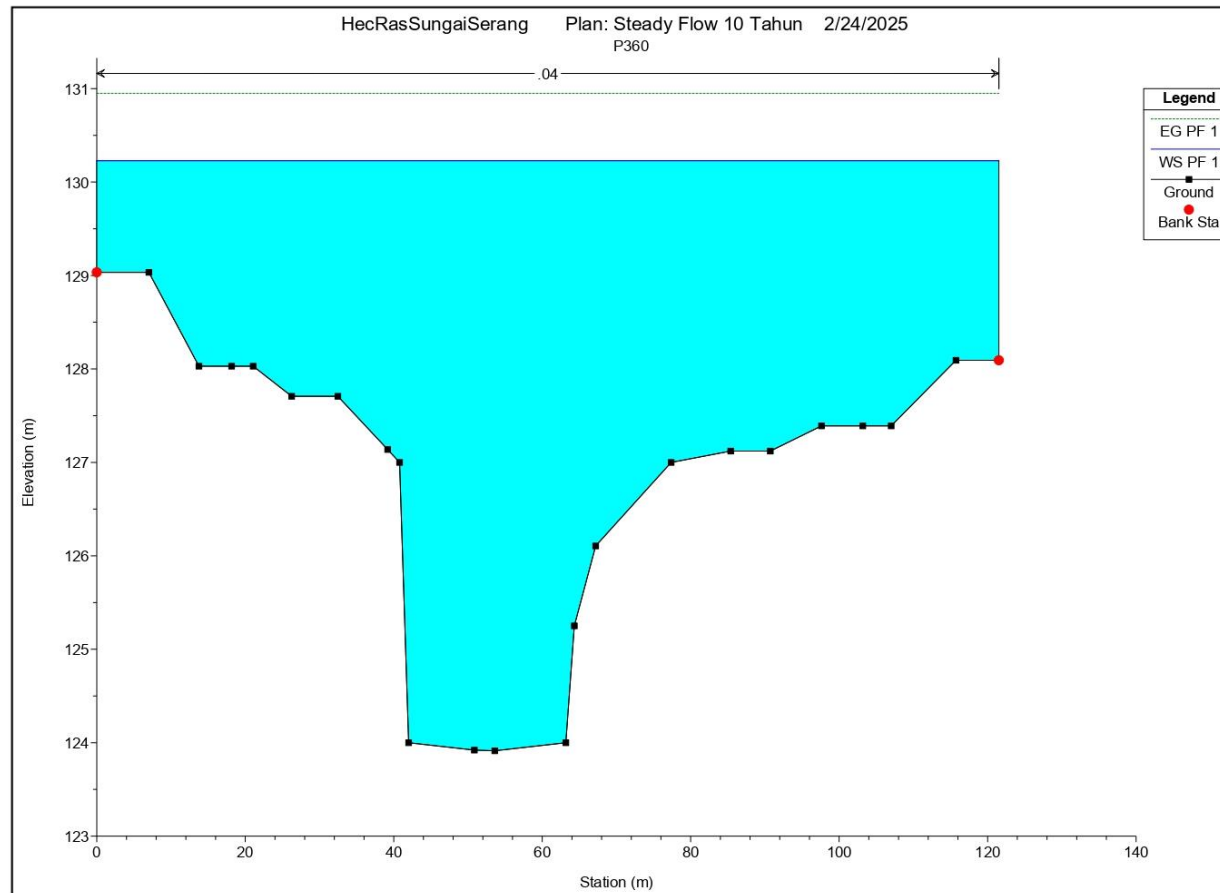
Lampiran 1.31 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.358



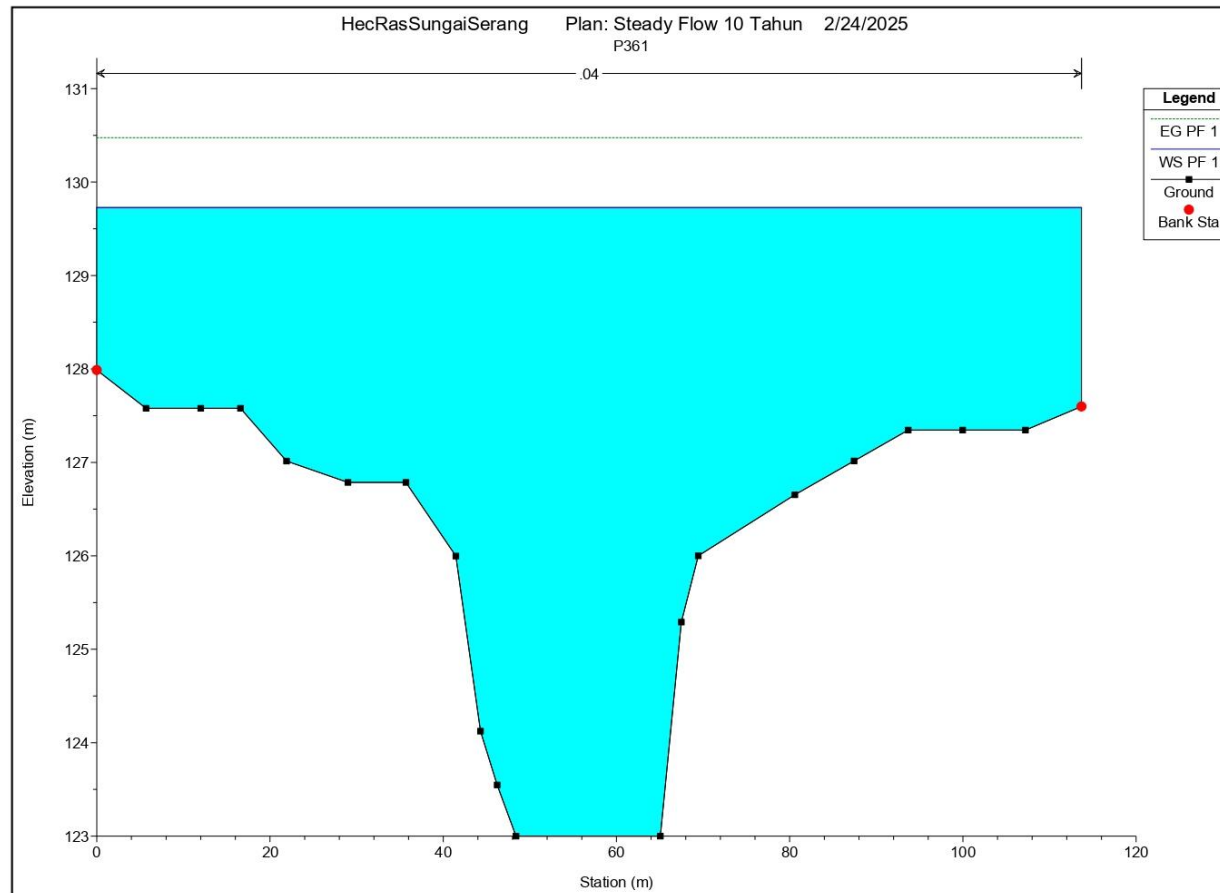
Lampiran 1.32 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.359



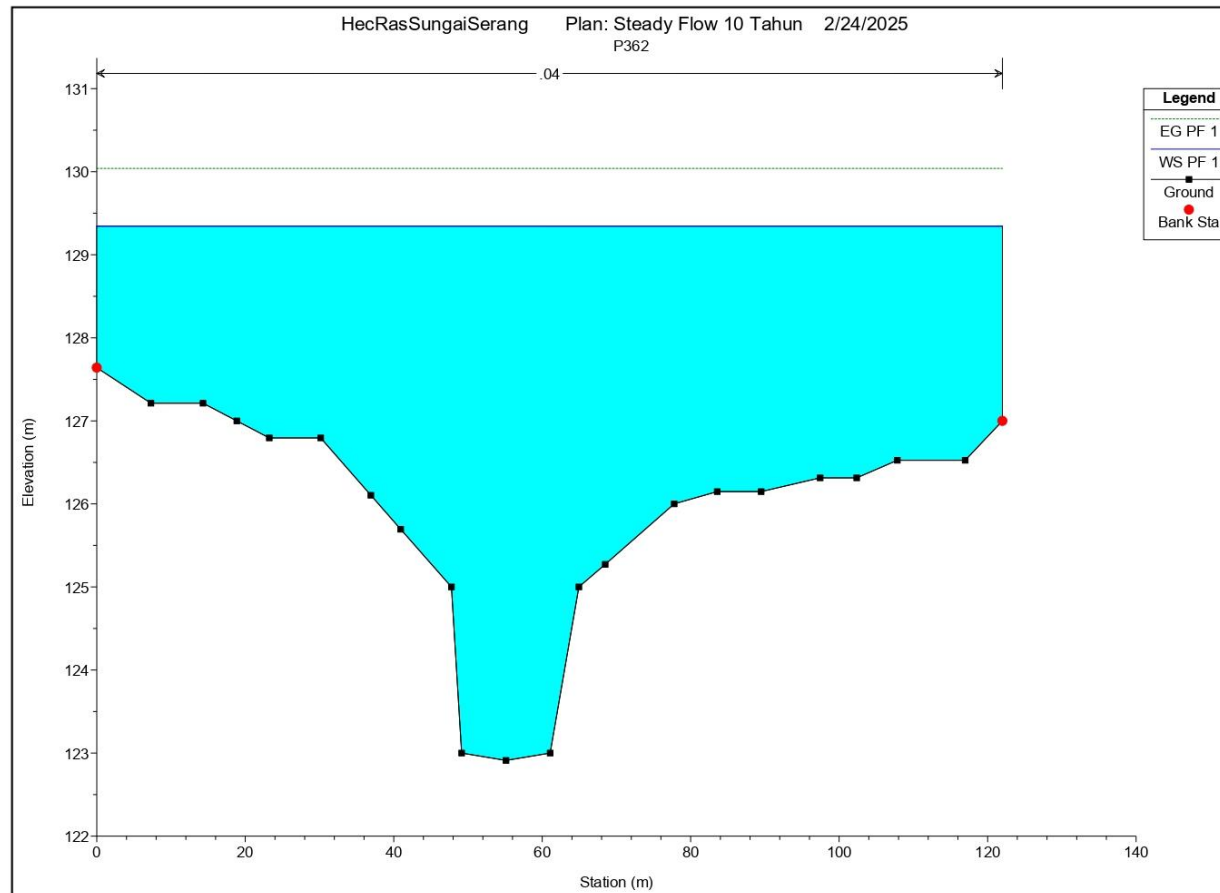
Lampiran 1.33 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.360



