

TUGAS AKHIR

ANALISIS KEBUTUHAN DIMENSI GROUND SILL JEMBATAN KEBON AGUNG II SUNGAI PROGO (ANALYSIS OF DIMENSIONS REQUIREMENT FOR THE GROUND SILL KEBON AGUNG II BRIDGE PROGO RIVER)

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



**Muhammad Raihan Wardhana
18511111**

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2023**

TUGAS AKHIR

ANALISIS KEBUTUHAN DIMENSI GROUND SILL JEMBATAN KEBON AGUNG II SUNGAI PROGO (*ANALYSIS OF DIMENSIONS REQUIREMENT FOR THE GROUND SILL KEBON AGUNG II BRIDGE PROGO RIVER*)

Disusun oleh

Muhammad Raihan Wardhana
18511111

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

Diuji pada tanggal 28 Februari 2023

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Dinia A., S.T., M.Eng.
NIK: 165110105

Penguji I

D.A.Wahyu Wulan P., S.T., M.T.
NIK: 1551111301

Penguji II

Dr. Ir. Sri Amini Y. A., M.T.
NIK: 885110101

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Sarjana Teknik Sipil

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



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian 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, 14 Maret 2023

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Raihan Wardhana

(18511111)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Analisis Kebutuhan Dimensi Groundsill Jembatan Kebon Agung II Sungai Progo*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu 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 terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak dan Ibu penulis yang telah banyak berkorban dalam material dan spiritual hingga selesainya Tugas Akhir ini,
2. Ibu Dinia Anggraheni, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing, atas bimbingan dan nasihat yang diberikan kepada penulis selama menyusun Tugas Akhir ini,
3. Ibu Dwi Astuti Wahyu Wulan Pratiwi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I atas saran, masukan, dan nasihat yang telah diberikan kepada penulis,
4. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T. selaku Dosen Penguji II atas saran, masukan, dan nasihat yang telah diberikan kepada penulis,
5. Ibu Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
6. Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak yang telah memberikan data-data yang dibutuhkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini,
7. Teman – teman saya Angkatan 18 yang menemani dan membantu saya selama perkuliahan,
8. Saudara dan sahabat yang memotivasi dan membantu saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Akhirnya Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 14 Maret 2023
Penulis



Muhammad Raihan Wardhana
18511111

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xv
ABSTRAK	xvii
<i>ABSTRACT</i>	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Keaslian Penelitian	15
BAB III LANDASAN TEORI	16
3.1 Hujan	16
3.2 Daerah Aliran Sungai	16
3.3 Gerusan	17
3.4 Groundsill	18
3.5 Analisis Hidrologi	19
3.5.1 Hujan Kawasan	20

3.5.2	Analisis Frekuensi dan Probabilitas	22
3.5.2.1	Distribusi Normal	24
3.5.2.2	Distribusi <i>Log Normal</i>	26
3.5.2.3	Distribusi <i>Log-Pearson III</i>	26
3.5.2.4	Distribusi <i>Gumbel</i>	28
3.5.3	Uji Chi-Kuadrat	30
3.5.4	Analisis Distribusi Hujan	32
3.5.5	Aliran Dasar (<i>Baseflow</i>)	34
3.5.6	Debit Banjir Rencana	35
3.5.6.1	Analisis HSS Nakayasu	35
3.5.6.2	Analisis <i>HSS SCS</i>	37
3.6	Analisis Dimensi Groundsill	39
3.7	Analisis Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Groundsill	44
3.8	Analisis Stabilitas Groundsill	46
3.9	Hidrolika Saluran Terbuka	48
3.9.1	Definisi Saluran Terbuka	48
3.9.2	Klasifikasi Aliran	49
3.9.3	Analisis Profil Muka Air dan Kecepatan Aliran	50
BAB IV METODE PENELITIAN		62
4.1	Metode Penelitian	62
4.2	Lokasi Penelitian	62
4.3	Data Penelitian	63
4.4	Analisis Data	64
4.5	Bagan Alir Penelitian	65
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		67
5.1	Hasil Analisis Hujan Kawasan	67
5.2	Hasil Analisis Frekuensi dan Probabilitas	72
5.3	Hasil Uji <i>Chi-Kuadrat</i>	77
5.4	Hasil Analisis Distribusi Hujan	78
5.5	Parameter DAS	80
5.6	Hasil Analisis Aliran Dasar (<i>Base Flow</i>)	80

5.7	Hasil Analisis Debit Banjir Rencana	81
5.7.1	HSS <i>Nakayasu</i>	81
5.7.2	HSS SCS	83
5.7.3	Debit Banjir Rencana	85
5.8	Hasil Analisis Dimensi Groundsill	90
5.9	Hasil Analisis Gaya Pada Groundsill	94
5.10	Hasil Analisis Stabilitas Groundsill	96
5.11	Hasil Analisis Profil Muka Air dan Kecepatan Aliran	99
5.12	Pembahasan	105
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		107
6.1	Kesimpulan	107
6.2	Saran	108
DAFTAR PUSTAKA		109
LAMPIRAN		111

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian	9
Tabel 3. 1 Faktor Frekuensi Distribusi Normal	25
Tabel 3. 2 Nilai K Distribusi <i>Log-Pearson III</i>	27
Tabel 3. 3 Nilai <i>Reduced Mean</i> (Y_n)	28
Tabel 3. 4 Nilai Reduced Standard Deviation (S_n)	29
Tabel 3. 5 Nilai <i>Reduced Variate</i>	29
Tabel 3. 6 Persyaratan Jenis Distribusi	30
Tabel 3. 7 Nilai Kritis Chi-Kuadrat	31
Tabel 3. 8 Koefisien Pengaliran	32
Tabel 3. 9 Ordinat HSS SCS	38
Tabel 3. 10 Penentuan Lebar Mercu Peluap	39
Tabel 3. 11 Rumus Perhitungan Gaya dan Lengan Momen	45
Tabel 3. 12 Daya Dukung Tanah dan Koefisien Geser	47
Tabel 3. 13 Angka Rembesan Lane dan Bligh	48
Tabel 5. 1 <i>Catchment Area Polygon Thiessen</i>	68
Tabel 5. 2 Hasil Pencatatan Hujan Maksimum	68
Tabel 5. 3 Hasil Perhitungan Hujan Kawasan	70
Tabel 5. 4 Hasil Analisis Parameter Statistik	72
Tabel 5. 5 Pemilihan Jenis Distribusi	74
Tabel 5. 6 Hasil Analisis Parameter Statistik <i>Log-Pearson III</i>	74
Tabel 5. 7 Hasil Perhitungan Nilai K dan Hujan Rencana	76
Tabel 5. 8 Hasil Perhitungan Hujan Efektif	77
Tabel 5. 9 Hasil Uji <i>Chi Kuadrat</i>	78
Tabel 5. 10 Hasil Perhitungan Distribusi Hujan Rencana Efektif	79
Tabel 5. 11 Hasil Perhitungan HSS <i>Nakayasu</i>	82
Tabel 5. 12 Hasil Perhitungan HSS SCS	84
Tabel 5. 13 Hasil Perhitungan Debit Rencana <i>Nakayasu</i> 100 Tahun	85
Tabel 5. 14 Hasil Perhitungan Debit Rencana SCS 100 Tahun	88

Tabel 5. 15 Hasil Perhitungan Debit Rencana Nakayasu dan SCS	89
Tabel 5. 16 Hasil Perhitungan Momen Penahan	97
Tabel 5. 17 Hasil Perhitungan Momen Pengguling	98
Tabel 5. 18 Hasil Perhitungan Creep Line	99
Tabel 5. 19 Perubahan Profil Muka Air dan Kecepatan Aliran	105



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Jembatan Kebon Agung II	3
Gambar 3. 1 Daerah Aliran Sungai	17
Gambar 3. 2 Groundsill Tipe Ambang Datar	19
Gambar 3. 3 Groundsill Tipe Ambang Pelimpah	19
Gambar 3. 4 Polygon Thiessen	21
Gambar 3. 5 Gambar Detail Groundsill	44
Gambar 3. 6 Gaya Pada Groundsill Saat Kondisi Banjir dan Normal	44
Gambar 3. 7 Aliran Seragam dan Berubah	50
Gambar 3. 8 Gelombang Banjir Melalui Saluran Terbuka	50
Gambar 3. 9 Penggambaran AS Sungai	51
Gambar 3. 10 Program HEC-RAS 5.0.7	51
Gambar 3. 11 <i>New Project</i>	51
Gambar 3. 12 <i>Save Project</i>	52
Gambar 3. 13 RAS Mapper	52
Gambar 3. 14 <i>Set Projection</i>	52
Gambar 3. 15 <i>Project Settings</i>	53
Gambar 3. 16 <i>New Terrain</i>	53
Gambar 3. 17 Hasil <i>Create Terrain</i>	53
Gambar 3. 18 <i>Add New Geometry</i>	54
Gambar 3. 19 <i>Rivers</i>	54
Gambar 3. 20 <i>Import Features</i>	54
Gambar 3. 21 Hasil Input AS Sungai	55
Gambar 3. 22 <i>Edit Geometry</i>	55
Gambar 3. 23 Menggambar <i>Bank Lines</i>	56
Gambar 3. 24 <i>Generate Cross Sections</i>	56
Gambar 3. 25 Input Jarak dan Lebar	56
Gambar 3. 26 Hasil Penggambaran <i>Bank Lines</i> dan <i>Cross Sections</i>	57
Gambar 3. 27 Input Data Debit Rencana	57

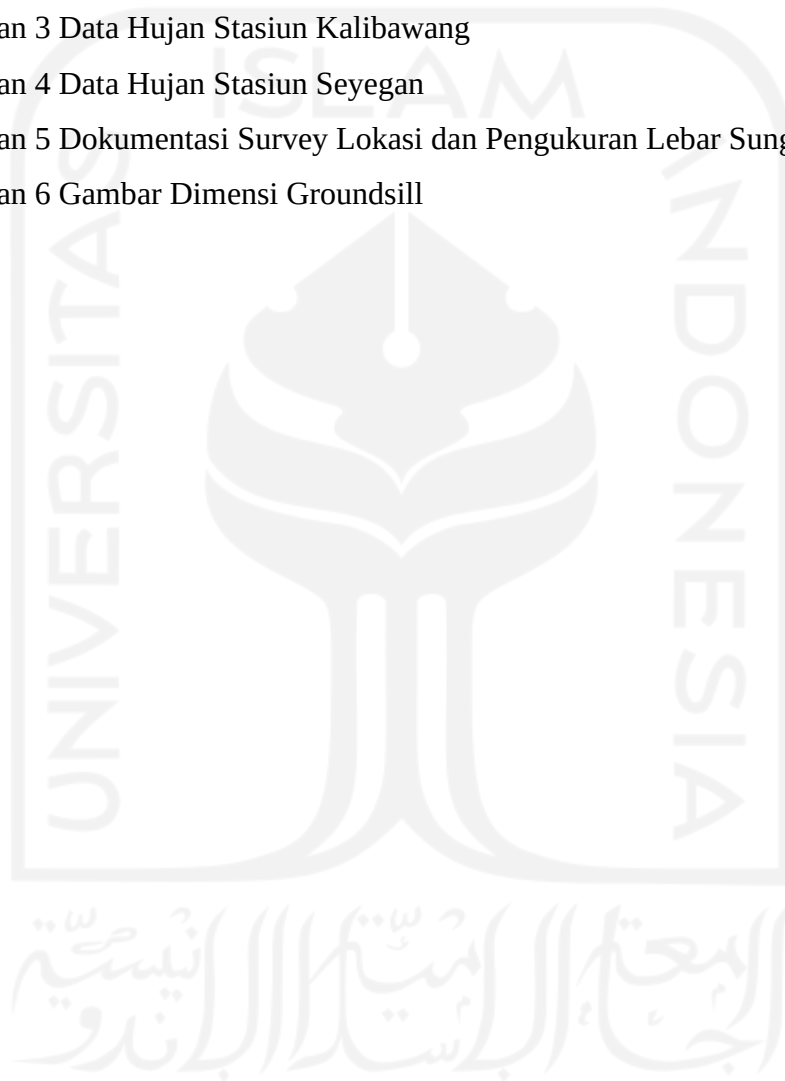
Gambar 3. 28 <i>Boundary Conditions</i>	58
Gambar 3. 29 <i>Manning's n or k values</i>	58
Gambar 3. 30 Input Nilai <i>Manning</i>	59
Gambar 3. 31 <i>Running Steady Flow Analysis</i>	59
Gambar 3. 32 <i>Finished Computations</i>	59
Gambar 3. 33 <i>Inline Structure</i>	60
Gambar 3. 34 <i>Add an Inline Structure</i>	60
Gambar 3. 35 Input Dimensi Groundsill	60
Gambar 3. 36 Hasil Input Struktur Groundsill	61
Gambar 4. 1 Lokasi Penelitian	62
Gambar 4. 2 Bagan Alir Penelitian	66
Gambar 5. 1 Peta Polygon Thiessen	67
Gambar 5. 2 Kurva HSS <i>Nakayasu</i> Kala Ulang 100 Tahun	87
Gambar 5. 3 Kurva HSS SCS Kala Ulang 100 Tahun	89
Gambar 5. 4 Gaya dan Titik Berat Pada Groundsill	94
Gambar 5. 5 Panjang Creep Line Groundsill	98
Gambar 5. 6 <i>Output</i> HEC-RAS Tanpa Struktur Groundsill	99
Gambar 5. 7 <i>Output</i> HEC-RAS Dengan Struktur Groundsill	100
Gambar 5. 8 <i>Cross Section 14</i>	100
Gambar 5. 9 <i>Cross Section 13</i>	100
Gambar 5. 10 <i>Cross Section 12</i>	101
Gambar 5. 11 <i>Cross Section 11</i>	101
Gambar 5. 12 <i>Cross Section 10</i>	101
Gambar 5. 13 <i>Cross Section 9</i>	101
Gambar 5. 14 <i>Cross Section 8</i>	102
Gambar 5. 15 <i>Cross Section 7</i>	102
Gambar 5. 16 <i>Cross Section 6</i>	102
Gambar 5. 17 <i>Cross Section 5</i>	102
Gambar 5. 18 <i>Cross Section 4.5</i>	103
Gambar 5. 19 <i>Cross Section 4</i>	103
Gambar 5. 20 <i>Cross Section 3</i>	103

Gambar 5. 21 Cross Setion 2	103
Gambar 5. 22 <i>Cross Section 1</i>	104
Gambar 5. 23 <i>Long Section</i>	104



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hujan Stasiun Caturanom	112
Lampiran 2 Data Hujan Stasiun Badran	120
Lampiran 3 Data Hujan Stasiun Kalibawang	128
Lampiran 4 Data Hujan Stasiun Seyegan	138
Lampiran 5 Dokumentasi Survey Lokasi dan Pengukuran Lebar Sungai	146
Lampiran 6 Gambar Dimensi Groundsill	148



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

P	= Hujan Kawasan
A	= Luas DAS
A _i	= Luas
X _i	= Nilai Rerata
S	= Standar Deviasi
CS	= Koefisien Kemencengan
CK	= Koefisien Kurtosis
CV	= Koefisien Variasi
K	= Konstanta <i>Log-Pearson III</i>
X _T	= Hujan Rencana Kala Ulang
C	= Faktor Koefisien Pengaliran
R _n	= Hujan Rencana Efektif
Re	= Kedalaman Hujan Efektif
Q	= Debit Banjir
Q ₁₀	= Debit Kala Ulang 10 Tahun
Q _p	= Debit Puncak
HSS	= Hidrograf Satuan Sintetis
tg	= Waktu Puncak
Q _d	= Debit Desain
B	= Lebar Sungai
B ₁	= Lebar Dasar Pelimpah
B ₂	= Lebar Atas Pelimpah
h ₃	= Tinggi Muka Air Di Atas Mercu
A	= Luas Penampang
b	= Lebar Mercu
H	= Tinggi Main Dam
m	= Kemiringan Hulu Bendung
n	= Kemiringan Hilir Bendung

t	= Tebal Kolam Olak
L	= Panjang Kolam Olak
d	= Tinggi Sub Dam
h_p	= Kedalaman Pondasi
γ_c	= Berat Jenis Beton Bertulang
γ_w	= Berat Jenis Air
G	= Berat Groundsill
V	= Tekanan Air Vertikal
P	= Tekanan Air Horizontal
f	= Koefisien Geser
FV	= Gaya Penahan
FH	= Gaya Penggeser
M	= Momen
MV	= Momen Penahan
MH	= Momen Pengguling
SF	= <i>Safety Factor</i>
CL	= <i>Creep Line</i>
V	= Kecepatan Aliran
α	= Konsentrasi Sedimen, Nilai Keterikatan Chi-Kuadrat

ABSTRAK

Salah satu infrastruktur yang berada di Sungai Progo adalah Jembatan Kebon Agung II. Beberapa masalah yang sering ditemui pada jembatan melintang sungai adalah kegagalan struktur bawah jembatan. Faktor utama kegagalan struktur bawah jembatan adalah penurunan atau degradasi dasar sungai dan gerusan lokal di sekitar pondasi dan pilar. Oleh karena itu, diperlukan bangunan pengaman yaitu groundsill sebagai usaha untuk mencegah dan mengurangi kerugian dari fenomena yang membahayakan infrastruktur di sungai. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis debit rencana, dimensi groundsill, dan stabilitas groundsill terhadap bahaya geser, guling, dan rembesan (*piping*).