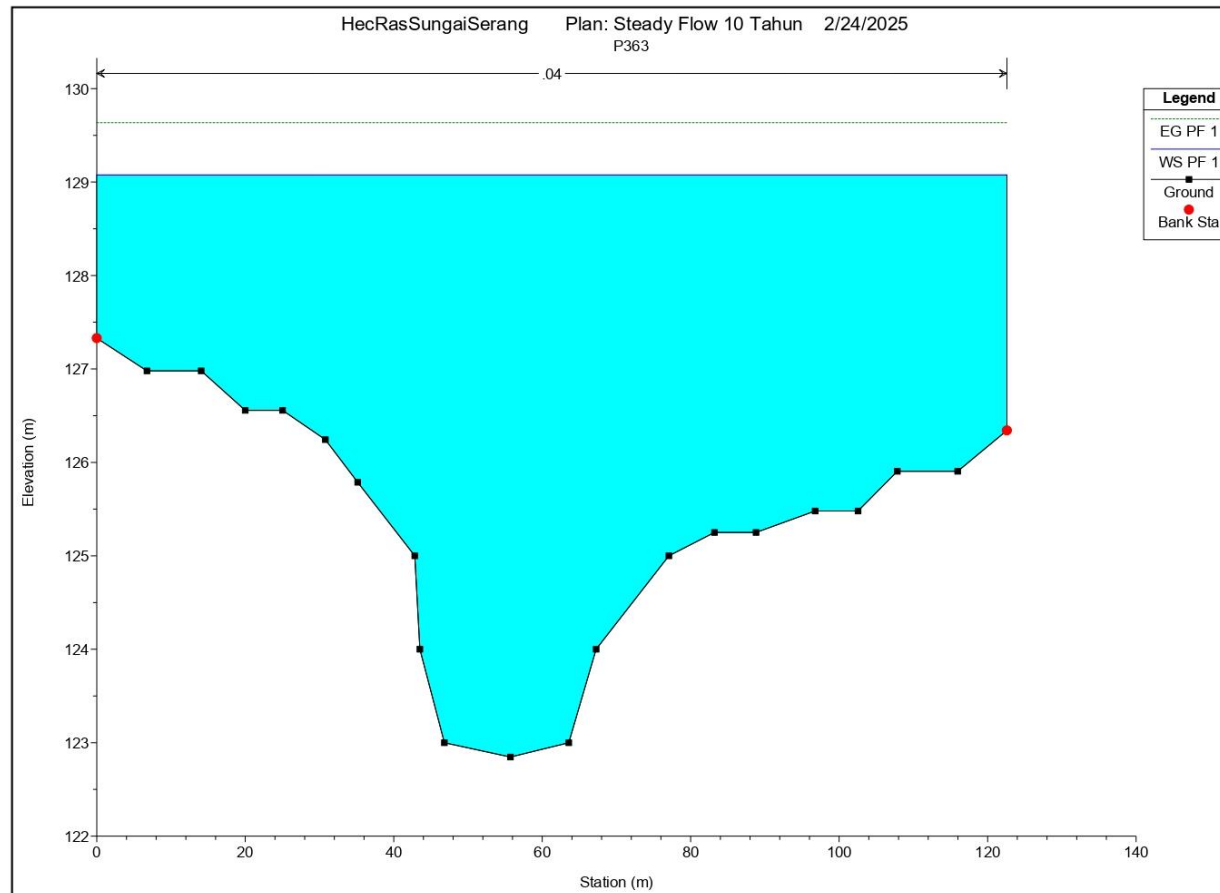
Lampiran 1.34 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.361



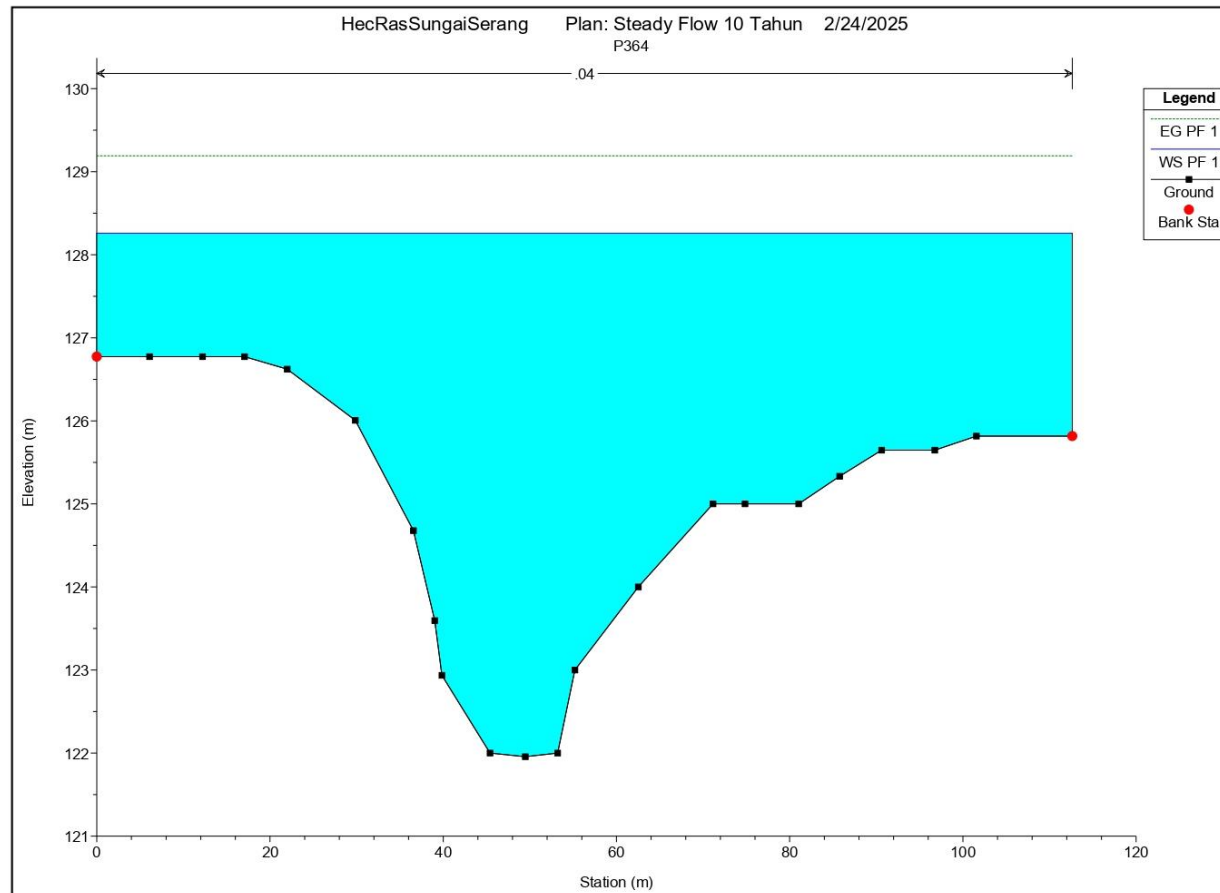
Lampiran 1.35 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.362



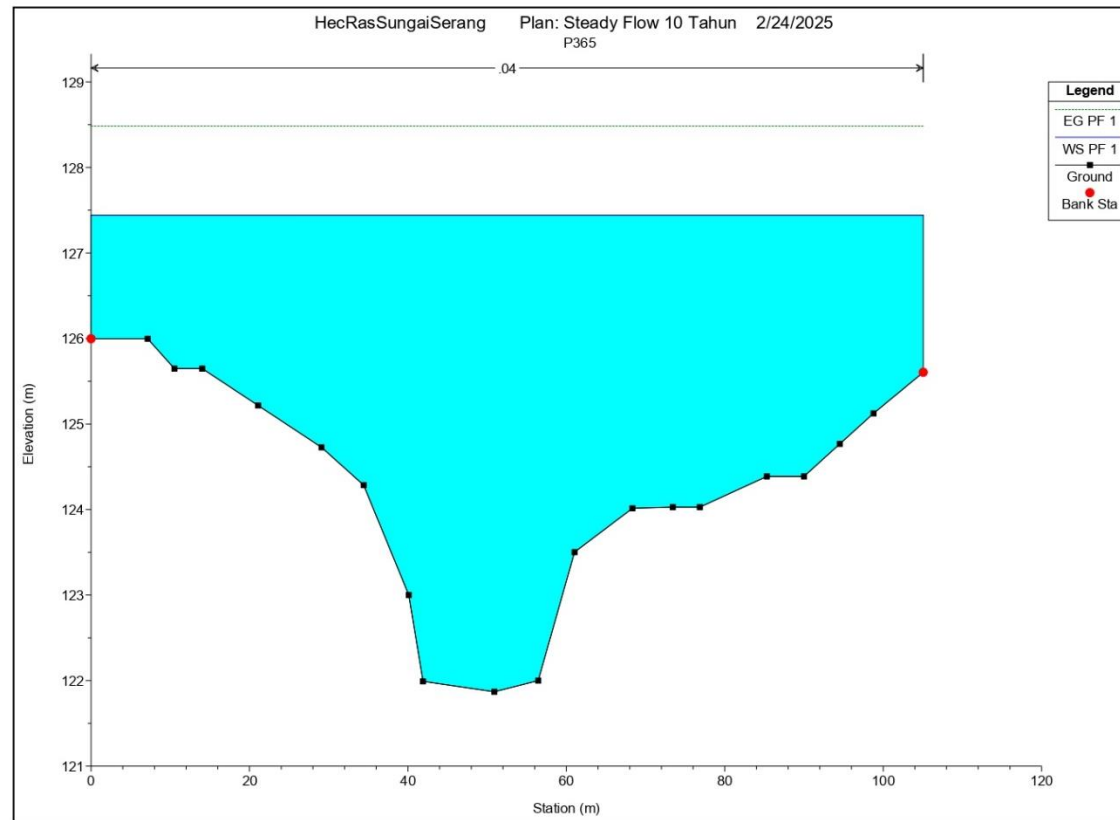
Lampiran 1.36 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.363



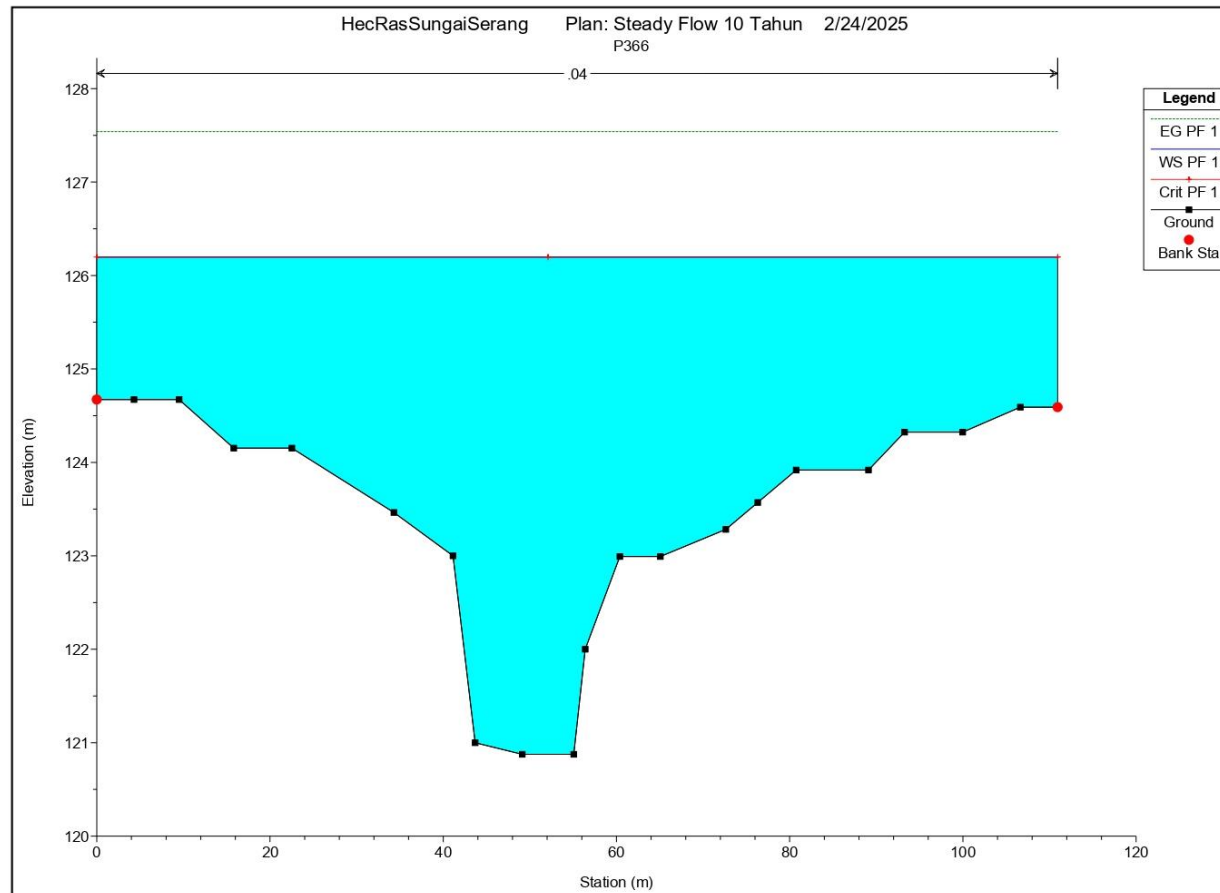
Lampiran 1.37 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.364



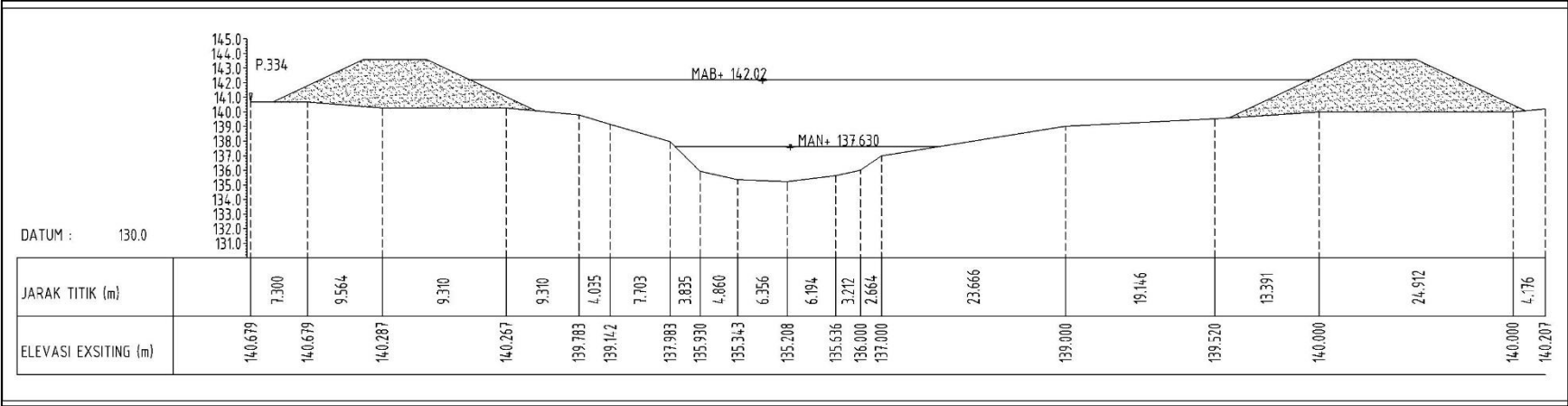
Lampiran 1.38 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.365



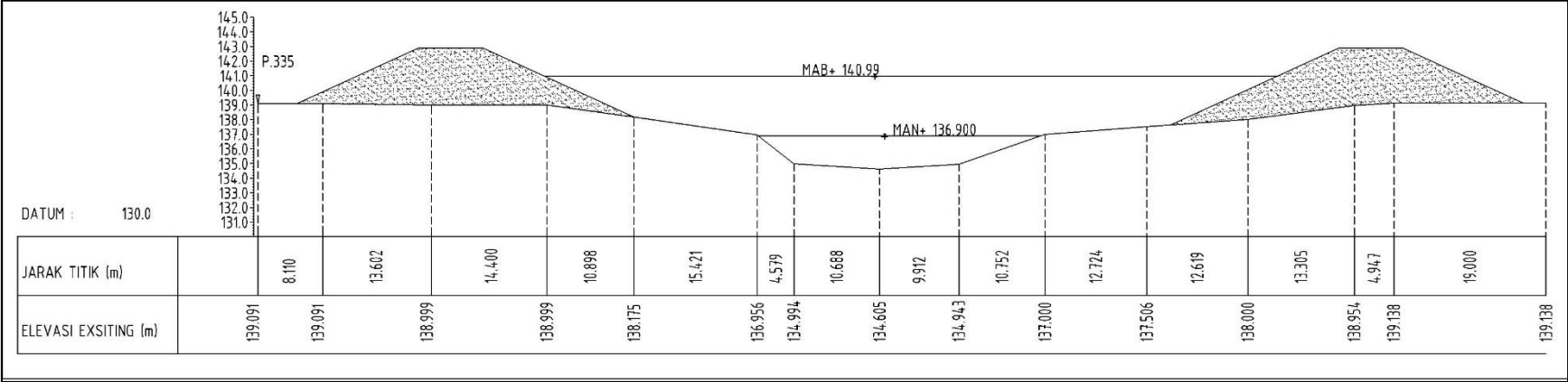
Lampiran 1.39 Profil Muka Air Sungai Serang Pada Cross Section P.366



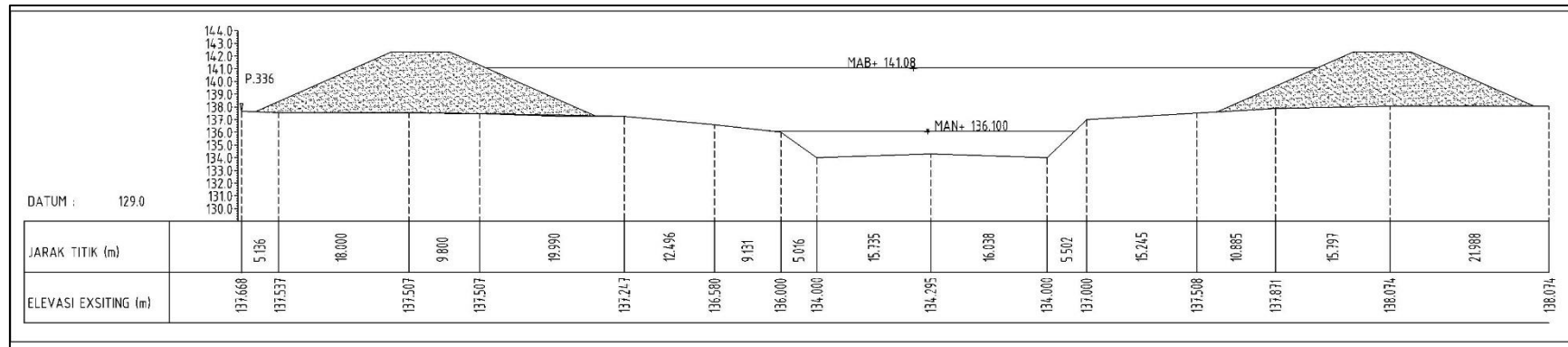
Lampiran 1.40 Desain Tanggul Pada Cross Section P,334



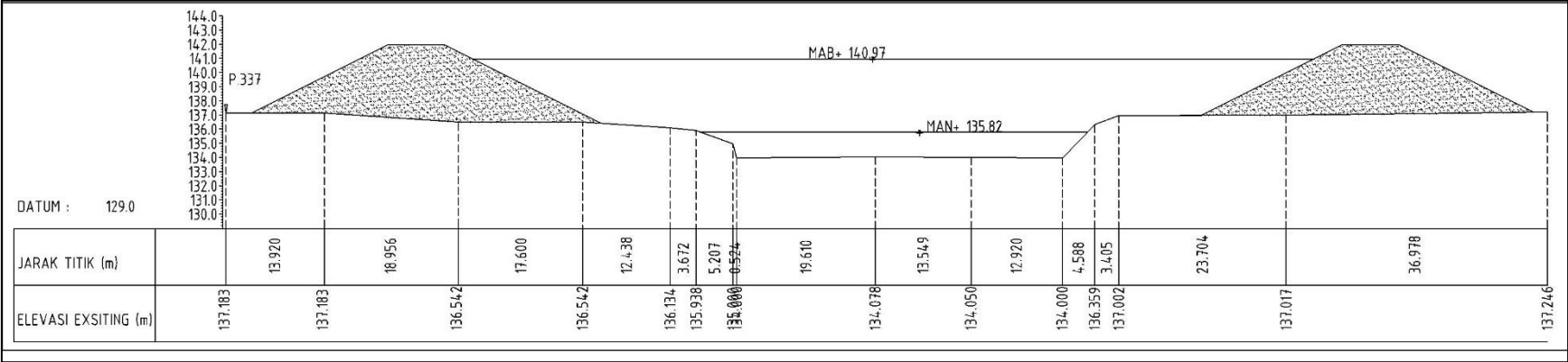
Lampiran 1.41 Desain Tanggul Pada Cross Section P.335