Analisis debit rencana 100 tahun dilakukan dengan menggunakan metode *Nakayasu* dan SCS. Untuk analisis dimensi groundsill dan stabilitas menggunakan pedoman Pd-T-12-2004-A dan KP-06. Kemudian dilakukan analisis tambahan yaitu analisis profil muka air dan kecepatan aliran menggunakan program HEC-RAS.

Hasil perhitungan debit rencana 100 tahun *Nakayasu* adalah 1685,73 m³/s. Groundsill didesain dengan debit desain 1739,68 m³/s; lebar pelimpah 78 m; lebar mercu 2 m; tinggi main dam 3 m; kemiringan hulu 0,4; kemiringan hilir 0,4; tebal kolam olak 1,65 m; panjang kolam olak 33,76 m; tinggi sub dam 1,5 m; dan kedalaman pondasi 2,8 m. Groundsill aman terhadap bahaya geser $SF\ 2,13 > 1,2$; guling $2,05 > 1,2$; dan rembesan $CL\ 9,38 > 2,5$. Desain groundsill aman terhadap banjir dengan jarak antara muka air banjir dan jagaan setinggi 1,16 m. Setelah ada groundsill terjadi kenaikan muka air sebesar 2,43 % dan penurunan kecepatan aliran sebesar 27,83 % di bagian hulu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain groundsill sudah aman terhadap bahaya geser, guling, rembesan, dan banjir.

Kata Kunci: Jembatan, Degradasi dasar sungai, Gerusan lokal, Groundsill

ABSTRACT

One of the infrastructures that exist on the Progo River is Kebon Agung II Bridge. Some problem often found on bridges across the river was the failure of the bridge's lower structure. The main factor for the failure of the bridge's lower structure is river bed degradation and local scouring around the foundation and the pillar. Therefore, needed safety building named groundsill as an effort to prevent and reduce the loss of phenomena that harm infrastructure on the river. This research aims to analyze the discharge plan, dimension of groundsill, stability of the groundsill against landslides, overturning, and piping hazards.

The discharge plan analysis was done with Nakayasu and SCS methods. For analysis of groundsill dimension and stability using Pd-T-12-2004-A and KP-06 handbook. Then an additional analysis was carried out, namely the analysis of the water surface profile and flow velocity using the HEC-RAS program.

The Nakayasu 100-year discharge plan calculation result is $1685,73 \text{ m}^3/\text{s}$. Groundsill is designed with a discharge design of $1739,68 \text{ m}^3/\text{s}$; overflow width of 78 m; top point width of 2 m; main dam height of 3 m; the upstream slope of 0,4; the downstream slope of 0,4; plunge floor thickness of 1,65 m; plunge floor length of 33,76 m; sub dam height of 1,5 m; and foundation depth of 2,8 m. The groundsill is safe against landslides hazard $SF 2,13 > 1,2$; overturning hazard $SF 2,05 > 1,2$; and piping hazard $CL 10,29 > 2,5$. Groundsill design is safe against flood with the distance between the flood surface and groundsill peak as high as 1,16 m. After there is groundsill occurred water surface increase of 2,43% and flow velocity reduction of 27,83%. The result showed that groundsill is safe against landslides, overturning, piping, and flood hazards.

Keyword: Bridge, River bed degradation, Local scouring, Groundsill

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai Progo adalah sungai yang melintasi wilayah Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta. Sungai ini memiliki luas DAS $\pm 2.421 \text{ km}^2$ dan panjang sungai $\pm 138 \text{ km}$. Sungai ini berhulu di empat gunung, yaitu Gunung Sumbing, Gunung Sindoro, Gunung Merbabu, dan Gunung Merapi. Muara sungai terletak di Desa Poncosari, Kecamatan Srandakan, Bantul dan Desa Banaran, Kecamatan Galur, Kulon Progo. Sepanjang aliran sungai terdapat konstruksi bangunan yang berada di badan sungai yaitu bendungan, bendung, embung, dan jembatan. Bangunan tersebut memiliki kegunaan masing-masing dalam menunjang aktivitas dan kebutuhan hidup manusia. Salah satu bangunan yang konstruksinya berada di sepanjang aliran Sungai Progo adalah Jembatan Kebon Agung II.

Jembatan adalah infrastruktur yang dibangun untuk menghubungkan dua jalur yang terpisah karena terdapat rintangan seperti sungai, lembah, dan sebagainya. Jembatan dengan bentang yang panjang memiliki konstruksi bagian bawah jembatan yaitu pondasi, pilar dan *abutment*. Beban yang berada diatas jembatan diterima oleh pilar dan disalurkan ke pondasi kemudian diteruskan ke dalam tanah. Umumnya jembatan dilengkapi dengan bangunan pelindung. Akan tetapi, pada pembangunan jembatan seringkali belum dilengkapi dengan bangunan pelindungnya, terutama pada jembatan yang terletak di sungai yang memiliki aliran yang deras.

Beberapa masalah yang sering ditemui pada jembatan melintang sungai adalah kegagalan struktur bawah jembatan berupa pondasi, pilar, atau pangkal/*abutment* dalam menopang jembatan. Salah satu sumber ancaman terhadap keamanan struktur bawah jembatan adalah dinamika sungai, khususnya dinamika dasar sungai di sekitar pondasi dan pilar jembatan. Faktor utama kegagalan struktur bawah jembatan adalah penurunan atau degradasi dasar sungai dan gerusan lokal di sekitar pondasi dan pilar. Ancaman terhadap keamanan struktur bawah jembatan

akan bertambah jika terjadi banjir, khususnya banjir besar dapat memperbesar degradasi sungai dan gerusan lokal.

Ditambah lagi saat ini banyak terdapat aktivitas penambangan pasir di Sungai Progo yang lokasinya berada di dekat tiang penyangga jembatan. Aktivitas penambangan yang berlebihan dapat mengakibatkan degradasi dasar sungai apabila pasokan sedimen dari arah hulu sangat terbatas karena banyaknya bangunan penangkap pasir di hulu. Selain faktor alamiah ada pula faktor campur tangan dari manusia yang dapat memperparah degradasi dasar sungai. Melihat pentingnya jembatan sebagai sarana penghubung antar wilayah dan sebagai bentuk pencegahan agar tidak terulang kembali peristiwa runtuhnya jembatan, diperlukan suatu penanganan berupa bangunan pengendali dasar sungai yaitu *groundsill* sebagai usaha untuk mencegah dan mengurangi kerugian yang diakibatkan degradasi sungai dan gerusan yang membahayakan infrastruktur di sepanjang sungai.

Groundsill adalah struktur ambang melintang yang terletak di hilir jembatan. Struktur tersebut berfungsi untuk mengurangi laju aliran yang sangat deras, menstabilkan alur dasar sungai, dan untuk pengamanan bangunan sungai, sehingga mencegah terjadinya gerusan di sekitar pilar jembatan. *Groundsill* memiliki bagian struktur utama berupa main dam, kolam olak, dan sub dam. Melihat fungsi *groundsill* yang sangat penting, struktur *groundsill* harus didesain dengan aman dan kuat terhadap bahaya geser pada saat banjir, bahaya guling pada saat banjir, dan bahaya terhadap rembesan.

Jembatan Kebon Agung II terletak di Jalan Raya Banjarjarum, Kecamatan Kalibawang, Kabupaten Kulon Progo. Jembatan ini memiliki bentang sepanjang 224 m. Sebanyak 4 pilar digunakan untuk menopang jembatan dan beban yang melintasinya. Terdapat 2 pilar yang letaknya berada di badan sungai. Jembatan ini belum memiliki bangunan pengendali dasar sungai di hilirnya. Beberapa jembatan telah dilengkapi dengan bangunan pelindung, seperti Jembatan Kebon Agung, Jembatan Bantar dan Jembatan Srandakan. Oleh karena itu, melalui tugas akhir ini akan dilakukan analisis kebutuhan dimensi *groundsill* dengan judul “Analisis Kebutuhan Dimensi *Groundsill* Jembatan Kebon Agung II Sungai Progo”. Jembatan Kebon Agung II dapat dilihat pada Gambar 1.1 sebagai berikut.



Gambar 1. 1 Jembatan Kebon Agung II

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan rumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana analisis debit banjir rencana periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun?
2. Bagaimana analisis dimensi groundsill di hilir Jembatan Kebon Agung II Sungai Progo?
3. Bagaimana stabilitas groundsill terhadap bahaya geser, guling, dan rembesan (*piping*)?

1.3 Tujuan Penelitian

Mengacu pada rumusan masalah di atas adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis debit banjir rencana periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun.
2. Menganalisis dimensi groundsill di hilir Jembatan Kebon Agung II Sungai Progo.
3. Menganalisis stabilitas groundsill terhadap bahaya geser, guling, dan rembesan (*piping*).

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah diperlukan dalam pembuatan tugas akhir agar tidak meluasnya topik permasalahan dan pembahasan. Topik permasalahan dan pembahasan dibatasi sebagai berikut.

1. Data hujan yang digunakan berjumlah 4 stasiun yaitu stasiun Caturanom, stasiun Badran, stasiun Kalibawang dan stasiun Seyegan dengan panjang data 15 tahun (2004 - 2018).
2. Analisis debit banjir rencana menggunakan metode HSS *Nakayasu* dan HSS *SCS*.
3. Stabilitas *groundsill* ditinjau dari faktor keamanan terhadap bahaya geser, guling, dan rembesan (*piping*).
4. Elevasi *cross section* sungai dan tanggul menggunakan data *DEM*.
5. Penelitian ini tidak menganalisis sedimentasi.
6. Penelitian ini tidak menghitung Rencana Anggaran Biaya (RAB).
7. Penelitian ini tidak membuat *Detail Engineering Design* (DED).

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagi peneliti, mengetahui analisis hidrologi, analisis dimensi *groundsill*, dan kontrol stabilitasnya terhadap bahaya guling, geser, dan rembesan (*piping*).
2. Bagi mahasiswa, mengetahui manfaat penerapan bangunan *groundsill* terhadap lingkungan dan bangunan lainnya.
3. Bagi khalayak umum, dapat dijadikan sebagai sebagai bahan referensi untuk penelitian selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian, tinjauan pustaka perlu dilakukan untuk mengetahui berbagai penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mengenai desain bangunan pengendali dasar sungai sehingga dapat memperkaya referensi untuk penelitian yang akan dilakukan dengan berbagai latar belakang, metode, dan variabel yang beragam. Berikut ini adalah penelitian/perancangan yang telah dilakukan sebelumnya.

1. Sugito (2015) melakukan penelitian dengan judul “Perencanaan Check Dam Way Rarem Di Kabupaten Lampung Utara”. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan besaran hidrologi banjir rancangan dan angkutan sedimen sebagai masukan penting dalam perencanaan check Dam, mendapatkan besaran hidrolika dan dimensi pokok bangunan check dam, dan mendapatkan gambar desain berupa layout dan detail penampang bangunan. Jenis distribusi frekuensi yang digunakan untuk analisis curah hujan rancangan pada kala ulang tertentu adalah distribusi *Gumbel* dan *Log Pearson III*. Metode yang digunakan untuk analisis debit banjir rancangan adalah metode Rasional. Untuk memperkirakan besarnya erosi dan jumlah sedimen yang masuk digunakan metode *Universal Soil Loss Equation (USLE)* dan metode *Sediment Delivery Ratio (SDR)*. Perencanaan check dam menggunakan beberapa referensi dari dokumen perencanaan terdahulu dan pedoman perencanaan bangunan pengendali sedimen. Besaran banjir rancangan metode rasional untuk kala ulang 2, 5, 10, 20, 50, dan 100 tahun berturut-turut adalah 109,74; 153,12; 178,15; 194,91; 225,83; dan 241,59 m³/detik. Sebanding dengan debit banjir rancangan, sedimen yang terangkut secara berturut-turut adalah 4,794; 6,08; 6,79; 7,34; 8,41; dan 8,73 ribu m³. Dimensi pokok bangunan yang dihasilkan dari proses perencanaan adalah peluap (lebar atas $b_1 = 42$ m, lebar bawah $b_2 = 50$ m, dan $r_{i3} = 1,47$ m), main

dam (lebar mercu atas $b_1 = 2,5$ m, lebar mercu bawah $b_2 = 6,5$ m, kemiringan hulu 1 : 0,6 dan hilir 1 : 0,5), lantai olak (panjang lantai $L = 10$ m dan tebal $t = 0,10$ m), dan sub dam (lebar mercu atas $b_1 = 2$ m dan bagian bawah $b_2 = 6$ m).

2. Sumarno (2016) melakukan penelitian dengan judul “Evaluasi Bangunan Pengendali Sedimen Pada Sungai Ciliung Dengan Dua Alternatif Debit Banjir”. Penelitian tersebut mempunyai tujuan untuk mengurangi tingginya laju sedimentasi pada aliran Sungai Ciliung menuju Daerah Aliran Sungai (DAS) Citanduy dengan cara membangun check dam guna mengendalikan sedimentasi sungai. Metode analisis yang digunakan untuk menghitung curah hujan dan debit banjir rencana adalah metode *Gumbel* dan *Haspers*. Untuk mendesain konstruksi bangunan check dam digunakan peraturan Pd T-12-2004-A sebagai dasar perencanaan. Dari hasil analisis dan perhitungan debit banjir rencana didapatkan banjir kala ulang 10 dan 25 tahun sebesar 179,717 m³/detik dan 206,126 m³/detik. Desain konstruksi check dam yang dihasilkan meliputi lebar pelimpah 22 m, tinggi MAB $Q_{10} : 2,78$ m dan tinggi MAB : 3,05 m, lebar mercu pelimpah 2,2 m, tinggi mercu pelimpah 4,5 m, kemiringan hilir tubuh mercu 1 : 0,6 (vertikal : horizontal), kemiringan hulu tubuh mercu 1 : 0,3 (vertikal : horizontal), tebal lantai kolam olak 1 m, jarak antara sub dam dan main dam 21 m, dan tinggi sub dam 1,2 m. check dam tersebut dapat menampung sedimen sebanyak 141,750 m³.
3. Rahardian (2017) melakukan penelitian yang berjudul “Perencanaan Groundsill Di Sungai Galeh Kabupaten Temanggung”. Tujuan dilakukannya penelitian tersebut adalah untuk menganalisis stabilitas groundsill ditinjau dari faktor keamanan terhadap bahaya guling, daya dukung tanah, geser, dan bahaya rembesan (*piping*). Berdasarkan hasil uji distribusi statistik metode yang dipilih untuk perhitungan intensitas curah hujan adalah metode *Log Pearson Tipe III*. Metode yang digunakan untuk perhitungan debit banjir rencana adalah metode FSR jawa-sumatra, HSS *Gama I*, metode Rasional, metode *Haspers*, dan HSS *Nakayasu*. Untuk desain konstruksi groundsill digunakan *RSNI 03 – 2851 1991* sebagai dasar perencanaan. Dari hasil

perhitungan digunakan periode ulang 50 tahun dengan debit sebesar $Q = 84,7 \text{ m}^3/\text{detik}$ yang menggunakan metode Nakayasu. Hasil desain *groundsill* meliputi lebar peluap (lebar bawah $B_1 = 37 \text{ m}$, lebar atas $B_2 = 39 \text{ m}$, dan tinggi muka air diatas peluap $h_w = 2 \text{ m}$), main dam (tinggi efektif main dam $h_m = 4 \text{ m}$, kedalaman pondasi $h_p = 2 \text{ m}$, kemiringan hulu $1 : 0,6$), lantai lindung (panjang $L = 20 \text{ m}$ dan tebal $t = 0,74$), dan sub dam (tinggi mercu dari lantai terjun $h_2 = 2 \text{ m}$).

4. Maulana (2020) melakukan penelitian dengan judul “Dimensi Groundsill Pada Hilir Jembatan Tinjomoyo Semarang”. Tujuan penelitian ini adalah melakukan analisis curah hujan DAS Garang, analisis debit banjir rancangan periode ulang 2, 5, 10, 25, dan 50 tahun, analisis dimensi groundsill di hilir jembatan Tinjomoyo, dan analisis stabilitas groundsill terhadap bahaya guling, geser, rembesan (*piping*), dan faktor daya dukung tanah. Metode analisis yang digunakan untuk perhitungan curah hujan rencana adalah metode *Log Pearson Type III*. Analisis banjir rencana menggunakan metode HSS *Nakayasu*. Untuk perencanaan dimensi groundsill digunakan Pd T-12-2004-A sebagai pedoman. Hasil analisis debit banjir yang diperoleh dari kurva hidrograf *Nakayasu* periode ulang 2, 5, 10, 25, dan 50 tahun berturut-turut adalah $305,522 \text{ m}^3/\text{s}$, $390,742 \text{ m}^3/\text{s}$, $447,783 \text{ m}^3/\text{s}$, $520,560 \text{ m}^3/\text{s}$, dan $574,912 \text{ m}^3/\text{s}$. Setelah dilakukan analisis, groundsill direncanakan dengan dimensi peluap (tinggi luapan air $h_3 = 2,793 \text{ m}$, tinggi jagaan $F = 1,5 \text{ m}$, lebar pelimpah $B_1 = 75,443 \text{ m}$, dan lebar dasar muka pelimpah $B_2 = 78,235 \text{ m}$), main dam (tinggi main dam $2,5$ dan tebal main dam 3 m), kolam olak (panjang kolam olak $= 12,265 \text{ m}$ dan tebal kolam olak $0,888 \text{ m}$), sub dam (tinggi sub dam $0,8 \text{ m}$), dan pondasi (kedalaman pondasi $1,8 \text{ m}$).
5. Jarwoto dan Hakim (2021) melakukan penelitian berjudul “Analisa Desain Bangunan Pengendali Sedimen Jembatan Plapar, Slahung, Ponorogo”. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mendesain ulang Check Dam Plapar yang mengalami kerusakan pada bagian kolam olak yang diakibatkan gerusan pada dasar sungai. Check Dam Plapar sendiri merupakan bangunan pengaman utama struktur Jembatan Plapar. Metode yang digunakan untuk

analisis debit banjir rencana adalah metode Rasional dan metode *Nakayasu*. Dasar perencanaan konstruksi check dam menggunakan SNI 2851:2015. Dari hasil analisis yang dilakukan didapatkan debit banjir rencana kala ulang 100 tahun dengan metode Rasional sebesar 262,47 m³/detik. Sedangkan desain check dam yang direncanakan mempunyai dimensi lebar dasar pelimpah dan main dam sebesar 31 m, tinggi air diatas pelimpah sebesar 1,2 m, tebal mercu pelimpah 2 m, panjang kolam olak 35 m, tebal kolam olak 1,3 m, dan tinggi sub dam sebesar 1,2 m.

Perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut.



Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian

No.	Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Lokasi Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
1	Sugito (2015)	Perencanaan Check Dam Way Rarem Di Kabupaten Lampung Utara	<ul style="list-style-type: none"> - Mendapatkan besaran hidrologi banjir rancangan dan angkutan sedimen - Mendapatkan besaran hidrolika dan dimensi pokok bangunan check dam - Mendapatkan gambar desain berupa lay out dan detail penampang bangunan 	Kabupaten Lampung Utara	<ul style="list-style-type: none"> - Analisis curah hujan rancangan menggunakan metode distribusi <i>Gumbel</i> dan <i>Log Pearson III</i> - Analisis debit banjir rancangan menggunakan metode Rasional - Analisis erosi dan sedimentasi menggunakan metode <i>USLE</i> dan <i>SDR</i> - Perencanaan check Dam menggunakan beberapa referensi dari dokumen perencanaan terdahulu dan pedoman perencanaan bangunan pengendali sedimen 	<ul style="list-style-type: none"> - Besaran banjir rancangan metode rasional untuk kala ulang 2, 5, 10, 20, 50, dan 100 tahun berturut-turut adalah 109,74; 153,12; 178,15; 194,91; 225,83; dan 241,59 m³/detik - Sedimen yang terangkut secara berturut-turut adalah 4,794; 6,08; 6,79; 7,34; 8,41; dan 8,73 ribu m³ - Dimensi pokok bangunan yaitu peluap (lebar atas b1 = 42 m, lebar bawah b2 = 50 m, dan ri3 = 1,47 m), main dam (lebar mercu atas b1 = 2,5 m, lebar mercu bawah b2 = 6,5 m, kemiringan hulu 1 : 0,6 dan hilir 1 : 0,5), lantai olah (panjang lantai L = 10 m dan tebal t = 0,10 m), dan sub dam (lebar mercu atas bi = 2 m dan bagian bawah b2 = 6 m)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian

No.	Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Lokasi Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
2	Sumarno (2016)	Evaluasi Bangunan Pengendali Sedimen Pada Sungai Ciliung Dengan Dua Alternatif Debit Banjir	Mengurangi tingginya laju sedimentasi pada aliran Sungai Ciliung menuju Daerah Aliran Sungai (DAS) Citanduy dengan cara membangun check dam guna mengendalikan sedimentasi sungai	Sungai Ciliung	<ul style="list-style-type: none"> - Analisis curah hujan menggunakan metode <i>Gumbel</i> - Analisis debit banjir rencana menggunakan metode <i>Haspers</i> - Desain konstruksi check dam menggunakan peraturan Pd T-12-2004-A 	<ul style="list-style-type: none"> - Debit banjir kala ulang 10 dan 25 tahun sebesar 179,717 m³/detik dan 206,126 m³/detik - Dimensi check dam yang digunakan yaitu lebar pelimpah 22 m, tinggi MAB Q₁₀ : 2,78 m dan tinggi MAB : 3,05 m, lebar mercu pelimpah 2,2 m, tinggi mercu pelimpah 4,5 m, kemiringan hilir tubuh mercu 1 : 0,6 (vertikal : horizontal), kemiringan hulu tubuh mercu 1 : 0,3 (vertical : horizontal), tebal lantai kolam olak 1 m, jarak antara sub dam dan main dam 21 m, dan tinggi sub dam 1,2 m - Check dam dapat menampung sedimen sebanyak 141,750 m³

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian

No.	Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Lokasi Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
3	Rahardian (2017)	Perencanaan Groundsill Di Sungai Galeh Kabupaten Temanggung	Menganalisis stabilitas groundsill ditinjau dari faktor keamanan terhadap bahaya guling, daya dukung tanah, geser, dan bahaya rembesan (<i>piping</i>)	Sungai Galeh, Kabupaten Temanggung	<ul style="list-style-type: none"> - Perhitungan intensitas curah hujan menggunakan metode <i>Log Pearson III</i> - Analisis debit banjir rencana menggunakan metode FSR jawa-sumatra, HSS <i>Gama I</i>, metode Rasional, metode <i>Haspers</i>, dan HSS <i>Nakayasu</i> - Pedoman desain konstruksi groundsill menggunakan <i>RSNI 03 – 2851 1991</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Debit banjir periode ulang 50 tahun sebesar 84,7 m³/detik yang menggunakan metode <i>Nakayasu</i> - Dimensi groundsill yang digunakan yaitu lebar peluap (lebar bawah B1 = 37 m, lebar atas B2 = 39 m, dan tinggi muka air diatas peluap hw = 2 m), main dam(tinggi efektif main dam hm = 4 m, kedalaman pondasi hp = 2 m, kemiringan hulu 1 : 0,6), lantai lindung (panjang L = 20 m dan tebal t = 0,74), dan sub dam (tinggi mercu dari lantai terjun h2 = 2 m)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian

No.	Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Lokasi Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
4	Maulana (2020)	Dimensi Groundsill Pada Hilir Jembatan Tinjomoyo Semarang	<ul style="list-style-type: none"> - Analisis curah hujan DAS Garang - Analisis debit banjir rancangan periode ulang 2, 5, 10, 25, dan 50 tahun - Analisis dimensi groundsill - Analisis stabilitas groundsill terhadap bahaya guling, geser, rembesan (<i>piping</i>), dan faktor daya dukung tanah 	Jembatan Tinjomoyo, Semarang	<ul style="list-style-type: none"> - Metode perhitungan curah hujan rencana adalah metode <i>Log Pearson Type III</i> - Analisis banjir rencana menggunakan metode HSS <i>Nakayasu</i> - Pedoman perencanaan dimensi groundsill menggunakan Pd T-12-2004-A 	<ul style="list-style-type: none"> - Debit banjir periode ulang 2, 5, 10, 25, dan 50 tahun berturut-turut adalah 305,522 m³/s, 390,742 m³/s, 447,783 m³/s, 520,560 m³/s, dan 574,912 m³/s - Groundsill direncanakan dengan dimensi peluap (tinggi luapan air $h_3 = 2,793$ m, tinggi jagaan $F = 1,5$ m, lebar pelimpah $B_1 = 75,443$ m, dan lebar dasar muka pelimpah $B_2 = 78,235$ m), Main dam (tinggi main dam 2,5 dan tebal main dam 3 m), kolam olak (panjang kolam olak = 12,265 m dan tebal kolam olak 0,888 m), sub dam (tinggi sub dam 0,8 m), dan pondasi (kedalaman pondasi 1,8 m)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian

No.	Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Lokasi Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
5	Jarwoto dan Hakim (2021)	Analisa Desain Bangunan Pengendali Sedimen Jembatan Plapar, Slahung, Ponorogo	Mendesain ulang Check Dam Plapar yang mengalami kerusakan pada bagian kolam olak yang diakibatkan gerusan pada dasar sungai	Jembatan Plapar, Slahung, Ponorogo	<ul style="list-style-type: none"> - Metode yang digunakan untuk analisis debit banjir rencana adalah metode Rasional dan metode <i>Nakayasu</i> - Dasar perencanaan konstruksi check dam menggunakan SNI 2851:2015 	<ul style="list-style-type: none"> - Debit banjir rencana kala ulang 100 tahun dengan metode Rasional sebesar 262,47 m³/detik - Desain check dam yang direncanakan mempunyai dimensi lebar dasar pelimpah dan main dam sebesar 31 m, tinggi air diatas pelimpah sebesar 1,2 m, tebal mercu pelimpah 2 m, panjang kolam olak 35 m, tebal kolam olak 1,3 m, dan tinggi sub dam sebesar 1,2 m - Kestabilan check dam terhadap guling dan geser dimana FK guling $11,5 > 2$ berarti OK, serta untuk FK geser sebesar $3 > 1,5$ berarti masuk dan OK

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian

No.	Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Lokasi Penelitian	Metode Penelitian
6	Muhammad Raihan Wardhana	Analisis Kebutuhan Dimensi Groundsill Jembatan Kebon Agung II Sungai Progo	<ul style="list-style-type: none"> - Menganalisis debit banjir rancangan periode ulang 2, 5, 10, 20, 50, dan 100 tahun - Menganalisis dimensi groundsill - Menganalisis stabilitas groundsill terhadap bahaya guling, geser, dan rembesan (<i>piping</i>) 	Jembatan Kebon Agung II, Kulon Progo	<ul style="list-style-type: none"> - Analisis debit banjir rencana menggunakan metode HSS <i>Nakayasu</i> dan HSS SCS - Analisis dimensi groundsill dan stabilitas menggunakan pedoman Pd T-12-2004-A dan KP-06 - Analisis profil muka air dan kecepatan aliran menggunakan program HEC-RAS

2.2 Keaslian Penelitian

Berdasarkan sumber pada sejumlah penelitian yang telah ditinjau sebelumnya, penelitian yang akan dilakukan oleh penulis merupakan hasil karya asli dan bukan merupakan plagiasi. Adapun perbedaan penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Lokasi penelitian berada di Jembatan Kebon Agung II, Kulon Progo.
2. DAS yang ditinjau adalah DAS Progo, daerah hulu hingga hilir Jembatan Kebon Agung II.
3. Data curah hujan menggunakan 4 stasiun hujan yaitu Stasiun Caturanom, stasiun Badran, stasiun Kalibawang dan stasiun Seyegan dengan panjang data 15 tahun (2004 - 2018).
4. Perhitungan debit banjir rencana menggunakan metode HSS *Nakayasu* dan HSS SCS.
5. Pedoman perencanaan dimensi groundsill dan analisis stabilitas menggunakan Pd T-12-2004-A dan KP-06.
6. Pustaka yang dijadikan sebagai referensi utama pada tugas akhir ini adalah penelitian yang dilakukan oleh Maulana (2020).
7. Penelitian ini memiliki beberapa persamaan dengan pustaka yang telah ditinjau yaitu, jenis data hidrologi (data hujan), analisis frekuensi, uji kecocokan data (uji *Chi-Kuadrat*), analisis debit banjir rencana (metode HSS *Nakayasu*), dan pedoman untuk analisis dimensi dan stabilitas groundsill (Pd T-12-2004-A dan KP-06).
8. Penelitian ini memiliki beberapa perbedaan dengan pustaka yang telah ditinjau yaitu, lokasi penelitian (Jembatan Kebon Agung II), DAS (DAS Progo), jumlah stasiun hujan (4 stasiun), panjang data hujan (15 tahun), analisis debit banjir rencana (metode HSS SCS), dan analisis profil muka air dan kecepatan aliran menggunakan program HEC-RAS.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Hujan

Suripin (2004) menyatakan Hujan merupakan kumpulan uap air yang jatuh ke bumi dalam bentuk butir-butir air yang sebelumnya telah mengalami peristiwa kondensasi akibat adanya evaporasi dan transpirasi. Sebagian hujan yang jatuh akan terserap ke dalam tanah, sementara bagian lain yang tidak terserap mengalir pada sungai. Hal ini disebut aliran atau limpasan permukaan.

Intensitas hujan merupakan curah hujan yang turun diukur dalam satuan waktu jam-jaman, harian, mingguan, bulanan dan tahunan dimana dinyatakan dengan satuan mm/jam, mm/hari, mm/minggu, mm/bulan, dan mm/tahun. Pengukuran curah hujan dilakukan oleh stasiun hujan menggunakan alat penakar hujan manual maupun penakar hujan otomatis.

Data curah hujan merupakan faktor yang sangat penting dalam analisis hidrologi karena memerlukan data dalam jangka waktu yang panjang, misalnya adalah kurun waktu 10 tahun. Data hujan yang digunakan dalam analisis hidrologi berasal dari stasiun hujan yang berada di daerah objek penelitian.

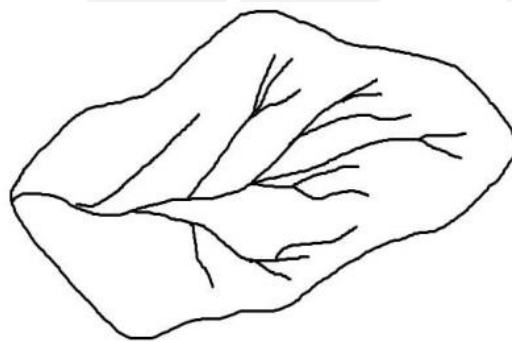
3.2 Daerah Aliran Sungai

Triatmodjo (2008) menyatakan Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah daerah yang dibatasi oleh punggung-punggung gunung/pegunungan dimana air hujan yang jatuh di daerah tersebut akan mengalir menuju sungai utama pada suatu titik/stasiun yang ditinjau. Luas Daerah Aliran Sungai (DAS) dapat diperkirakan dengan mengukur daerah itu pada peta topografi. Luas DAS sangat berpengaruh terhadap debit sungai. Pada umumnya semakin besar DAS semakin besar jumlah limpasan permukaan sehingga semakin besar pula aliran permukaan atau debit sungai.