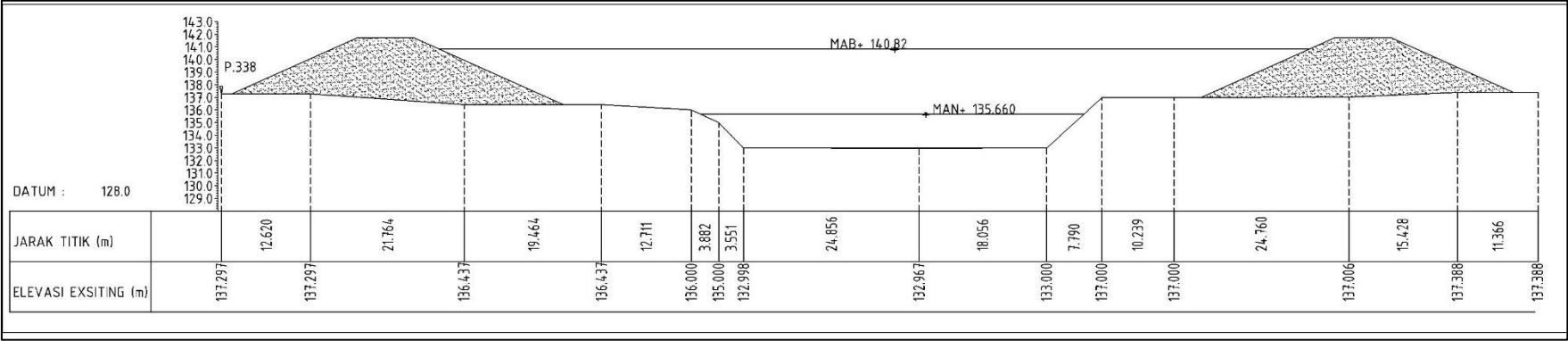
Lampiran 1.42 Desain Tanggul Pada Cross Section P.336



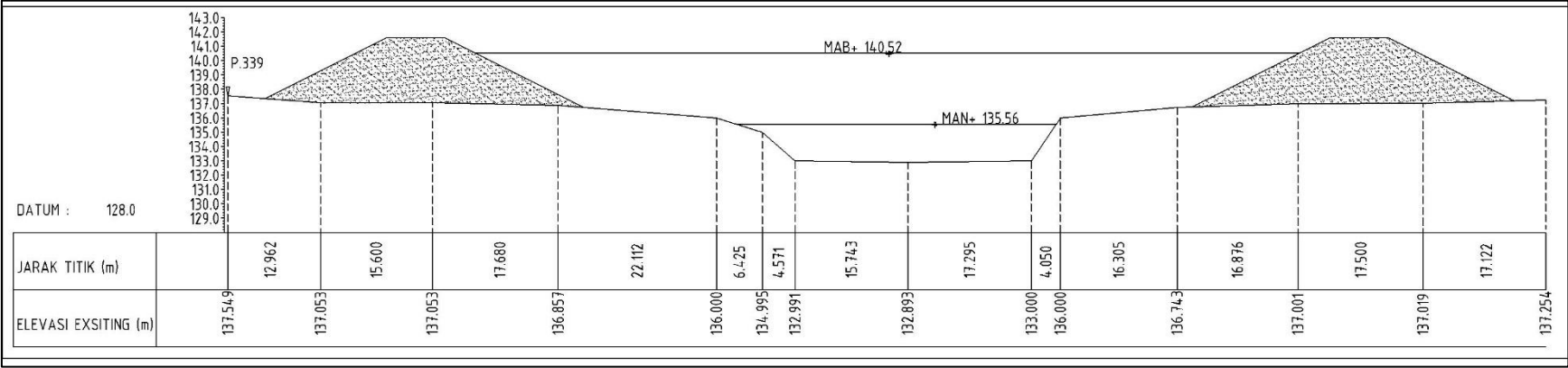
Lampiran 1.43 Desain Tanggul Pada Cross Section P.337



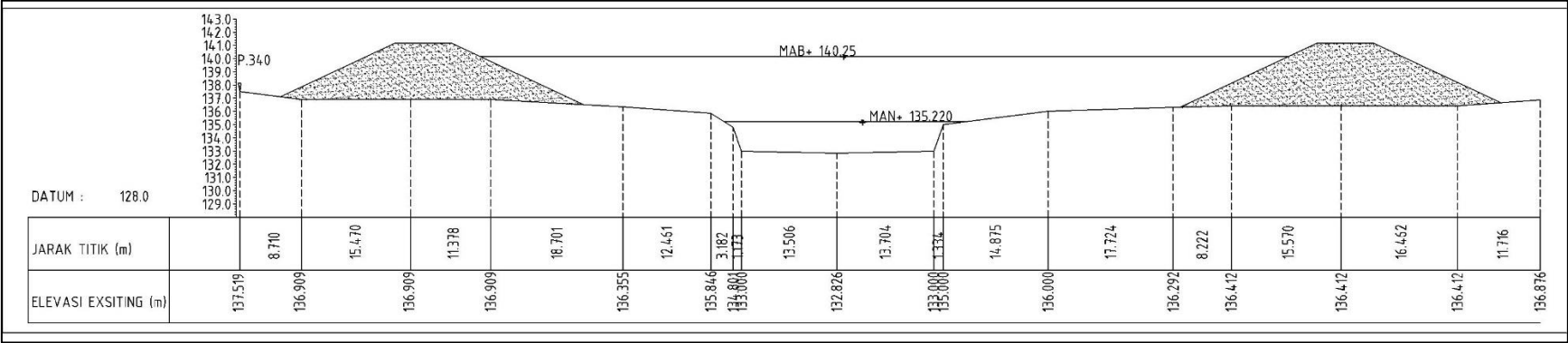
Lampiran 1.44 Desain Tanggul Pada Cross Section P.338



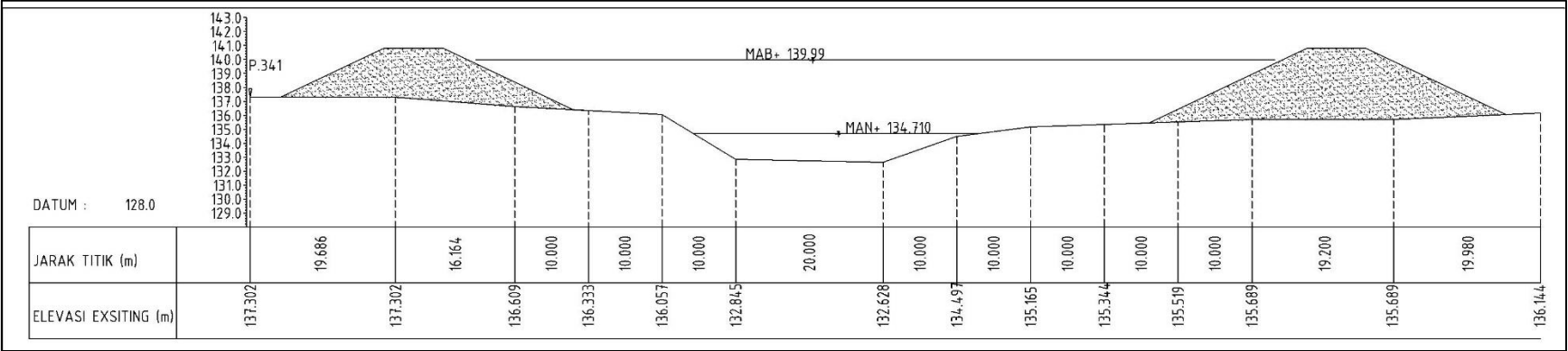
Lampiran 1.45 Desain Tanggul Pada Cross Section P.339



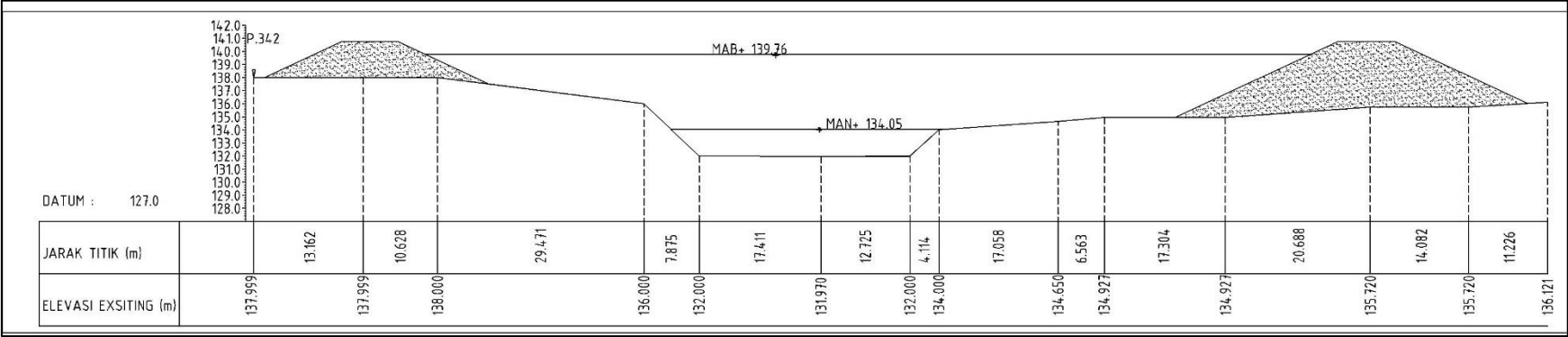
Lampiran 1.46 Desain Tanggul Pada Cross Section P.340