Asdak (1995) menyatakan bahwa Daerah Aliran Sungai (DAS) biasanya dibagi menjadi daerah hulu, tengah, dan hilir. Daerah hulu merupakan daerah konservasi, mempunyai kerapatan drainase lebih tinggi, merupakan daerah dengan

kemiringan lereng besar, dan bukan merupakan daerah banjir. Daerah hilir dicirikan oleh hal-hal, seperti merupakan daerah pemanfaatan, kerapatan drainase lebih kecil, merupakan daerah dengan kemiringan lereng kecil sampai sangat kecil, dan beberapa merupakan daerah banjir. Daerah bagian tengah merupakan transisi dari dari kedua karakteristik DAS yang berbeda tersebut.

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan salah satu faktor yang penting dalam analisis hidrologi, karena luasan DAS digunakan sebagai parameter dalam perhitungan hujan wilayah dan perhitungan debit banjir rencana. Luas DAS dapat diketahui melalui software maupun melalui badan resmi milik pemerintah. Bentuk DAS dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. 1 Daerah Aliran Sungai
(Sumber : Maulana, 2020)

3.3 Gerusan

Gerusan merupakan suatu proses alamiah yang terjadi di sungai sebagai akibat pengaruh morfologi sungai (dapat berupa tikungan atau bagian penyempitan aliran sungai) atau adanya bangunan air (*hydraulic structure*) seperti: jembatan, bendung, pintu air, dan lain-lain (Suma, 2018). Sedangkan Neill (1973) dalam Pangestu (2018) mengatakan pengertian gerusan (*scour*) adalah penurunan dasar sungai karena erosi di bawah elevasi permukaan alami atau datum yang diasumsikan. Suma (2018) mengatakan gerusan yang terjadi dapat digolongkan menjadi 3 yaitu:

1. Gerusan Umum (*General Scour*)

Gerusan Umum adalah bertambah dalamnya dasar saluran sungai akibat interaksi yang terjadi antara aliran yang terjadi pada sungai dengan material dasar sungai. Hal ini menyebabkan terjadinya angkutan sedimen pada sungai.

2. Gerusan Lokal (*Local Scour*)

Gerusan lokal adalah penggerusan pada dasar atau tebing sungai yang terjadi setempat di sekitar bangunan akibat peningkatan energi dan turbulensi aliran karena gangguan bangunan atau gangguan alami.

3. Gerusan akibat adanya penyempitan di alur sungai (*Constriction scour*)

Gerusan ini terjadi akibat perubahan bentuk morfologi sungai yang semakin menyempit yang sebagian besar diakibatkan adanya bangunan air.

3.4 Groundsill

Groundsill adalah bangunan melintang sungai yang berfungsi untuk mengurangi kecepatan aliran sungai pada bagian hulu struktur. Selain itu, groundsill juga dapat meningkatkan laju pengendapan sedimen di bagian hulu struktur dikarenakan struktur groundsill dapat menjadi penghalang pergerakan sedimen yang menuju kebagian hilir sehingga sedimen yang terhalang dapat mengendap di bagian hulu struktur groundsill tersebut.

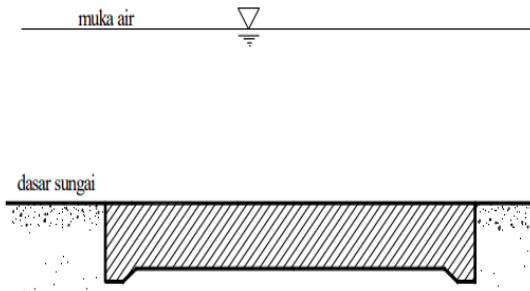
Pada umumnya, groundsill dibuat di bagian hilir suatu bangunan sungai yang rusak atau terancam rusak disebabkan oleh gerusan seperti pada struktur pondasi bangunan jembatan, tebing sungai runtuh dan longsor akibat erosi di alur sungai dan kombinasi peristiwa erosi dasar sungai dan tebing sungai. Keberadaan groundsill diharapkan dapat mengurangi masalah gerusan yang terjadi di dasar sungai sehingga dapat melindungi bangunan-bangunan yang ada pada aliran sungai (Ragilia dan Susarman, 2021).

Menurut Sasrodarsono (1985) dalam Pangestu (2018) groundsill secara umum dibagi menjadi dua tipe, antara lain sebagai berikut ini:

1. Groundsill tipe ambang datar (*bed gindle work*)

Bangunan groundsill tipe ini hampir tidak mempunyai terjunan dan elevasi mercu groundsill hampir sama dengan permukaan dasar sungai. Groundsill tipe ini berfungsi untuk menjaga agar permukaan dasar sungai tidak turun

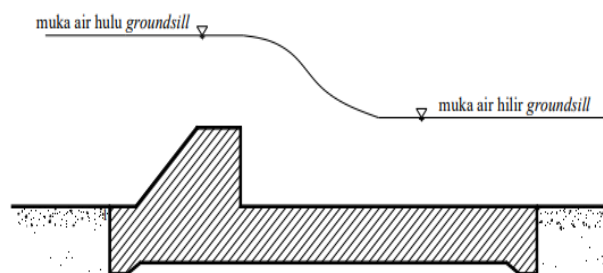
lagi. Bentuk groundsill tipe ambang datar dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3. 2 Groundsill Tipe Ambang Datar
(Sumber : Sarsin, 2012)

2. Groundsill tipe ambang pelimpah (*head work*)

Bangunan groundsill tipe ini mempunyai terjunan, sehingga elevasi permukaan dasar sungai dibagian hulu groundsill lebih tinggi dari elevasi permukaan dasar sungai dibagian hilirnya. Tujuan dari tipe groundsill ini adalah untuk lebih melandaikan kemiringan dasar sungai. Bentuk groundsill tipe ambang pelimpah dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3. 3 Groundsill Tipe Ambang Pelimpah
(Sumber : Sarsin, 2012)

3.5 Analisis Hidrologi

Perencanaan bangunan groundsill dan bangunan-bangunan air lainnya umumnya dilakukan analisis hidrologi. Data-data yang diperlukan untuk analisis hidrologi salah satu diantaranya adalah data curah hujan yang diperoleh dari stasiun hujan yang berada di wilayah DAS. Analisis hidrologi akan menghasilkan hujan

periode ulang dan debit banjir rancangan untuk mendesain dimensi bangunan ground sill.

3.5.1 Hujan Kawasan

Hujan kawasan merupakan curah hujan yang turun disekitar wilayah atau kawasan tertentu. Dalam perencanaan bangunan air tidak hanya memerlukan data curah hujan pada satu titik saja, namun data yang diperlukan merupakan data rata-rata curah hujan dari beberapa stasiun hujan yang ada di dekat lokasi penelitian. Perhitungan curah hujan kawasan dapat dilakukan dengan berbagai metode, diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Metode rerata aritmatik (aljabar)

Metode rerata aritmatik digunakan untuk wilayah yang memiliki jumlah stasiun hujan yang terbatas. Selain itu metode ini digunakan apabila Luas DAS yang ditinjau merupakan DAS kecil ($< 500 \text{ km}^2$). Metode ini merupakan metode yang paling sederhana karena hanya menjumlahkan curah hujan dan membagi dengan jumlah stasiun hujan yang ada.

$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n} \quad (3.1)$$

Keterangan:

$\bar{P}$ = Curah hujan rata-rata kawasan

P_1 = Curah hujan yang tercatat pada stasiun hujan

N = Jumlah stasiun hujan

2. Metode *Polygon Thiessen*

Metode *Polygon Thiessen* digunakan apabila sebaran pos-pos atau stasiun hujan pada daerah yang ditinjau tidak merata dan memiliki jumlah stasiun hujan yang cukup. Metode ini memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan di sekitarnya. Langkah perhitungannya adalah sebagai berikut.

- a. Tentukan pos-pos hujan yang ingin ditinjau;
- b. Tentukan hujan maksimum dari masing-masing pos hujan;

- c. Masukkan koordinat pos-pos hujan pada peta beserta letaknya dengan sesuai;
- d. Buatlah garis tegak lurus di tengah tiap-tiap garis hingga membentuk *Polygon Thiessen*;
- e. Hitung luas area yang mewakili tiap pos hujan;
- f. Hitung hujan rata-rata kawasan menggunakan rumus:

$$\bar{P} = \frac{A_1X_1 + A_2X_2 + A_3X_3 + \cdots + A_nX_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \cdots + A_n} \quad (3.2)$$

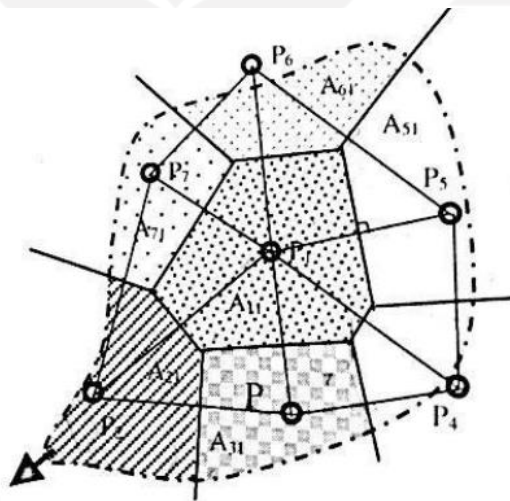
Keterangan:

$\bar{P}$ = Curah hujan rata-rata kawasan

X_1 = Curah hujan yang tercatat pada stasiun hujan

A_1 = Luas daerah yang mewakili pos hujan

Bentuk Polygon Thiessen dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut ini.



Gambar 3. 4 Polygon Thiessen
(Sumber : Suripin, 2004)

3. Metode Isohyet

Metode ini dianggap sebagai metode paling akurat karena memperhitungkan pengaruh tiap stasiun hujan dalam menentukan curah hujan rata-rata. Isohyet berarti titik-titik kedalaman hujan yang dihubungkan dengan garis. Rumus perhitungan metode isohyet adalah sebagai berikut.

$$\bar{P} = \frac{\sum \left[A \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) \right]}{\sum A} \quad (3.3)$$

Keterangan :

$\bar{P}$ = Curah hujan rata-rata kawasan

P_1 = Curah hujan yang tercatat pada stasiun hujan

A = Luas area

3.5.2 Analisis Frekuensi dan Probabilitas

Hasil perhitungan hujan kawasan kemudian dianalisis secara statistik guna mengetahui pola distribusi sebaran datanya. Hal ini dikarenakan data hujan yang diperoleh diasumsikan bersifat stokastik dan terdistribusi secara acak. Analisis frekuensi didasarkan pada data hujan yang telah terjadi dengan tujuan untuk memperoleh kemungkinan terjadinya hujan pada waktu yang akan datang.

Terdapat beberapa parameter yang diperlukan dalam analisis statistik untuk mencari pola distribusi yang akan digunakan. Parameter-parameter yang dicari adalah, sebagai berikut.

1. Rata-rata

Nilai rata-rata merupakan suatu nilai yang mewakili dari keseluruhan nilai pada sejumlah data yang ada. Nilai rata-rata dapat dihitung dengan rumus berikut (Suripin, 2004).

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (3.4)$$

Keterangan :

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

n = Jumlah data

2. Standar Deviasi

Standar deviasi digunakan untuk mengetahui penyebaran nilai sampel terhadap rata-rata. Apabila nilai standar deviasi semakin besar, maka semakin

besar pula penyebaran distribusinya. Nilai standar deviasi dirumuskan sebagai berikut (Suripin, 2004).

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (3.5)$$

Keterangan:

S = Standar deviasi

X_i = Nilai varian data

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

n = Jumlah data

3. Koefisien Kemencengan

Koefisien kemencengan adalah nilai yang menunjukkan penyimpangan atau ketidaksimetrisan data dalam suatu distribusi, dimana dirumuskan sebagai berikut (Suripin, 2004).

$$CS = \frac{n}{(n - 1)(n - 2)S^3} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3 \quad (3.6)$$

Keterangan:

CS = Koefisien kemencengan

X_i = Nilai varian data

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

n = Jumlah data

S = Standar deviasi

4. Koefisien Kurtosis

Kurtosis adalah puncak dari distribusi. Perhitungan koefisien kurtosis bertujuan untuk mengukur ketinggian puncak dari kurva distribusi yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal. Suripin (2004) menyatakan bahwa koefisien kurtosis dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$CK = \frac{n}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 \quad (3.7)$$

Keterangan:

CK = Keofisien kurtosis

X_i = Nilai varian data

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

n = Jumlah data

S = Standar deviasi

5. Koefisien Variasi

Koefisien variasi adalah nilai perbandingan antara nilai standar deviasi dengan nilai rata-rata, yang dirumuskan sebagai berikut (Suripin, 2004).

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \quad (3.8)$$

Keterangan :

CV = Koefisien variasi

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

S = Standar deviasi

Pada bidang hidrologi, terdapat empat jenis distribusi yang dikenal dan sering digunakan dalam perhitungan, diantaranya adalah distribusi normal, distribusi *Log Normal*, distribusi *Log-pearson III* dan distribusi *Gumbel*.

3.5.2.1 Distribusi Normal

Perhitungan periode ulang hujan menggunakan distribusi normal, dipengaruhi oleh faktor frekuensi yang merupakan nilai dari variabel reduksi *Gauss*. Menurut Suripin (2004) distribusi normal dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$X_T = \bar{X} + K_T \cdot S \quad (3.9)$$

Keterangan :

X_T = Perkiraan nilai dengan periode ulang-T

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

S = Standar deviasi

K_T = Faktor frekuensi

Nilai faktor frekuensi dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3. 1 Faktor Frekuensi Distribusi Normal

Periode Ulang	Peluang	K_T
1,001	0,999	-3,05
1,005	0,995	-2,58
1,01	0,99	-2,33
1,05	0,95	-1,64
1,11	0,9	-1,28
1,25	0,8	-0,84
1,33	0,75	-0,67
1,43	0,7	-0,52
1,67	0,6	-0,25
2	0,5	0
2,5	0,4	0,25
3,33	0,3	0,52
4	0,25	0,67
5	0,2	0,84
10	0,1	1,28
20	0,05	1,64
50	0,02	2,05
100	0,01	2,33
200	0,005	2,58
500	0,002	2,88
1000	0,001	3,09

(Sumber : Suripin, 2004)

3.5.2.2 Distribusi *Log Normal*

Distribusi *log normal* dituliskan dalam bentuk logaritma, dimana metode ini mirip dengan distribusi normal. Apabila $Y = \text{Log } X$, maka persamaan untuk menghitung distribusi *log normal* adalah sebagai berikut.

$$Y_T = \bar{Y} + K_T \quad (3.10)$$

Keterangan :

- Y_T = Perkiraan nilai dengan periode ulang-T
- $\bar{Y}$ = Nilai rata-rata
- S = Standar deviasi
- K_T = Faktor frekuensi, yang dapat dilihat pada Tabel 3.1

3.5.2.3 Distribusi *Log-Pearson III*

Perhitungan distribusi *Log-Pearson III* juga menggunakan nilai logaritma, namun metode ini dipengaruhi oleh nilai k, yang besarnya tergantung oleh koefisien kemencengan G. Menurut Suripin (2004) langkah perhitungan distribusi *Log-Pearson III* adalah sebagai berikut.

1. Ubah data ke dalam bentuk logaritma, $X = \text{Log } X$
2. Hitung rata-rata
3. Hitung standar deviasi
4. Hitung koefisien kemencengan
5. Hitung logaritma hujan atau banjir periode ulang T dengan rumus:

$$\text{Log } X_T = \text{Log } \bar{X} + K.S \quad (3.11)$$

6. Hitung curah hujan rencana periode ulang T dengan rumus:

$$X_T = \text{antilog } X_T \quad (3.12)$$

Nilai K untuk distribusi *Log-Pearson III* dapat dilihat pada Tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3. 2 Nilai K Distribusi Log-Pearson III

Koefisien Kemencengan (Cs)	Periode Ulang (tahun)					
	2	5	10	25	50	100
	Probabilitas (%)					
	50	20	10	4	2	1
3,0	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051
2,8	-0,384	0,460	1,210	2,275	3,114	3,973
2,6	-0,368	0,499	1,238	2,267	3,071	2,889
2,4	-0,351	0,537	1,262	2,256	3,023	3,800
2,2	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705
2,0	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605
1,8	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,193	3,499
1,6	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,163	3,388
1,4	-0,225	0,705	1,337	2,218	2,218	3,271
1,2	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,087	3,149
1,0	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,430	3,022
0,8	-0,132	0,780	1,336	1,993	1,993	2,891
0,6	-0,099	0,800	1,328	1,939	1,939	2,755
0,4	-0,066	0,816	1,317	1,880	1,880	2,615
0,2	-0,033	0,830	1,301	1,818	1,818	2,472
0,0	0	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326
-0,2	0,033	0,850	1,253	1,680	1,945	2,178
-0,4	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029
-0,6	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880
-0,8	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733
-1,0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588
-1,2	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449
-1,4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318
-1,6	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,197
-1,8	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087
-2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990
-2,2	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905
-2,4	0,351	0,725	0,795	0,823	0,830	0,832
-2,6	0,368	0,696	0,747	0,764	0,768	0,769
-2,8	0,384	0,666	0,702	0,712	0,714	0,714
-3,0	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667

(Sumber : Suripin, 2004)

3.5.2.4 Distribusi Gumbel

Metode distribusi *Gumbel* dipengaruhi oleh beberapa variabel antara lain, *variable reduced*, *reduced mean*, dan *reduced standard deviasi*. Menurut Suripin (2004) perhitungan metode ini mempunyai rumusan sebagai berikut :

$$X_T = \bar{X} + S.K \quad (3.13)$$

Keterangan:

X_T = Perkiraan nilai dengan periode ulang-T

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

S = Standar deviasi

K = Faktor frekuensi

Faktor frekuensi K pada metode distribusi *Gumbel*, menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$K = \frac{Y_{Tr} - Y_n}{S_n} \quad (3.14)$$

Keterangan:

Y_n = *Reduced mean*, tergantung jumlah sampel/data n

S_n = *Reduced standard deviation*, tergantung jumlah sampel/data n

Y_{tr} = *Reduced variate*, dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Y_{Tr} = -\ln \left(-\ln \frac{T_r - 1}{T_r} \right) \quad (3.15)$$

Nilai *Reduced Mean* (Y_n) dapat dilihat pada Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3. 3 Nilai *Reduced Mean* (Y_n)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4592	0,4496	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5403	0,5410	0,5418	0,5424	0,5436
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518

Lanjutan Tabel 3.3 Nilai *Reduced Mean* (Yn)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5586	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600	0,5602	0,5603	0,5604	0,5606	0,5607	0,5608	0,5609	0,5610	0,5611

(Sumber : Suripin, 2004)

Nilai *Reduced Standard Deviation* (Sn) dapat dilihat pada Tabel 3.4 sebagai berikut.

Tabel 3. 4 Nilai *Reduced Standard Deviation* (Sn)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0995	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1104	1,1047	1,1080
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1126	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1900	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065	1,2069	1,2073	1,2077	1,2081	1,2084	1,2087	1,2090	1,2093	1,2096

(Sumber : Suripin, 2004)

Nilai *Reduced variate* dapat dilihat pada Tabel 3.5 sebagai berikut.

Tabel 3. 5 Nilai *Reduced Variate*

Periode Ulang	Reduced Variate, Ytr
2	0,3668
5	15,004
10	22,510
20	29,709
25	31,993

Lanjutan Tabel 3.5 Nilai *Reduced Variate*

Periode Ulang	Reduced Variate, Y_{tr}
50	39,028
100	46,012
200	52,969
250	55,206
500	62,149
1000	69,087
5000	85,188
10000	92,121

(Sumber : Suripin, 2004)

. Tabel 3.6 berikut adalah persyaratan dalam pemilihan jenis distribusi.

Tabel 3. 6 Persyaratan Jenis Distribusi

Distribusi	Persyaratan
Normal	$C_S \approx 0$ $C_K \approx 3$
Log Normal	$C_S = C_V^3 + 3C_V$ $C_K = C_V^8 + 6C_V^6 + 15C_V^4 + 16C_V^2 + 3$
Gumbel	$C_S = 1,14$ $C_K = 5,4$
Log Pearson III	Selain dari nilai diatas

(Sumber : Triatmodjo, 2008)

3.5.3 Uji Chi-Kuadrat

Uji kecocokan data dimaksudkan untuk memastikan peluang distribusi yang dipilih telah mewakili distribusi sampel data yang telah dihitung. Pada penelitian ini metode yang akan digunakan adalah metode *Chi-Kuadrat*.

Uji *Chi-Kuadrat* adalah pengujian yang dilakukan dengan tujuan menentukan apakah persamaan distribusi yang telah dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis (Suripin, 2004). Parameter *Chi-Kuadrat* dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$X_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (3.16)$$

Keterangan:

- X_h^2 = Parameter *Chi-Kuadrat* terhitung,
 G = Jumlah sub kelompok
 O_i = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok i
 E_i = Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok i

Nilai X_h^2 yang diperoleh harus lebih kecil dari nilai X_{cr}^2 (*Chi-Kuadrat* kritik), untuk suatu derajat nyata tertentu, yang sering diambil 5%. Derajat kebebasan dihitung dengan persamaan :

$$DK = K - (\alpha + 1) \quad (3.17)$$

Keterangan:

- DK = Derajat kebebasan
 K = Banyaknya kelas
 α = Banyaknya keterikatan, untuk *Chi-Kuadrat* adalah 2

Nilai kritis untuk distribusi *Chi-Kuadrat* dapat dilihat pada Tabel 3.7 berikut.

Tabel 3. 7 Nilai Kritis Chi-Kuadrat

dk	derajat kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,0000393	0,000157	0,000982	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,070	12,832	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548

Lanjutan Tabel 3.7 Nilai Kritis Chi-Kuadrat

dk	derajat kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
7	0,989	1,239	1,690	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	2,733	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,940	18,307	20,483	23,209	25,188

(Sumber : Suripin, 2004)

3.5.4 Analisis Distribusi Hujan

Analisis distribusi hujan dilakukan untuk mengetahui persentase hujan tiap jam berdasarkan durasi hujan yang telah ditentukan. Berikut ini adalah tahapan-tahapan perhitungan analisis distribusi hujan.

1. Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran (C) adalah perbandingan antara tinggi hujan dan tinggi aliran untuk jangka waktu yang cukup panjang. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya aliran sungai adalah keadaan hujan, luas dan bentuk DAS, kemiringan DAS, kemiringan sungai, daya infiltrasi dan perkolasi tanah, kelembaban tanah, klimatologi dan lain-lain (Sriyono, 2016). Menurut Dr. Mononobe, koefisien pengaliran sungai-sungai di Jepang mempunyai harga C seperti pada Tabel 3.8 sebagai berikut.

Tabel 3. 8 Koefisien Pengaliran

No	Kondisi daerah pengaliran sungai	Harga C
1	Daerah pegunungan yang curam	0,75-0,90
2	Daerah pegunungan tersier	0,70-0,80
3	Tanah bergelombang dan hutan	0,50-0,75
4	Tanah dataran yang ditanami	0,45-0,60
5	Pesawahan yang dialiri	0,70-0,80
6	Sungai di daerah pegunungan	0,75-0,85
7	Sungai kecil di dataran	0,45-0,75

Lanjutan Tabel 3.8 Koefisien Pengaliran

No	Kondisi daerah pengaliran sungai	Harga C
8	Sungai besar yang lebih dari setengah daerah pengalirannya terdiri dari daratan	0,50-0,75

(Sumber : Sosrodarsono dan Takeda, 1981)

2. Hujan Rencana Efektif

Hujan rencana efektif adalah hujan netto atau bagian hujan total yang menghasilkan limpasan langsung (*direct run-off*). Hujan efektif dapat dinyatakan sebagai berikut (Sriyono, 2016).

$$Rn = C \times X_T \quad (3.18)$$

Keterangan:

 Rn = Hujan rencana efektif C = Koefisien limpasan X_T = Hujan kala ulang

3. Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah tingkat ketinggian hujan tiap satuan waktu (Suripin, 2004). Besar intensitas hujan tergantung pada lamanya curah hujan dan frekuensi kejadiannya. Apabila tersedia data hujan harian, maka intensitas hujan dapat dihitung menggunakan persamaan *Manonobe* sebagai berikut.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (3.19)$$

Keterangan :

 I = Intensitas hujan (mm/jam) t = Lama hujan (jam) R_{24} = Curah hujan maksimum (mm)

4. Distribusi Hujan Jam-Jam an

Persamaan untuk mencari besarnya distribusi hujan-jaman dirumuskan sebagai berikut (Triatmodjo, 2008).

Kedalaman hujan (P)

$$P = I \cdot t \quad (3.20)$$

Keterangan:

P = Kedalaman hujan (mm)

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Lama hujan (jam)

Pertambahan Hujan (Δp)

$$\Delta p = P_t - P_{t-1} \quad (3.21)$$

Keterangan :

Δp = Pertambahan hujan (mm)

P_t = Kedalaman hujan pada jam tertentu (mm)

Distribusi Hujan Rencana Efektif (D)

$$D = \Delta p / \Sigma \Delta p \quad (3.22)$$

Keterangan :

D = Distribusi hujan rencana efektif

Δp = Kedalaman hujan (mm)

$\Sigma \Delta p$ = Jumlah total kedalaman hujan (mm)

Kedalaman Hujan Rencana Efektif

$$Re = D \cdot Rn \quad (3.23)$$

Keterangan:

Re = Kedalaman hujan rencana efektif (mm)

D = Distribusi hujan rencana efektif

Rn = Hujan rencana efektif (mm)

3.5.5 Aliran Dasar (*Baseflow*)

Aliran dasar atau *baseflow* adalah aliran yang masuk ke dalam sungai melalui permukaan bawah tanah. Baseflow sendiri merupakan salah satu komponen

penyusun dalam pembuatan hidrograf. Persamaan untuk mencari baseflow menggunakan metode *GAMA I* dirumuskan sebagai berikut (Triatmodjo, 2008).

$$Q_b = 0,4751 \cdot A^{0,6444} \cdot D^{0,943} \quad (3.24)$$

Keterangan:

Q_b = Aliran dasar (m^3/s)

A = Luas DAS (km^2)

D = Kerapatan jaringan kuras (km/km^2)

Kerapatan jaringan kuras dicari dengan persamaan berikut (Triatmodjo, 2008).

$$D = \frac{L}{A} \quad (3.25)$$

Keterangan:

D = Kerapatan jaringan kuras (km/km^2)

L = Panjang sungai (km)

A = Luas DAS (km^2)

3.5.6 Debit Banjir Rencana

Ada beberapa metode untuk menentukan debit banjir rencana. Pada penelitian ini digunakan metode HSS *Nakayasu* dan HSS *SCS* untuk analisis debit banjir rencana.

3.5.6.1 Analisis HSS Nakayasu

Metode HSS *Nakayasu* merupakan metode hidrograf yang dikembangkan berdasarkan sungai di Jepang dan cukup populer digunakan untuk perancangan bangunan air di Indonesia.

Adapun langkah-langkah dalam perhitungan HSS *Nakayasu*, dijabarkan sebagai berikut.

1. Menentukan waktu konsentrasi (T_g)

Untuk sungai dengan panjang, $L < 15$ km menggunakan rumus:

$$Tg = 0,21. L^{0,7} \quad (3.26)$$

Untuk sungai dengan panjang, $L > 15$ km menggunakan rumus:

$$Tg = 0,4 + 0,058. L \quad (3.27)$$

2. Menentukan satuan waktu hujan (Tr)

$$Tr = 0,5 s/d 1. Tg \quad (3.28)$$

3. Menentukan tenggang waktu (Tp)

$$Tp = Tg + 0,8. Tr \quad (3.29)$$

4. Menentukan waktu penurunan debit dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak ($T_{0,3}$)

$$T_{0,3} = \alpha. Tg \quad (3.30)$$

Keterangan:

Tg = Waktu konsentrasi (jam)

α = Koefisien karakteristik DAS biasanya diambil 2

5. Menentukan debit puncak banjir (Qp)

$$Qp = \frac{C. A. Ro}{3,6. (0,3Tp) + T_{0,3}} \quad (3.31)$$

Keterangan:

Qp = Debit puncak banjir (m^3/s)

C = Koefisien pengaliran limpasan

A = Luas DAS (km^2)

Ro = hujan satuan (1 mm)

6. Menghitung hidrograf *Nakayasu*, pada saat kurva naik $0 \leq t \leq Tp$

$$Qt = Qp \left(\frac{t}{Tp} \right)^{2,4} \quad (3.32)$$

7. Menghitung hidrograf *Nakayasu*, pada saat kurva turun

Untuk $Tp < t \leq (Tp + T_{0,3})$, menggunakan rumus:

$$Qt = Qp \cdot 0,3^{\frac{(t-Tp)}{T_{0,3}}} \quad (3.33)$$

Untuk $(Tp + T_{0,3}) < t \leq (Tp + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$, menggunakan rumus:

$$Qt = Qp \cdot 0,3^{\frac{(t-Tp)(0,5T_{0,3})}{1,5T_{0,3}}} \quad (3.34)$$

Untuk $t > (Tp + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$, menggunakan rumus:

$$Qt = Qp \cdot 0,3^{\frac{(t-Tp)(0,5T_{0,3})}{2T_{0,3}}} \quad (3.35)$$

3.5.6.2 Analisis HSS SCS

Menurut Triatmodjo (2008) metode HSS SCS adalah metode perhitungan debit banjir rencana yang menggunakan hidrograf tak berdimensi yang dikembangkan dari analisis sejumlah besar hidrograf dari data lapangan dengan berbagai ukuran DAS dan lokasi yang berbeda. Rumus untuk mencari debit puncak adalah sebagai berikut (Triatmodjo, 2008).

$$Qp = \frac{0,208 \cdot A}{p_r} \quad (3.36)$$

$$p_r = \frac{t_r}{2} + t_p \quad (3.37)$$

$$t_p = C_t(L \cdot L_c)^{0.3} \quad (3.38)$$

Keterangan :

A = Luas DAS (km^2)

p_r = Waktu puncak (jam)

t_r = Durasi hujan efektif (jam)

t_p = Waktu dari titik berat ke puncak hidrograf (jam)

C_t = Koefisien kemiringan DAS (1,4 – 1,7)

L = Panjang sungai utama (km)

L_c = Jarak titik kontrol ke titik berat (km)

Tabel 3.9 berikut ini adalah ordinat hidrograf metode HSS SCS (Triatmodjo, 2008).

Tabel 3. 9 Ordinatat HSS SCS

t/pr	Q/Q _p
0	0
0,1	0,015
0,2	0,075
0,3	0,16
0,4	0,28
0,5	0,43
0,6	0,60
0,7	0,77
0,8	0,89
0,9	0,97
1,0	1,0
1,1	0,98
1,2	0,92
1,3	0,84
1,4	0,75
1,5	0,66
1,6	0,56
1,7	0,42
1,8	0,32
2,0	0,32
2,2	0,24
2,4	0,18
2,6	0,13
2,8	0,098
3,0	0,075
3,5	0,036
4,0	0,018
4,5	0,009
5,0	0,004

(Sumber : Triatmodjo, 2008)

3.6 Analisis Dimensi Groundsill

Bagian-bagian dari bangunan groundsill yang akan dianalisis adalah sebagai berikut.

1. Dimensi Peluap

Persamaan perhitungan dimensi peluap berdasarkan Pd T-12-2004-A dijabarkan sebagai berikut.

$$Q_d = \frac{2}{15} \cdot C \cdot \sqrt{2g} \cdot (3B_1 + 2B_2) \cdot h_3^{\frac{3}{2}} \quad (3.39)$$

$$Q_d = Q \cdot (1 + \alpha) \quad (3.40)$$

Keterangan:

Q_d = Debit desain (m^3/s)

Q = Debit kala ulang (m^3/s)

α = Konsentrasi sedimen

B_1 = Lebar peluap bagian bawah (m)

B_2 = Lebar muka air di atas peluap (m)

h_3 = Tinggi air di atas peluap bendung utama (m)

Debit desain didapat dari cara coba-coba dengan memasukkan nilai asumsi h_3 .