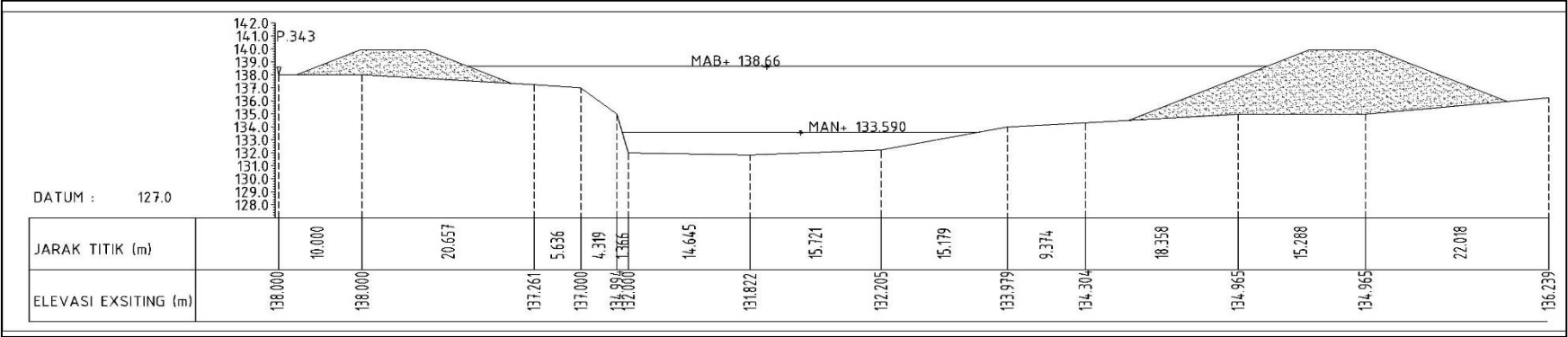
Lampiran 1.47 Desain Tanggul Pada Cross Section P.341



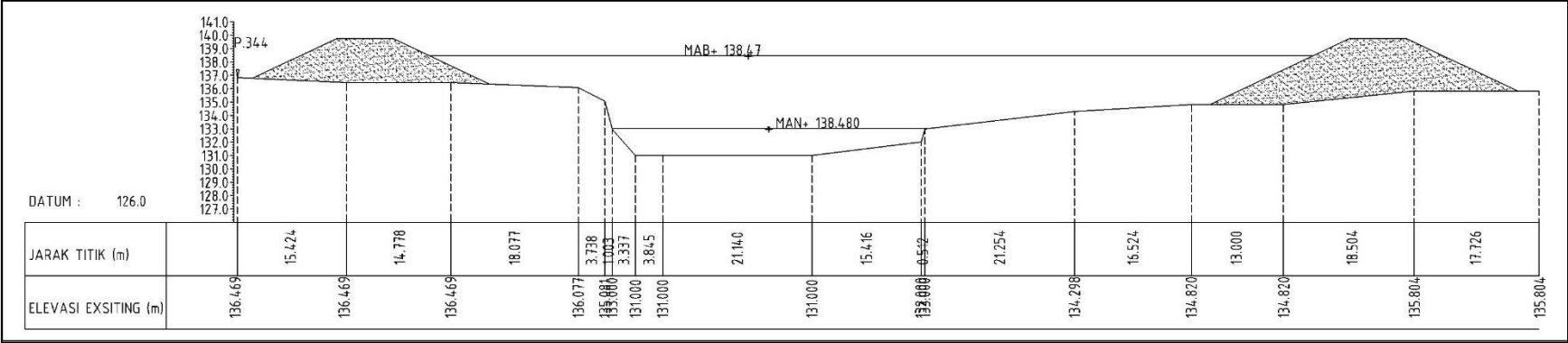
Lampiran 1.48 Desain Tanggul Pada Cross Section P.342



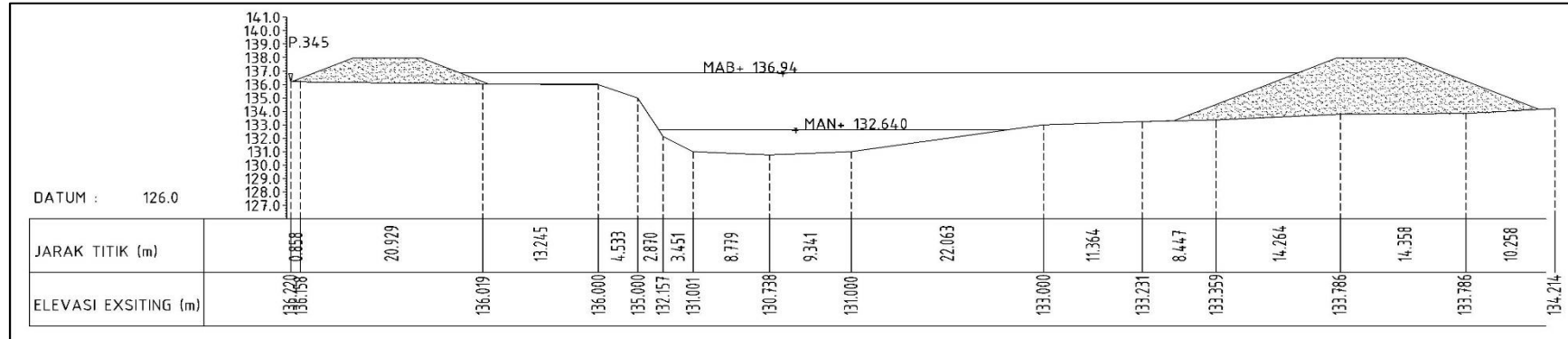
Lampiran 1.49 Desain Tanggul Pada Cross Section P.343



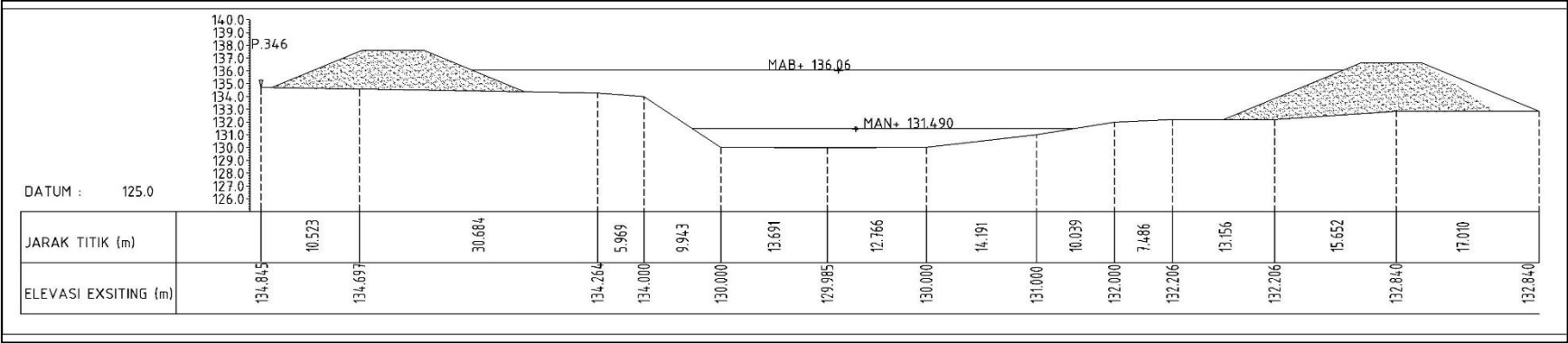
Lampiran 1.50 Desain Tanggul Pada Cross Section P.344



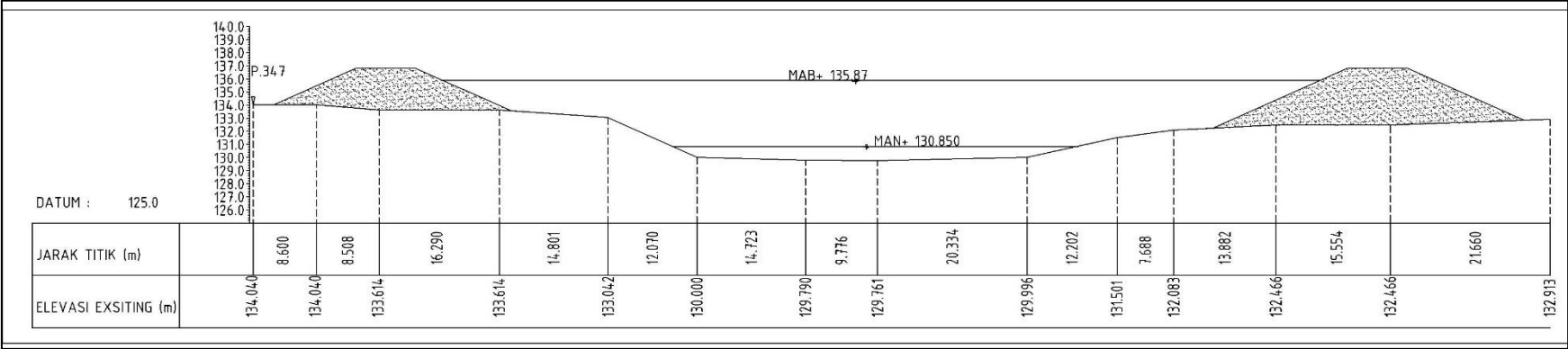
Lampiran 1.51 Desain Tanggul Pada Cross Section P.345



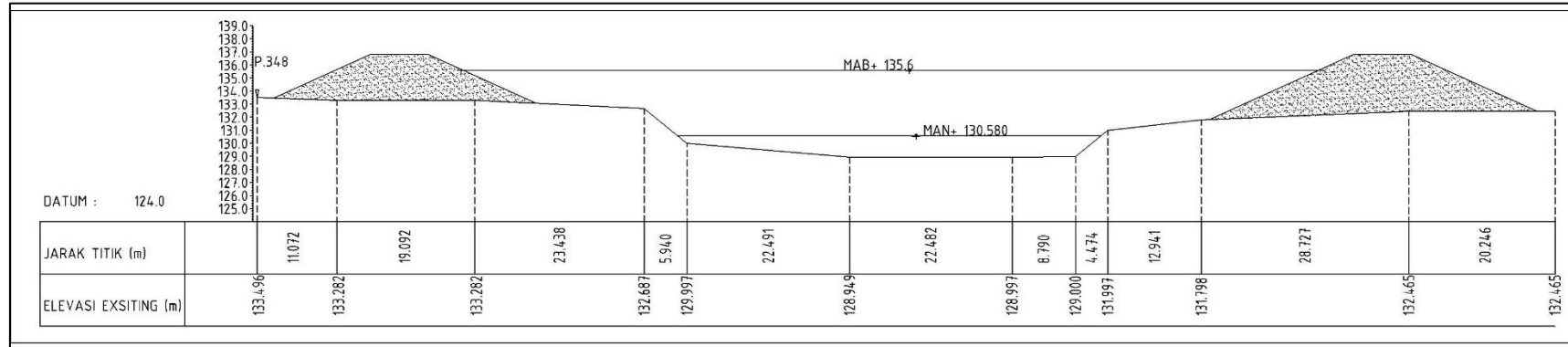
Lampiran 1.52 Desain Tanggul Pada Cross Section P.346



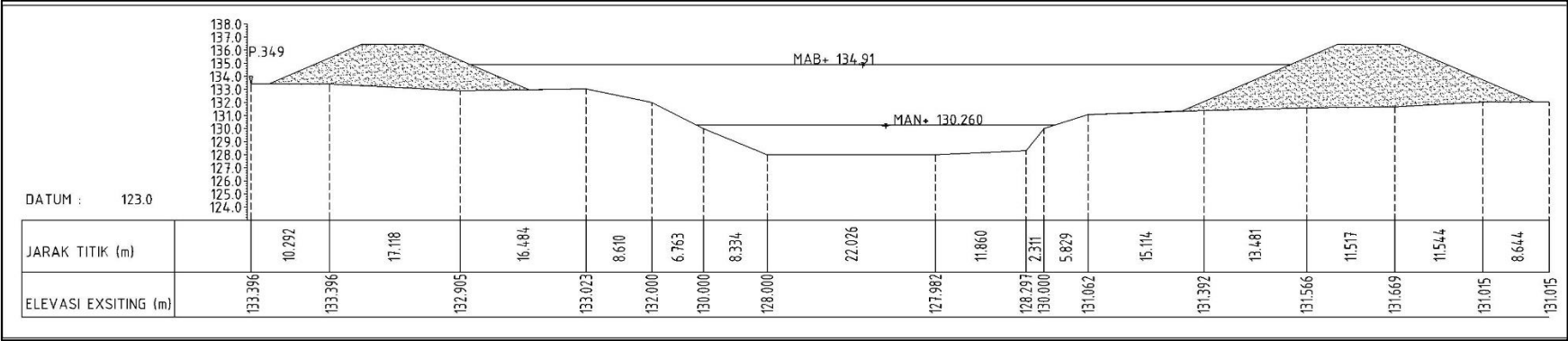
Lampiran 1.53 Desain Tanggul Pada Cross Section P.347



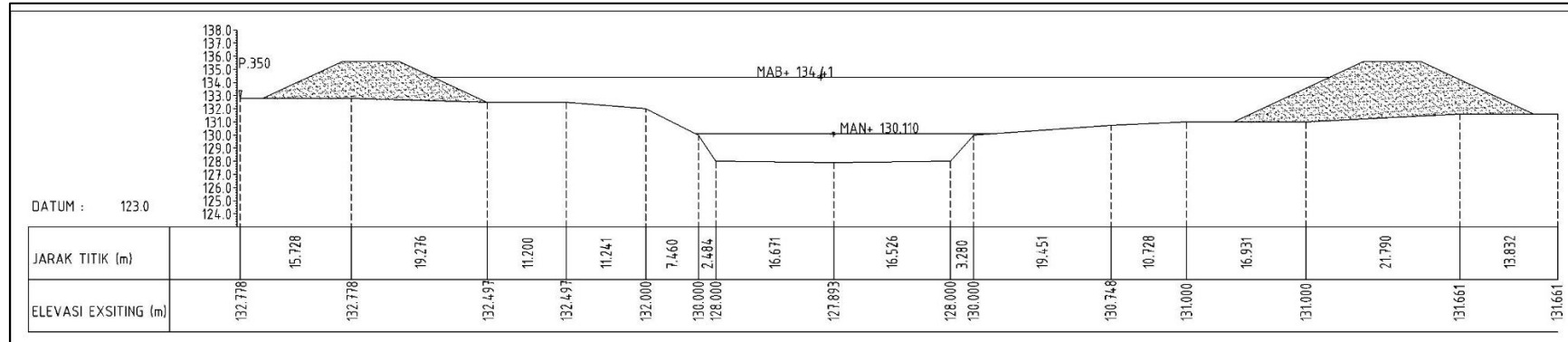
Lampiran 1.54 Desain Tanggul Pada Cross Section P.348



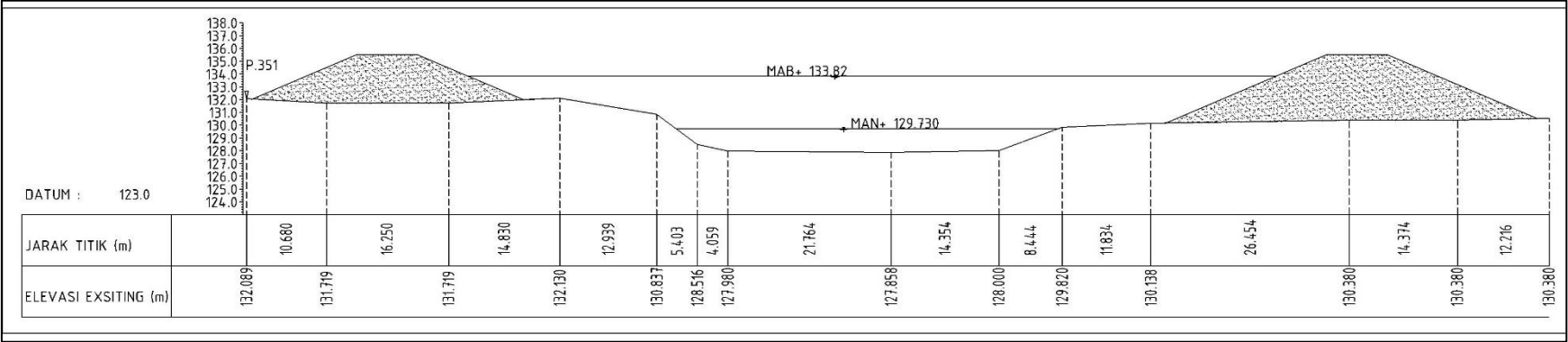
Lampiran 1.55 Desain Tanggul Pada Cross Section P.349



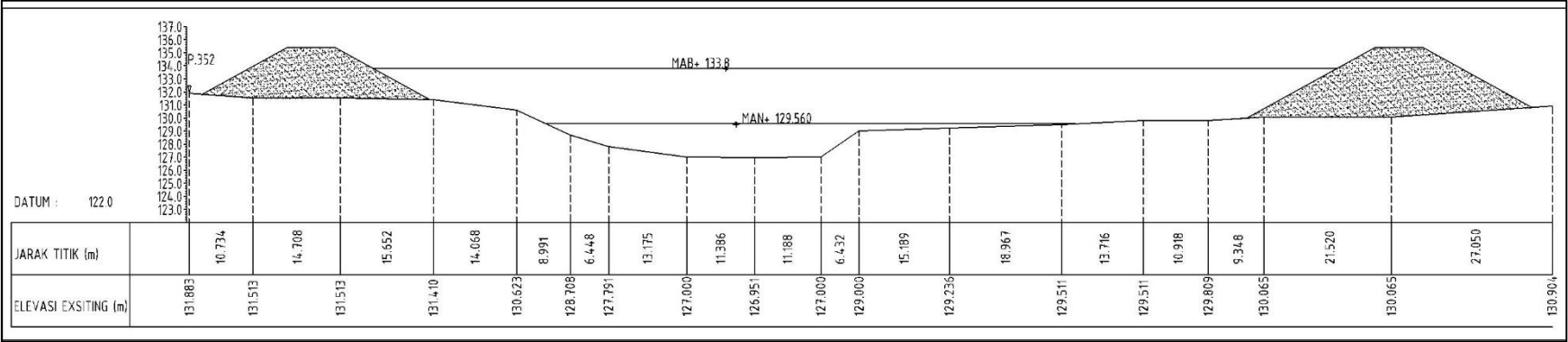
Lampiran 1.56 Desain Tanggul Pada Cross Section P.350



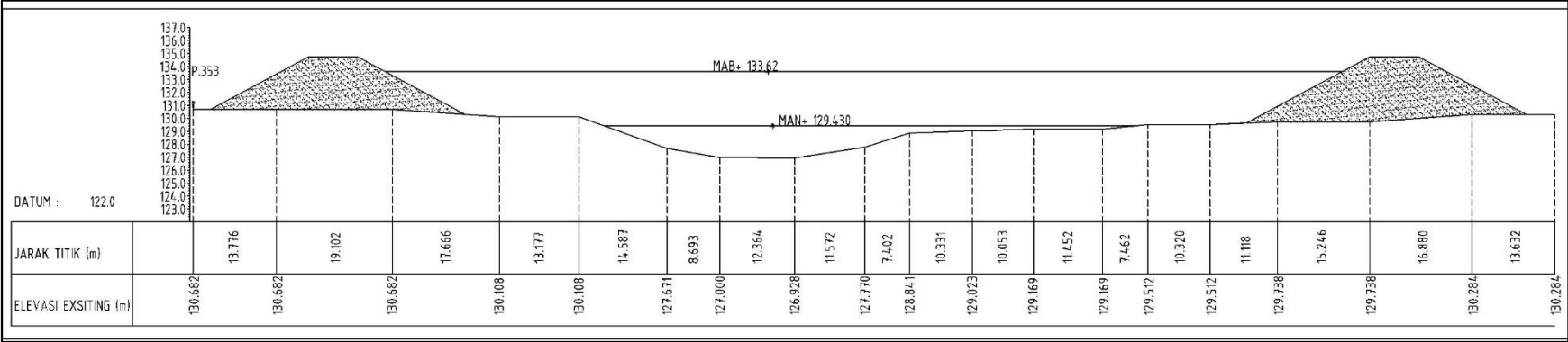
Lampiran 1.57 Desain Tanggul Pada Cross Section P.351



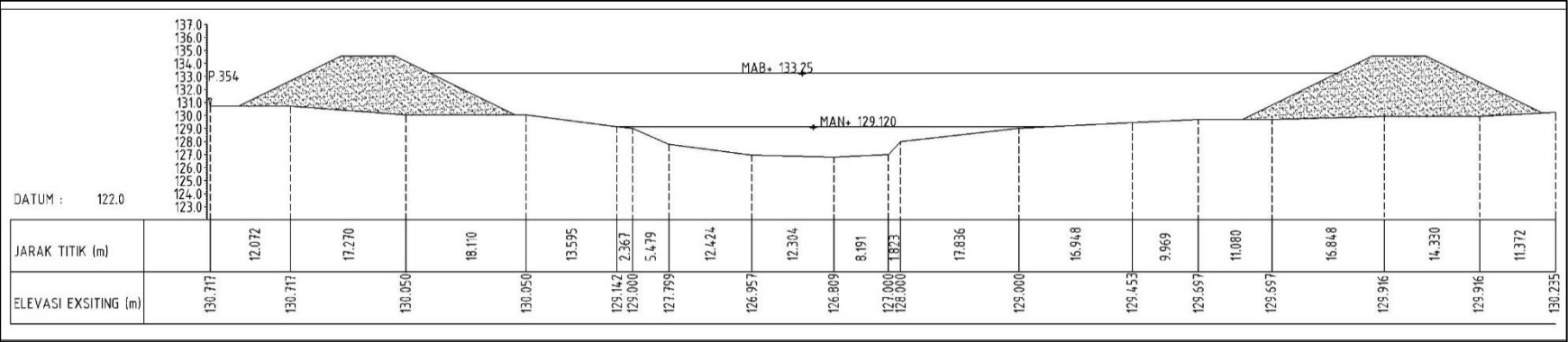
Lampiran 1.58 Desain Tanggul Pada Cross Section P.352