2. Lebar Mercu Peluap

Penentuan lebar mercu peluap berdasarkan Pd T-12-2004-A dapat dilihat pada Tabel 3.10 berikut.

Tabel 3. 10 Penentuan Lebar Mercu Peluap

Lebar mercu : b	1,50-2,00 meter	3,00-4,00 meter
Sedimen	Pasir dan kerikil atau kerikil dan batu-batu kecil	Batu-batu besar
Sifat hidraulik aliran	Gerakan mandiri (lepas)	Gerakan massa (debris flow)

(Sumber : Pd T-12-2004-A)

Lebar mercu peluap ditentukan dengan memperhatikan kondisi material dan hidrologis lokasi setempat.

3. Kemiringan Bendung Bagian Hulu

Persamaan perhitungan kemiringan bendung bagian hulu berdasarkan Pd T-12- 2004-A dijabarkan sebagai berikut.

$$(1 + \alpha) \cdot m^2 + \{2(n + \beta) + n \cdot (4\alpha + \gamma) + 2 \cdot \alpha \cdot \beta\} \cdot m - (1 + 3\alpha) + \alpha \cdot \beta \cdot (4n + \beta) + \gamma \cdot (3 \cdot n \cdot \beta + \beta^2 + n^2) = 0 \quad (3.41)$$

$$\alpha = \frac{h_3}{H} \quad (3.42)$$

$$\beta = \frac{b_1}{H} \quad (3.43)$$

$$\gamma = \frac{\gamma_c}{\gamma_w} \quad (3.44)$$

$$m = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (3.45)$$

Keterangan:

h_3 = Tinggi air di atas peluap bendung utama (m)

b_1 = Lebar mercu bendung utama

a = $(1 + \alpha)$

b = $\{2(n + \beta) + n(4\alpha + \gamma) + 2 \cdot \alpha \cdot \beta\}$

c = $(1 + 3\alpha) + \alpha \cdot \beta(4n + \beta) + \gamma(3 \cdot n \cdot \beta + \beta^2 + n^2)$

4. Kemiringan Bendung Bagian Hilir

Persamaan perhitungan kemiringan bendung bagian hilir berdasarkan Pd T-12- 2004-A dijabarkan sebagai berikut.

$$n_{max} = Vg \sqrt{\frac{2}{g \cdot H}} \quad (3.46)$$

Keterangan:

n_{max} = Kemiringan tubuh bendung utama bagian hilir

H = Tinggi total bendung utama (m)

Vg = Komponen horizontal untuk kecepatan kritis (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

5. Menentukan Panjang Kolam Olak

Persamaan untuk menentukan panjang kolam olak berdasarkan Pd T-12-2004- A dijabarkan sebagai berikut.

Persamaan Hidraulik:

$$L = l_w + X + b_2 \quad (3.47)$$

$$l_w = V_o \sqrt{\frac{2 \left(H_1 + \frac{1}{2} h_3 \right)}{g}} \quad (3.48)$$

$$V_o = \frac{q_o}{h_3} \quad (3.49)$$

$$X = \beta \cdot h_j \quad (3.50)$$

$$h_j = \frac{h_1}{2} \left\{ \sqrt{1 + 8F_{r1}^2} - 1 \right\} \quad (3.51)$$

$$h_1 = \frac{q_1}{v_1} \quad (3.52)$$

$$V_1 = \sqrt{2g(H_1 + h_3)} \quad (3.53)$$

$$F_{r1} = \frac{V_1}{\sqrt{g \cdot h_1}} \quad (3.54)$$

Keterangan:

l_w = Jarak terjunan (m)

X = Panjang loncatan air (m)

b_2 = Lebar mercu subdam (m)

- q_o = Debit per meter pada peluap ($m^3/ds/m$)
 h_3 = Tinggi air di atas peluap bendung utama (m)
 H_1 = Tinggi bendung utama dari lantai kolam olak (m)
 β = Koefisien (4,5 – 5,0)
 h_j = Tinggi dari permukaan lantai kolam olak (permukaan batuan dasar) sampai ke muka air di atas mercu subdam (m)
 h_1 = Tinggi air pada titik jenuh terjunan (m)
 q_1 = Debit aliran tiap meter lebar pada titik jatuh terjunan ($m^3/s/m$)
 V_1 = Kecepatan jatuh pada terjunan (m/s)
 Fr_1 = Angka Froude aliran pada titik terjunan

Persamaan Empiris:

$$L = (1,5 \text{ s/d } 2,0) \times (H_1 + h_3) \quad (3.55)$$

Keterangan:

- L = Jarak bendung utama dan subdam (m)
 H_1 = Tinggi bendung utama dari lantai kolam olak (m)
 h_3 = Tinggi air di atas peluap bendung utama (m)

6. Menentukan Tebal Lantai Kolam Olak

Persamaan untuk menentukan tebal lantai kolam olak berdasarkan Pd T-12-2004-A dijabarkan sebagai berikut.

Kolam Olak Tanpa Subdam:

$$t = 0,2 (0,6 H_1 + 3h_3 - 1) \quad (3.56)$$

Kolam Olak dengan Subdam:

$$t = 0,1(0,6H_1 + 3h_3 - 1) \quad (3.57)$$

Keterangan:

- t = Tebal lantai kolam olak (m)
 H_1 = Tinggi bendung utama dari lantai kolam olak (m)
 h_3 = Tinggi air di atas peluap bendung utama (m)

7. Menentukan Tinggi Subdam

Persamaan Hidraulik:

$$\frac{d}{h_1} = \frac{(1 + 2F_{r1}^2) \cdot (1 + 8F_{r1}^2)^{\frac{1}{2}} - 5F_{r1}^2 - 1}{(1 + 4F_{r1}^2) - (1 + 8F_{r1}^2)^{\frac{1}{2}}} - \frac{3}{2}F_{r1}^{\frac{2}{3}} \quad (3.58)$$

Keterangan :

- d = Tinggi subdam (m)
 h_1 = Tinggi air pada titik jatuh terjunan (m)
 F_{r1} = Angka Froude aliran pada titik terjunan

Persamaan Empiris :

$$d = \left(\frac{1}{3}s/d\frac{1}{4}\right) \cdot H - t \quad (3.59)$$

Keterangan :

- d = Tinggi subdam (m)
 H = Tinggi total bendung utama (m)
 t = Tebal lantai kolam olak (m)

8. Menentukan kedalaman pondasi

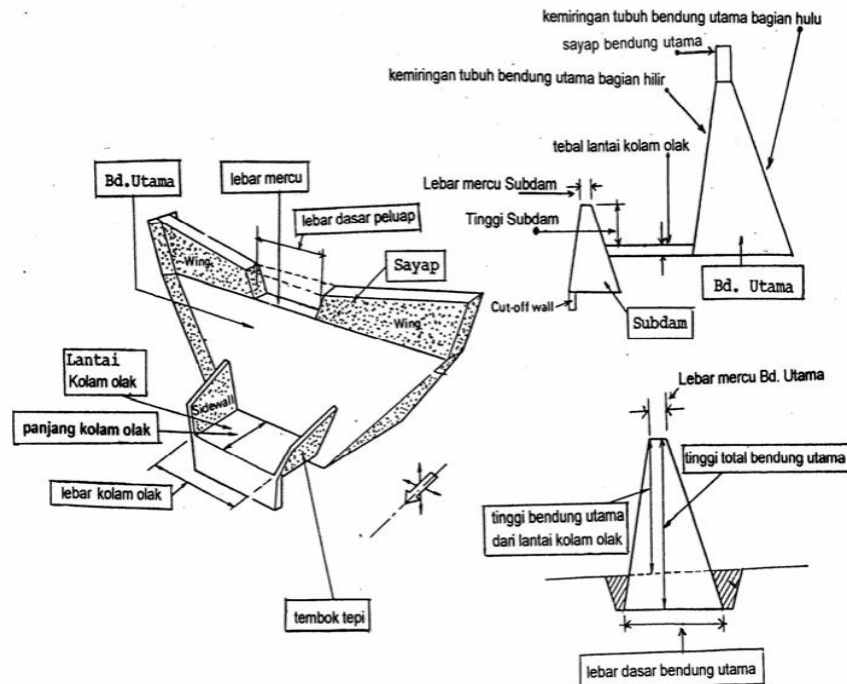
Rumus untuk menentukan kedalaman pondasi adalah sebagai berikut.

$$h_p = 1/3 \cdot (h_3 + H) \quad (3.60)$$

Keterangan :

- h_p = Kedalaman pondasi (m)
 h_3 = Tinggi air di atas mercu (m)
 H = Tinggi bendung (m)

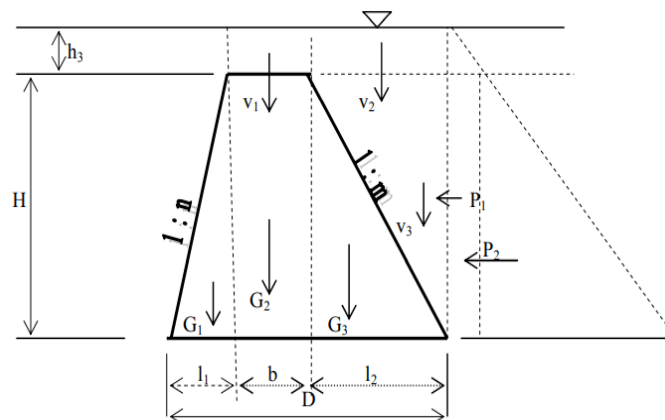
Gambar 3.5 berikut adalah contoh detail penggambaran groundsill.



Gambar 3. 5 Gambar Detail Groundsill
(Sumber : Pd T-12-2004-A, 2004)

3.7 Analisis Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Groundsill

Menurut Pd T-12- 2004-A, gaya-gaya yang bekerja pada saat kondisi muka air banjir dan normal adalah gaya akibat berat sendiri (G), gaya akibat tekanan air statis vertikal (V), dan horizontal (P). Persamaan untuk gaya-gaya yang bekerja pada kondisi banjir dan normal dapat dilihat pada Gambar 3.6 sebagai berikut.



Gambar 3. 6 Gaya Pada Groundsill Saat Kondisi Banjir dan Normal
(Sumber : Pd T-12-2004-A, 2004)

Tabel 3.11 berikut adalah rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan gaya - gaya yang bekerja pada ground sill dan lengan momen.

Tabel 3. 11 Rumus Perhitungan Gaya dan Lengan Momen

Beban	Notasi	Gaya	V	H	Lengan	Momen
Berat sendiri	G_1	$\frac{1}{2}. \gamma_c. H. n. H$	+		$\frac{2}{3}. n. H$	+
	G_2	$b. \gamma_c. H$	+		$n. H + \frac{1}{2}. b$	+
	G_3	$\frac{1}{2}. \gamma_c. H. m. H$	+		$n. H + b + \frac{1}{3}. m. H$	+
Tekanan air statik pada komponen vertikal	V_1	$h_3. B. \gamma_w$	+		$n. H + \frac{1}{2} b$	+
	V_2	$h_3. m. H. \gamma_w$	+		$n. H + b + \frac{1}{2}. m. H$	+
	V_3	$\frac{1}{2} H. m. H. \gamma_w$	+		$n. H + b + \frac{2}{3}. m. H$	+
Beban	Notasi	Gaya	V	H	Lengan	Momen
Tekanan air statik pada komponen horizontal	P_1	$\gamma_w. h_3. H$		-	$\frac{1}{2}. H$	-
	P_2	$\frac{1}{2}. \gamma_w. H^2$		-	$\frac{1}{3}. H$	-

(Sumber : Pd T-12-2004-A, 2004)

Keterangan :

$G_1; G_2; G_3$ = Beban berat sendiri bendung (ton)

$V_1; V_2; V_3$ = Tekanan air statik pada komponen vertikal (ton)

$P_1; P_2$ = Tekanan air statik pada komponen horizontal (ton)

n = Kemiringan hilir main dam

m = Kemiringan hulu main dam

h_3 = Tinggi muka air diatas peluap (m)

γ_w = Berat isi air (t/m^3)

γ_c = Berat isi bahan konstruksi (t/m^3)

b = Lebar mercu bendung (m)

H = Tinggi total bendung (m)

I_1 = Jarak ujung kaki bendung sebelah hilir sampai mercu (m)

I_2 = Jarak ujung kaki bendung sebelah hulu sampai mercu (m)

Rumus menghitung momen, digunakan persamaan sebagai berikut.

Momen akibat gaya vertikal

$$M = Fv \times L \quad (3.61)$$

Momen akibat gaya horizontal

$$M = Fh \times L \quad (3.62)$$

Keterangan :

M = Momen gaya (tm)

F_v = Gaya vertikal (t)

F_h = Gaya horizontal (t)

L = Lengan momen (m)

3.8 Analisis Stabilitas Groundsill

Stabilitas groundsill ditinjau terhadap bahaya guling, bahaya geser, dan rembesan (*piping*).

1. Stabilitas Terhadap Guling

Stabilitas terhadap guling artinya adalah ketahanan suatu struktur untuk menahan momen gaya yang bekerja sehingga menyebabkan kejulingan. Persamaan untuk menghitung stabilitas terhadap guling adalah sebagai berikut (Pd T-12-2004-A).

$$SF_{guling} = \frac{\sum M_v}{\sum M_H} > 1,2 \quad (3.63)$$

Keterangan:

M_v = Jumlah momen yang menahan (tm)

M_H = Jumlah momen yang menggulingkan (tm)

SF_{guling} = Faktor keamanan terhadap guling

2. Stabilitas Terhadap Geser

Stabilitas terhadap geser artinya adalah ketahanan suatu struktur untuk menahan momen gaya yang bekerja sehingga menyebabkan geser pada struktur. Persamaan untuk menghitung stabilitas terhadap geser adalah sebagai berikut (Pd T-12-2004-A).

$$SF_{geser} = \frac{f \cdot \sum V}{\sum H} > 1,2 \quad (3.64)$$

Keterangan:

SF_{geser} = Faktor aman terhadap geser

F = koefisien geser

ΣV = Jumlah gaya-gaya vertikal (t)

ΣH = Jumlah gaya-gaya horizontal (t)

Tabel 3.12 berikut adalah tabel daya dukung tanah yang dizinkan dan koefisien geser.

Tabel 3. 12 Daya Dukung Tanah dan Koefisien Geser

Klasifikasi Pondasi		Daya dukung tanah (t/m^2)	Koefisien geser
Batuan dasar	Batuan keras dengan sedikit retak	100	0,70
	Batuan keras dengan banyak retak	60	0,70
	Batuan lunak atau <i>mudstone</i>	30	0,70
Lapisan kerikil	Kompak	60	0,60
	Tidak kompak	30	0,60
Lapisan pasir	Kompak	30	0,60
	Kurang kompak	20	0,50
Lapisan tanah liat	Keras	10	0,45
	Kurang keras	5	-
	Sangat keras	20	0,50

(Sumber : Pd T-12-2004-A)

3. Stabilitas Terhadap Rembesan

Stabilitas terhadap rembesan dimaksudkan untuk mengecek apakah desain groundsill aman terhadap rembesan air melalui tanah sekitar bangunan yang diakibatkan oleh beda tinggi energi pada bangunan itu. Metode Lane mengoreksi teori Bligh, dimana teori ini menyatakan bahwa bidang vertikal 3 kali lebih efektif untuk menahan laju air daripada bidang horizontal dan dapat digambarkan perbandingannya adalah 3:1. Kontrol terhadap rembesan dirumuskan sebagai berikut (KP-06, 2013).

$$CL = \left[\Sigma Lv + \left(\frac{1}{3} Lh \right) \right] / H \quad (3.65)$$

Keterangan :

CL = Angka rembesan Lane

ΣLv = Total panjang vertikal (m)

ΣLh = Total panjang horizontal (m)

H = Beda tinggi muka air (m)

Tabel 3.13 berikut ini adalah nilai minimum angka rembesan Lane dan Bligh (CL).

Tabel 3. 13 Angka Rembesan Lane dan Bligh

Material	Rembesan C	
	Lane	Bligh
Pasir sangat halus atau lanau	8,5	18
Pasir halus	7,0	15
Pasir sedang	6,0	-
Pasir kasar	5,0	12
Kerikil halus	4,0	-
Kerikil sedang	3,5	-
Kerikil kasar termasuk berangkal campur pasir	3,0	9
Bongkah dengan sedikit berangkal dan kerikil	2,5	4-6
Lempung lunak	3,0	-
Lempung sedang	2,0	-
Lempung keras	1,8	-
Lempung sangat keras	1,6	-

(Sumber : KP-06, 2013)

3.9 Hidrolika Saluran Terbuka

3.9.1 Definisi Saluran Terbuka

Triatmodjo (1993) menyatakan saluran terbuka adalah saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Pada semua titik di sepanjang saluran, tekanan di permukaan air adalah sama, yang biasanya adalah tekanan atmosfer. Pada saluran terbuka, misalnya sungai (saluran alam), variabel aliran sangat tidak teratur terhadap ruang dan waktu. Variabel tersebut adalah tampang lintang saluran, kekasaran, kemiringan dasar, belokan, debit, aliran dan sebagainya.

3.9.2 Klasifikasi Aliran

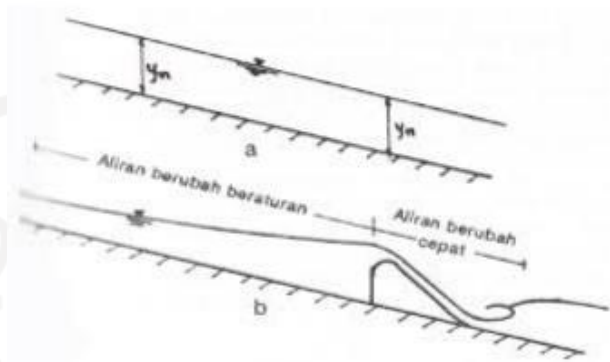
Triatmodjo (1993) menyatakan aliran melalui saluran terbuka disebut seragam (*uniform*) apabila berbagai variabel seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan dan debit pada setiap tampang di sepanjang aliran adalah konstan. Pada aliran seragam, garis energi, garis muka air dan dasar saluran adalah sejajar sehingga kemiringan dari ketiga garis tersebut adalah sama. Kedalaman air pada aliran seragam disebut dengan kedalaman normal yn. Untuk debit aliran dan luas tampang lintang saluran tertentu, kedalaman normal adalah konstan di seluruh panjang saluran.

Triatmodjo (1993) menyatakan aliran disebut tidak seragam atau berubah (*nonuniform flow atau varied flow*) apabila variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan di sepanjang saluran tidak konstan. Apabila perubahan aliran terjadi pada jarak yang pendek maka disebut aliran berubah cepat, sedang apabila terjadi pada jarak yang panjang disebut aliran berubah beraturan. Gambar 3.7 adalah adalah aliran seragam dan berubah.

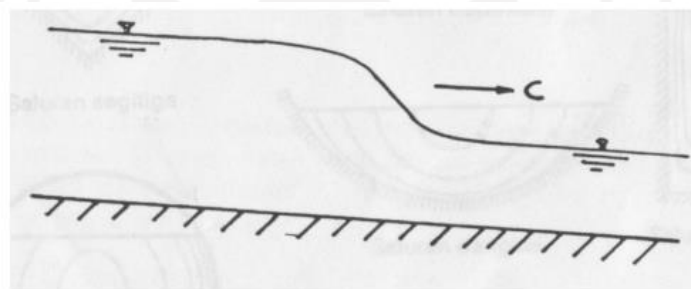
Triatmodjo (1993) menyatakan aliran disebut mantap apabila variabel aliran di suatu titik seperti kedalaman dan kecepatan di sepanjang saluran tidak berubah terhadap waktu, dan apabila berubah terhadap waktu disebut aliran tidak mantap. Gambar 3.8 adalah gelombang banjir melalui saluran terbuka yang merupakan contoh aliran tidak mantap.

Triatmodjo (1993) menyatakan aliran saluran juga dapat dibedakan menjadi aliran sub kritis (mengalir) dan super kritis (meluncur). Di antara kedua tipe tersebut aliran adalah kritis. Aliran disebut sub kritis apabila suatu gangguan (misalnya batu dilemparkan ke dalam aliran sehingga menimbulkan gelombang) yang terjadi di suatu titik aliran dapat menjalar kearah hulu. Aliran sub kritis dipengaruhi oleh kondisi hilir, dengan kata lain keadaan di hilir akan mempengaruhi aliran disebelah hulu. Apabila kecepatan aliran cukup besar sehingga gangguan yang terjadi tidak menjalar ke hulu maka aliran adalah super kritis. Dalam hal ini kondisi di hulu akan mempengaruhi aliran disebelah hilir. Penentuan tipe aliran dapat didasarkan pada nilai angka Froude Fr , yang mempunyai bentuk $Fr = V/\sqrt{gy}$, dengan V dan y adalah kecepatan dan kedalaman

aliran. Aliran adalah sub kritis apabila $Fr < 1$, kritis apabila $Fr = 1$, dan super kritis apabila $Fr > 1$.



Gambar 3. 7 Aliran Seragam dan Berubah
(Sumber : Triatmodjo, 1993)



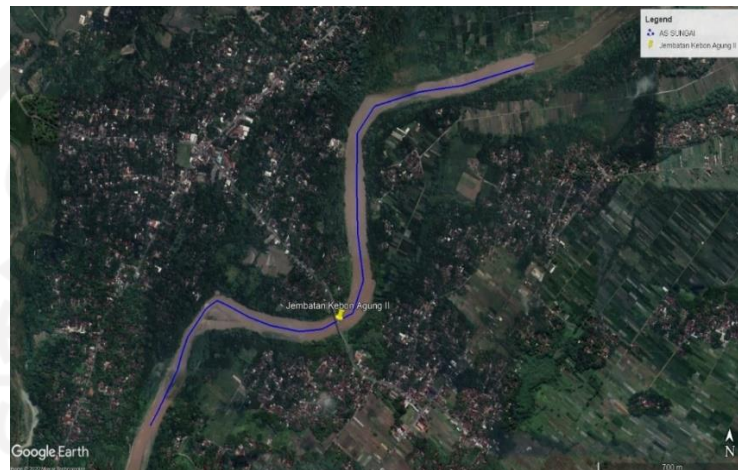
Gambar 3. 8 Gelombang Banjir Melalui Saluran Terbuka
(Sumber : Triatmodjo, 1993)

3.9.3 Analisis Profil Muka Air dan Kecepatan Aliran

Analisis profil muka air merupakan analisis tambahan pada stabilitas ground sill untuk mengetahui apakah penampang ground sill aman terhadap banjir dan mengetahui kenaikan muka air di hulu setelah ada ground sill. Analisis kecepatan aliran bertujuan untuk mengetahui perubahan kecepatan aliran setelah ada ground sill. Analisis tersebut dilakukan menggunakan program HEC-RAS. Berikut ini adalah langkah-langkah permodelan dan analisis aliran pada HEC-RAS.

1. Menggambar AS Sungai

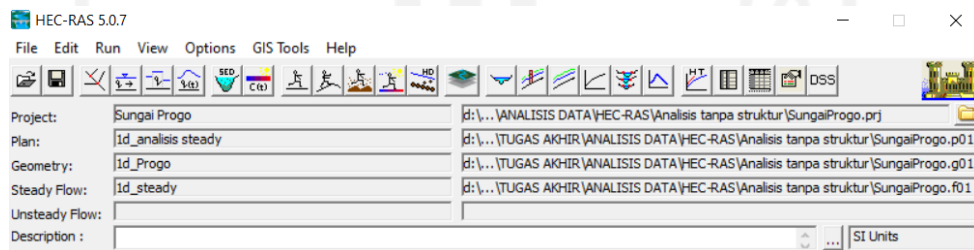
Proses menggambar AS Sungai yang ditinjau menggunakan software *Google Earth Pro* dan nanti akan dirubah menjadi format SHP dengan software *Global Mapper*. Gambar 3.9 berikut adalah hasil penggambaran AS Sungai.



Gambar 3. 9 Penggambaran AS Sungai

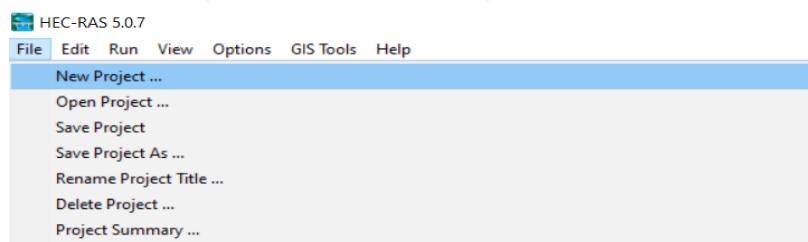
2. Input Data DEM

Buka Program HEC-RAS 5.0.7.

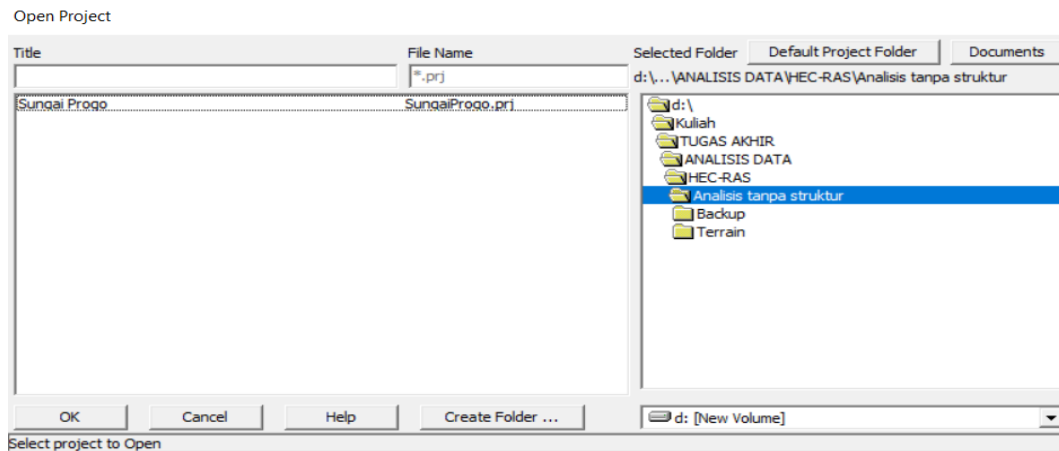


Gambar 3. 10 Program HEC-RAS 5.0.7

Klik File → *New Project* → *Save Project*.

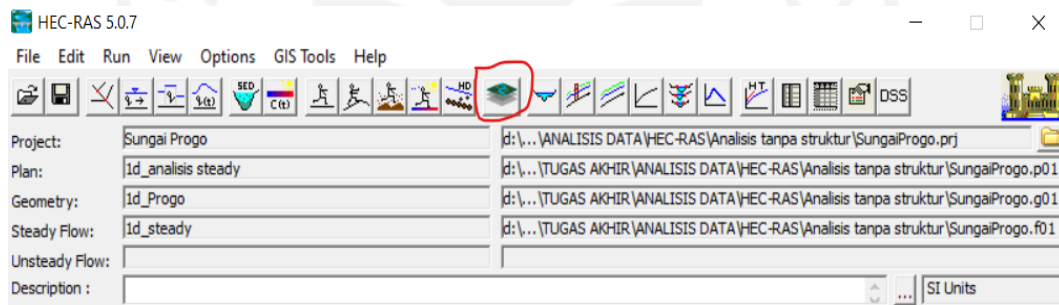


Gambar 3. 11 New Project

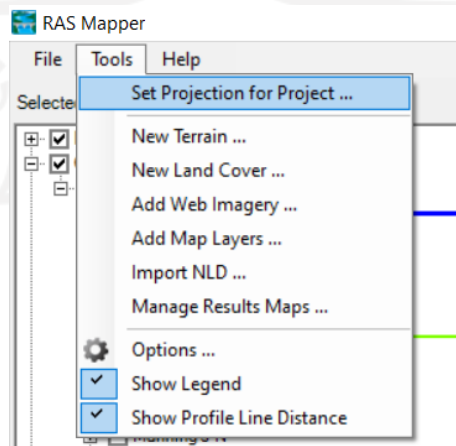


Gambar 3. 12 Save Project

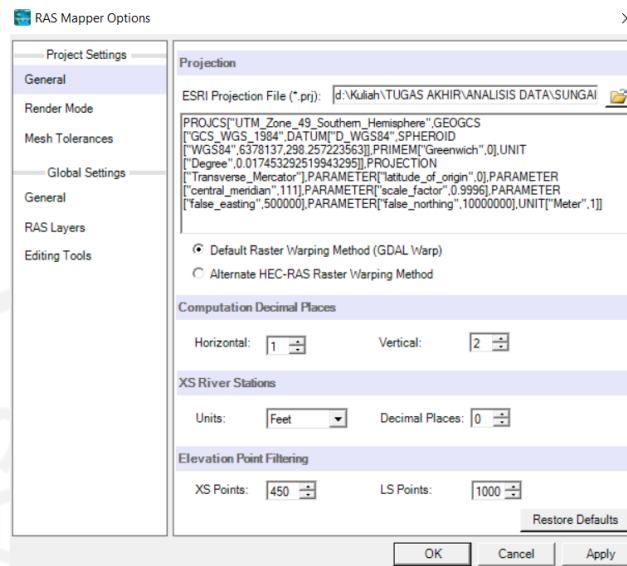
Klik Toolbar *RAS Mapper* → *Tools* → *Set Projection for Project* → *New Terrain* → Pilih data DEM lokasi yang ditinjau.



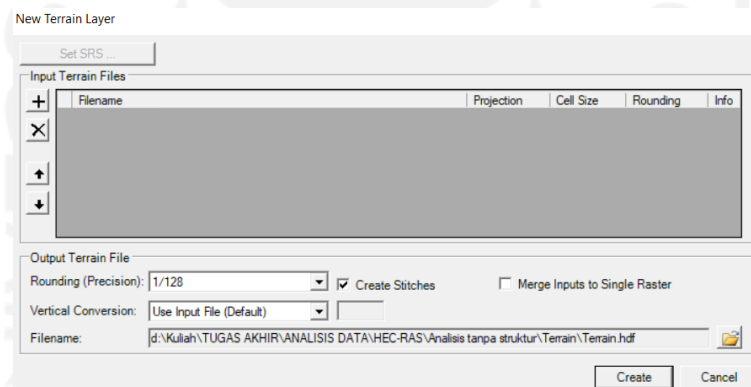
Gambar 3. 13 RAS Mapper



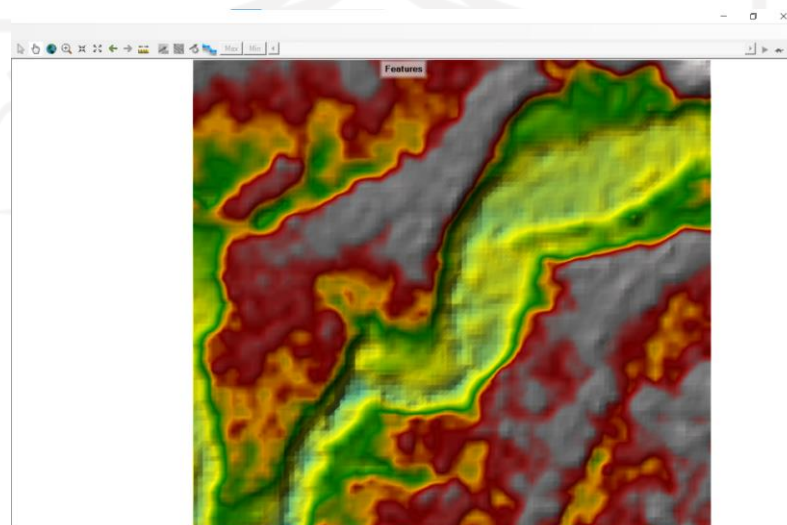
Gambar 3. 14 Set Projection



Gambar 3. 15 Project Settings



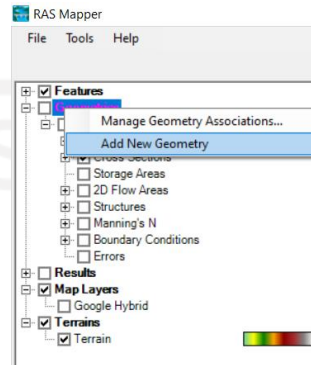
Gambar 3. 16 New Terrain



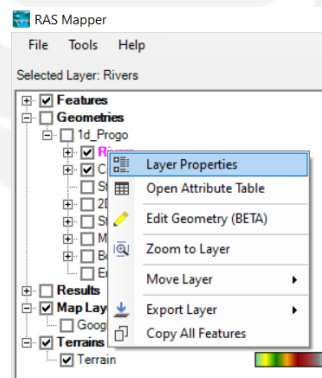
Gambar 3. 17 Hasil Create Terrain

3. Input Data AS Sungai

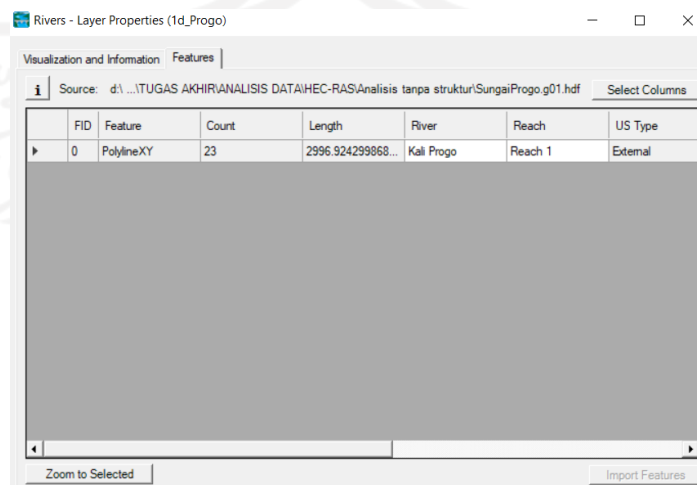
Klik kanan *Geometries* → *Add new geometry* → Beri nama *geometry* → Klik kanan *rivers* → *Layer properties* → *Features* → *Import features*.