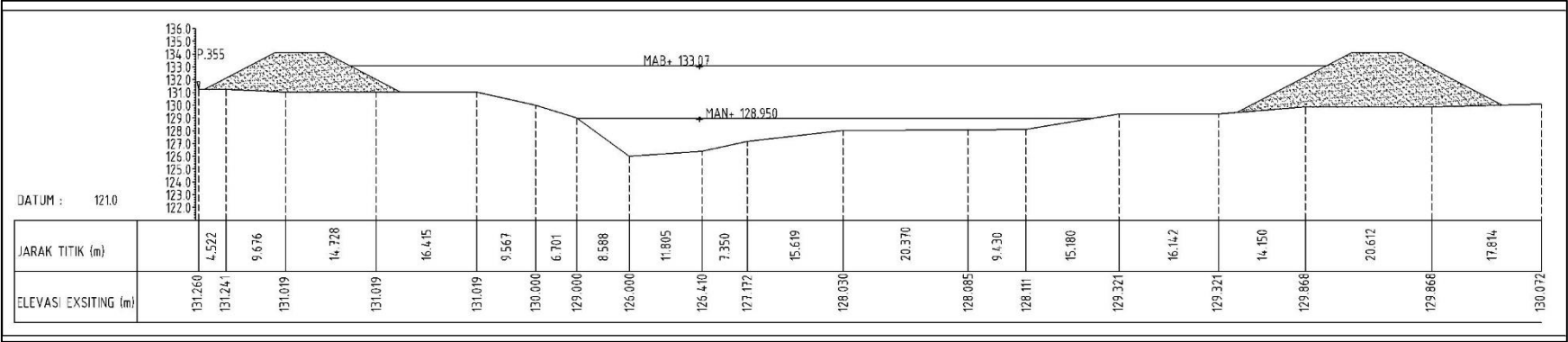
Lampiran 1.59 Desain Tanggul Pada Cross Section P.353



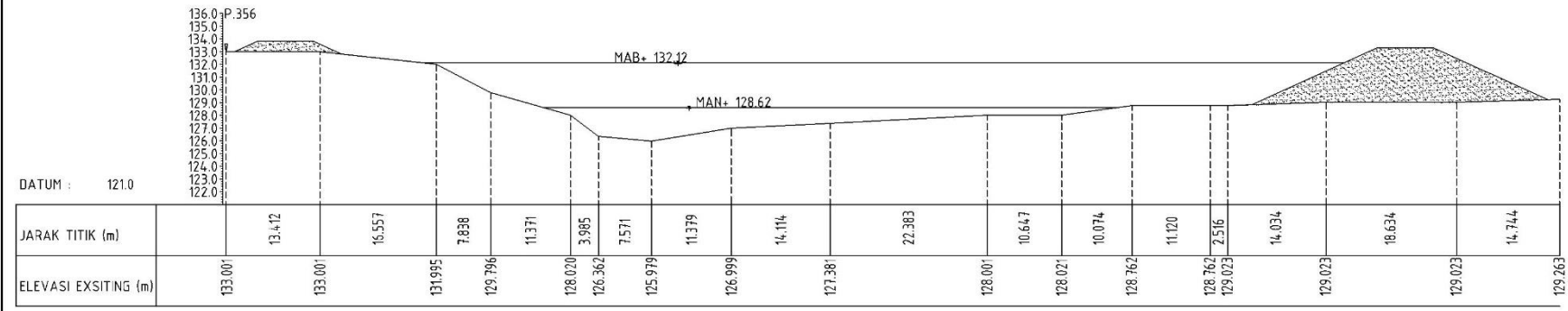
Lampiran 1.60 Desain Tanggul Pada Cross Section P.354



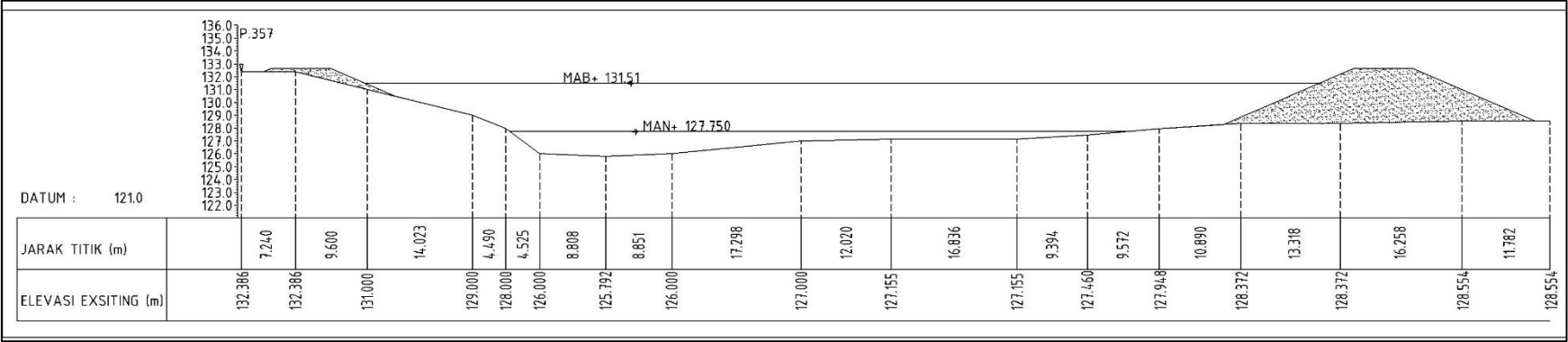
Lampiran 1.61 Desain Tanggul Pada Cross Section P.355



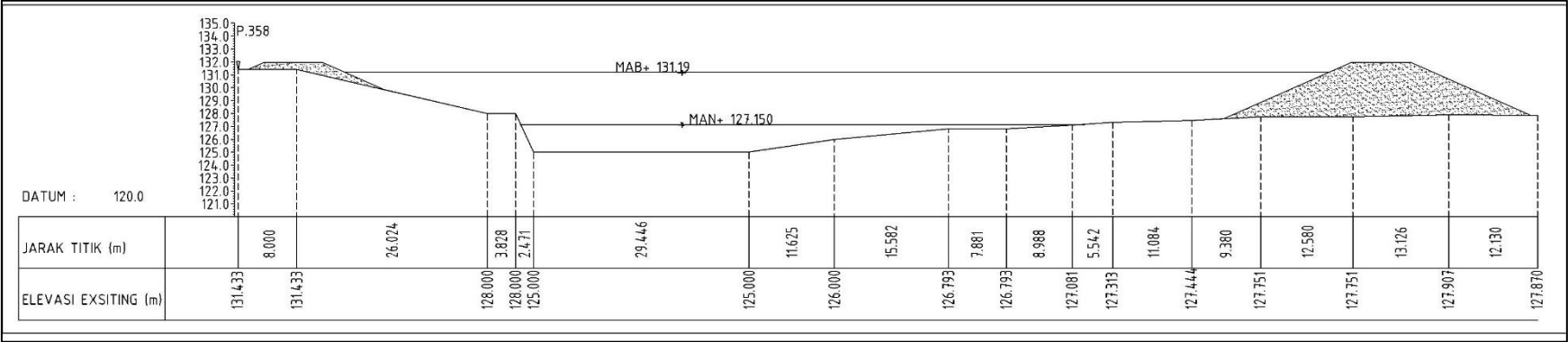
Lampiran 1.62 Desain Tanggul Pada Cross Section P.356



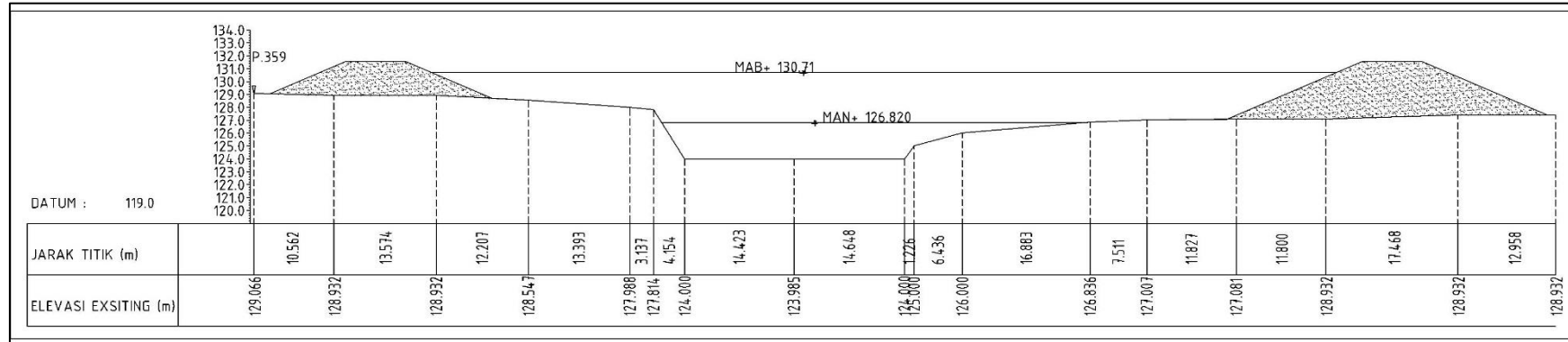
Lampiran 1.63 Desain Tanggul Pada Cross Section P.357



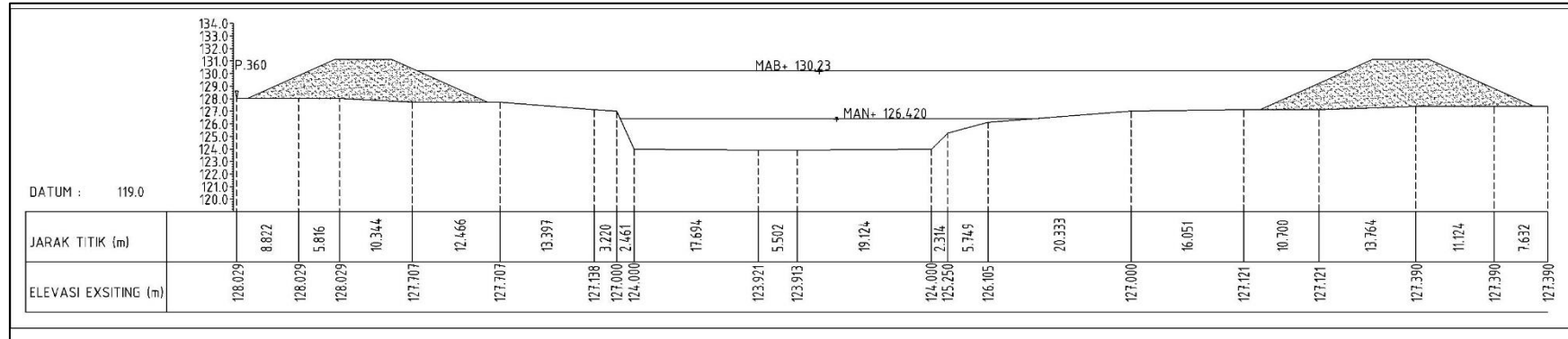
Lampiran 1.64 Desain Tanggul Pada Cross Section P.358



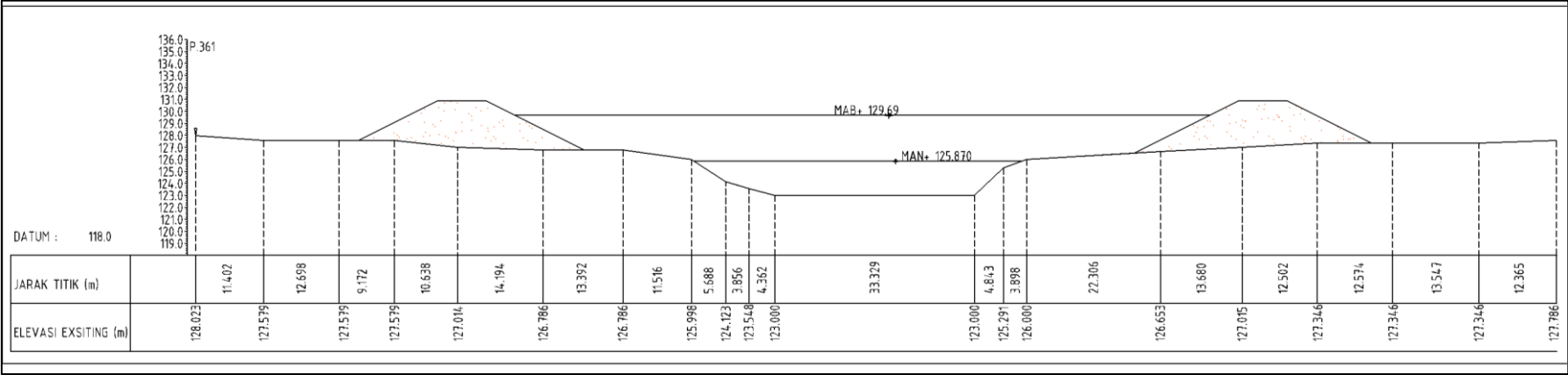
Lampiran 1.65 Desain Tanggul Pada Cross Section P.359



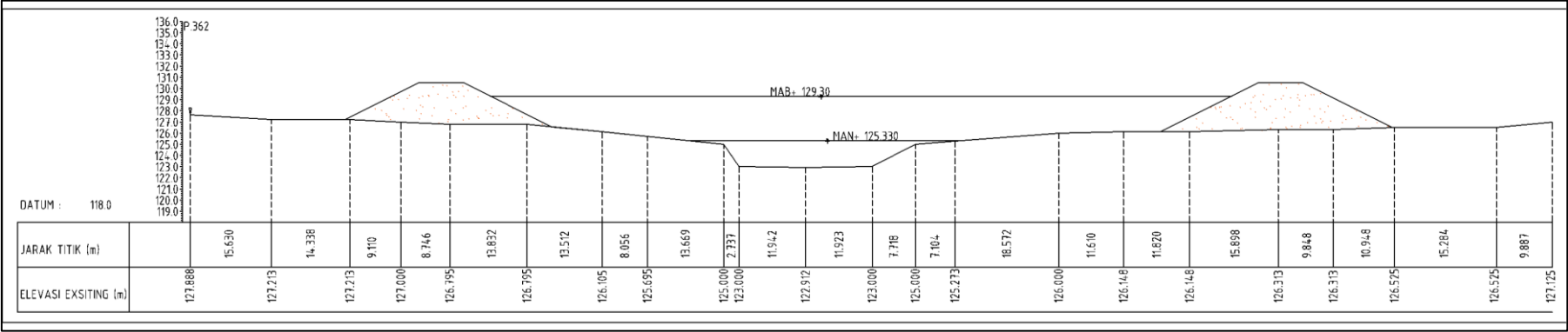
Lampiran 1.66 Desain Tanggul Pada Cross Section P.360



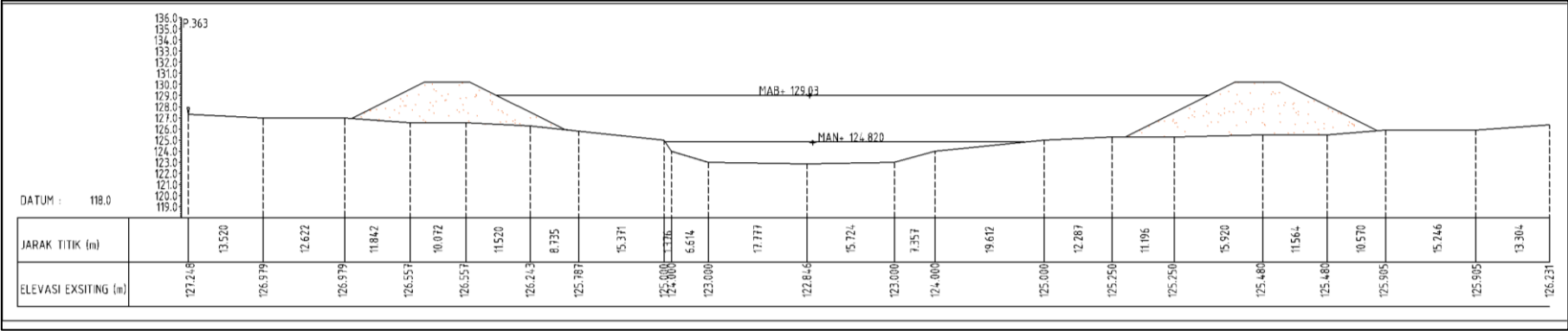
Lampiran 1.67 Desain Tanggul Pada Cross Section P.361



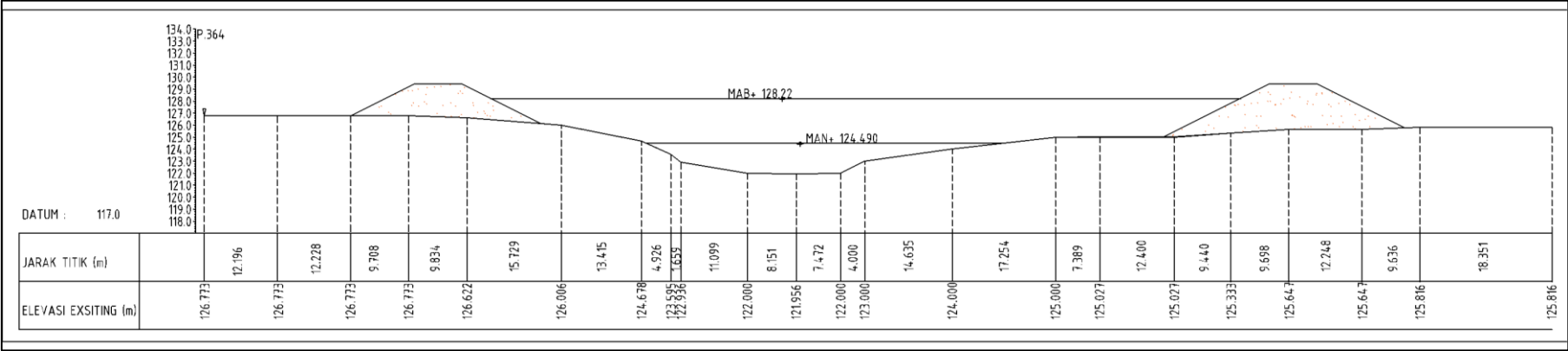
Lampiran 1.68 Desain Tanggul Pada Cross Section P.362



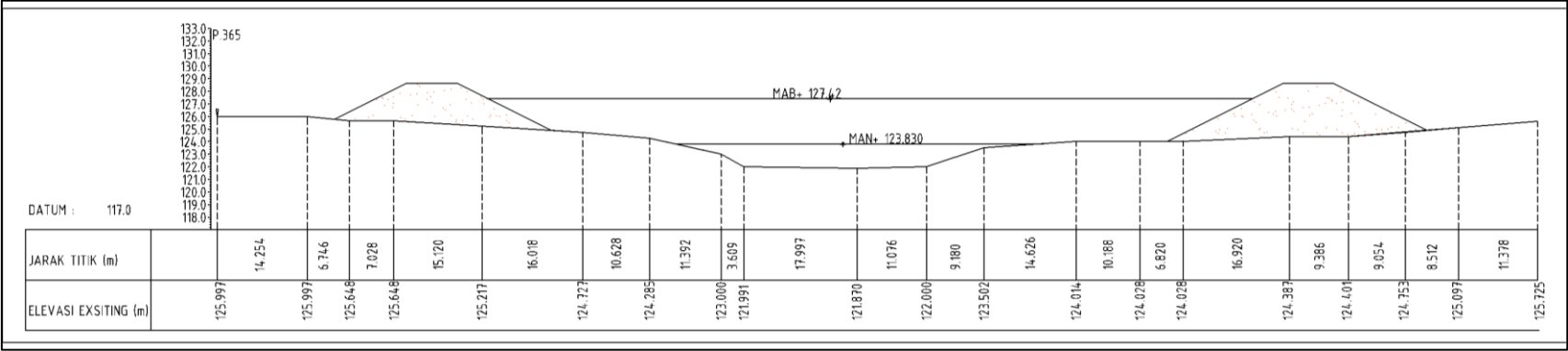
Lampiran 1.69 Desain Tanggul Pada Cross Section P.363



Lampiran 1.70 Desain Tanggul Pada Cross Section P.364



Lampiran 1.71 Desain Tanggul Pada Cross Section P.365



Lampiran 1.72 Desain Tanggul Pada Cross Section P.366