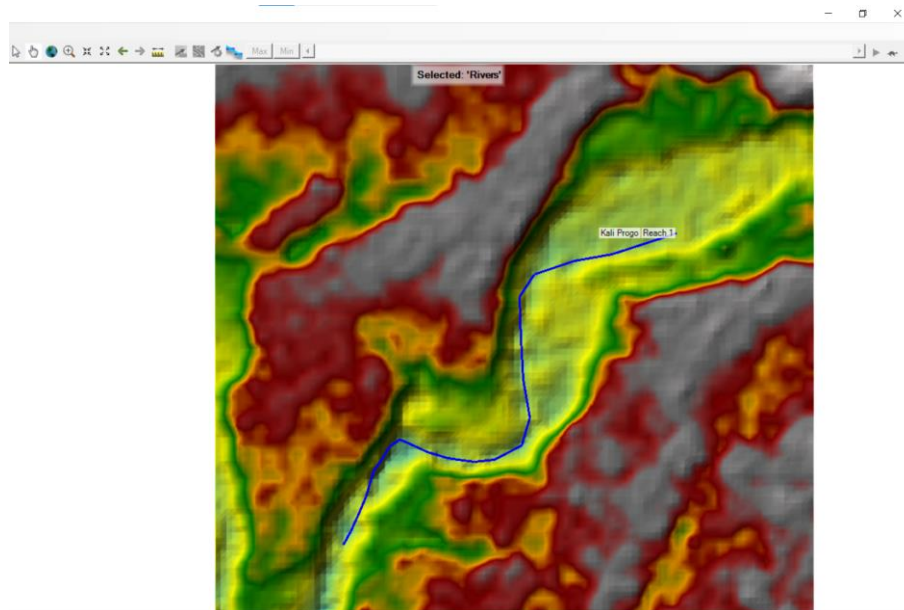
Gambar 3. 18 Add New Geometry



Gambar 3. 19 Rivers



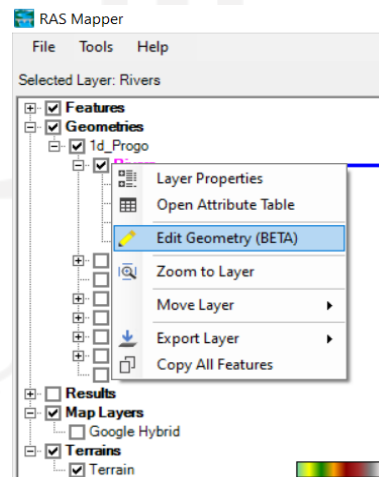
Gambar 3. 20 Import Features



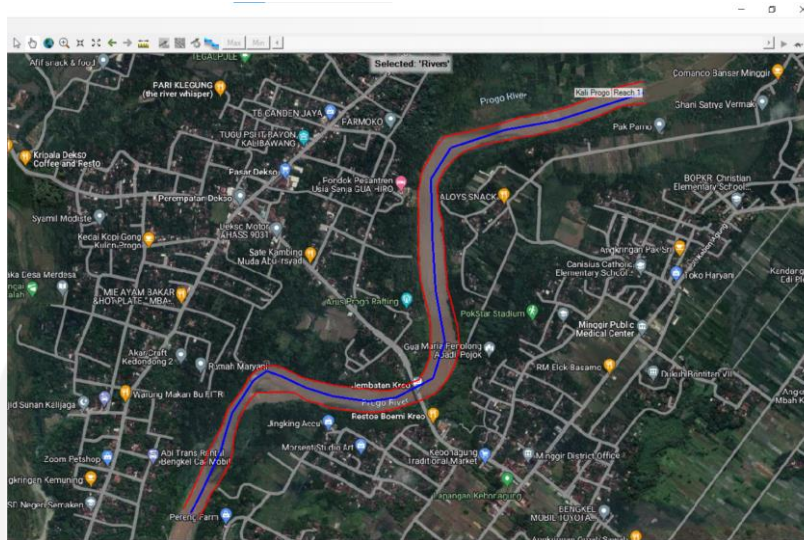
Gambar 3. 21 Hasil Input AS Sungai

4. Penggambaran Cross Section Sungai

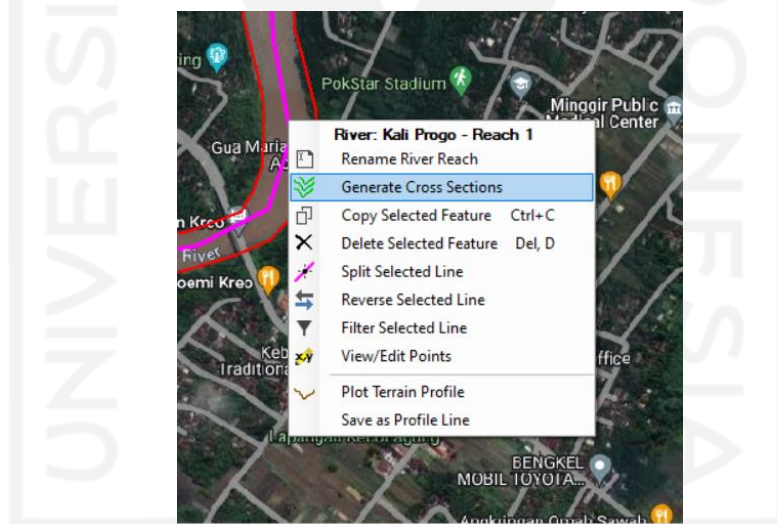
Klik kanan *rivers* → *Edit geometry* → Klik *bank lines* → Gambar *bank lines*
 → Klik kanan *rivers* → *Generate cross section* → Isi jarak antar *cross* dan
 lebar *cross* → Klik *toolbars view cross section* → *Save*.



Gambar 3. 22 Edit Geometry



Gambar 3. 23 Menggambar *Bank Lines*

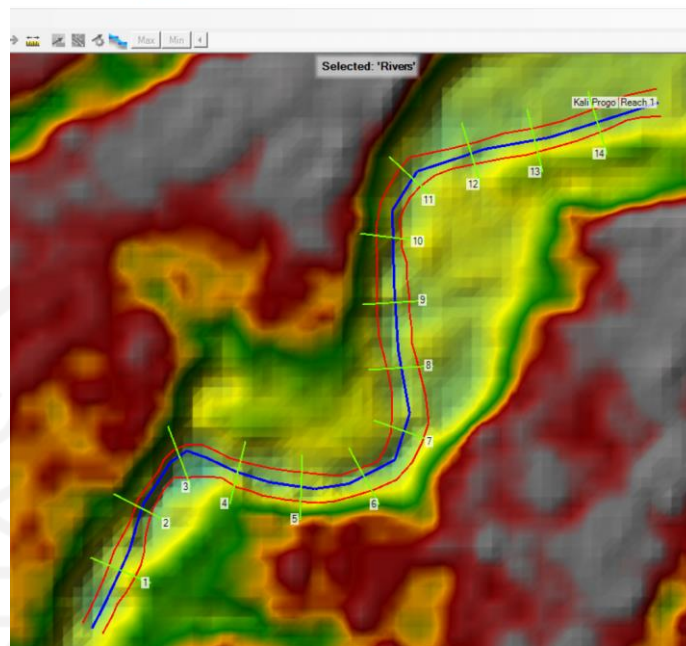


Gambar 3. 24 *Generate Cross Sections*

Autogenerate XS Lines Perpendicular to River Reach

XS Spacing Distance (m):	200
XS Width (m):	200
<div>OK</div> <div>Cancel</div>	

Gambar 3. 25 Input Jarak dan Lebar



Gambar 3. 26 Hasil Penggambaran *Bank Lines* dan *Cross Sections*

5. Input Parameter *Steady Flow Data*

Klik toolbar *view/edit steady flow data* → *Enter/edit number of profiles* → masukkan jumlah debit yang ingin dirunning → Input debit rencana → *Reach boundary condition* → *Input Slope* → *Save*.

Steady Flow Data - 1d_steady

File Options Help

Description : Apply Data

Enter/Edit Number of Profiles (32000 max): Reach Boundary Conditions ...

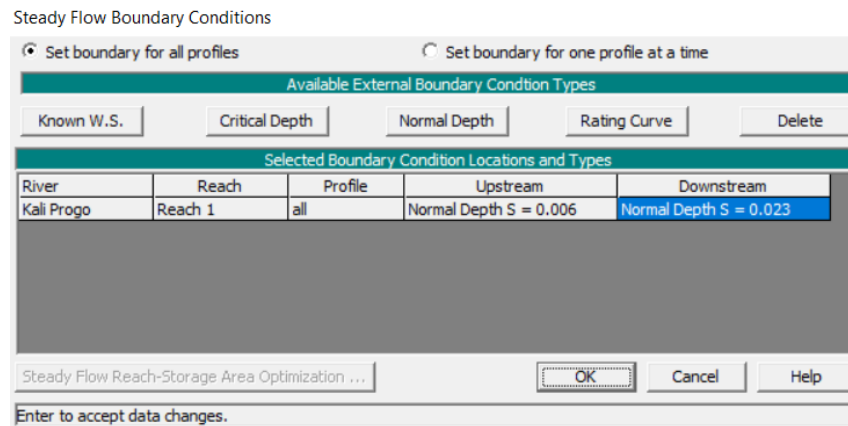
Locations of Flow Data Changes

River: Add Multiple...

Reach: River Sta.: Add A Flow Change Location

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates						
River	Reach	RS	Q 100	Q 50	Q 25	Q 10	Q 5	Q 2	Q Desain
1 Kali Progo	Reach 1	14	1685.73	1589.09	1486.41	1327.09	1184.89	928.69	1739.68

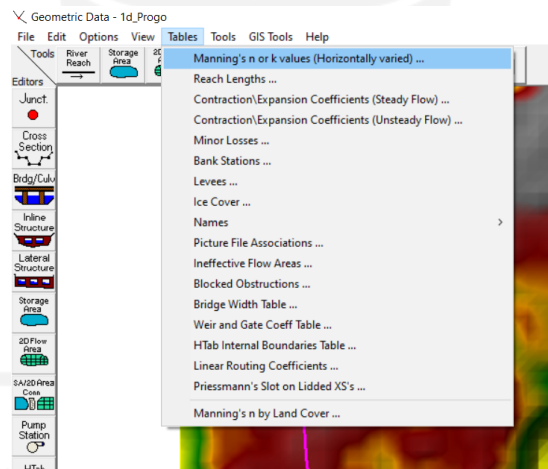
Gambar 3. 27 Input Data Debit Rencana



Gambar 3. 28 Boundary Conditions

6. Running Analisis *Steady Flow*

Klik toolbar view/edit geometric data → Tables → Manning's n or k values
 → Isi nilai manning → Klik toolbars perform a steady flow simulation →
 Save plan → Flow regime pilih mixed → Compute.



Gambar 3. 29 Manning's n or k values

Edit Manning's n or k Values

River: **Kali Progo** ☐ Edit Interpolated XS's Channel n Values have a light green background

Reach: **Reach 1** **All Regions**

Selected Area Edit Options

	River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1	14	n	0.03	0.025	0.03
2	13	n	0.03	0.025	0.03
3	12	n	0.03	0.025	0.03
4	11	n	0.03	0.025	0.03
5	10	n	0.03	0.025	0.03
6	9	n	0.03	0.025	0.03
7	8	n	0.03	0.025	0.03
8	7	n	0.03	0.025	0.03
9	6	n	0.03	0.025	0.03
10	5	n	0.03	0.025	0.03
11	4	n	0.03	0.025	0.03
12	3	n	0.03	0.025	0.03
13	2	n	0.03	0.025	0.03
14	1	n	0.03	0.025	0.03

Gambar 3. 30 Input Nilai Manning

Steady Flow Analysis

File Options Help

Plan: **1d_analisis steady** Short ID: **1d_analisis steady**

Geometry File: **1d_Progo**

Steady Flow File: **1d_steady**

Plan Description:

Flow Regime

☐ Subcritical

☐ Supercritical

☒ Mixed

Optional Programs

☐ Floodplain Mapping

Compute

Gambar 3. 31 Running Steady Flow Analysis

HEC-RAS Finished Computations

Write Geometry Information

Layer: COMPLETE

Steady Flow Simulation

River: **Kali Progo** RS: **2**

Reach: **Reach 1** Node Type: **Cross Section**

Profile: **Q 2**

Simulation: **6/6**

Computing supercritical profile

Simulation Messages

Plan: '1d_analisis steady' (SungaiProgo.p01)

Simulation started at: 26Dec2022 07:42:01 PM

Writing Geometry

Completed Writing Geometry

Starting to copy Geometry Data to Results

Completed copying Geometry Data to Results

Steady Flow Simulation HEC-RAS 5.0.7 March 2019

Finished Steady Flow Simulation

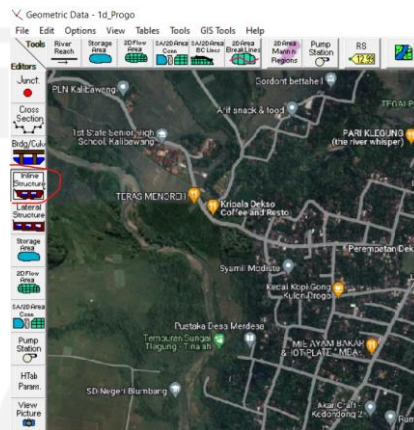
Computations Summary

Computation Task	Time(hh:mm:ss)
Completing Geometry(64)	1
Steady Flow Computations(64)	2
Complete Process	3

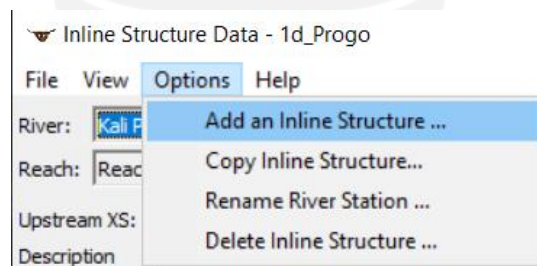
Gambar 3. 32 Finished Computations

7. Input Struktur *Groundsill*

Klik toolbars *view/edit geometric data* → Klik *inline structure* pada menu di sebelah kiri layar → *Options* → *Add an inline structure* → input lokasi stasiun dimana *groundsill* direncanakan → *Weir* → Input dimensi *groundsill*.



Gambar 3. 33 Inline Structure



Gambar 3. 34 Add an Inline Structure

Inline Structure Weir Station Elevation Editor

Distance	Width	Weir Coef
10.	2.	1.4

Clear Del Row Ins Row Filter...

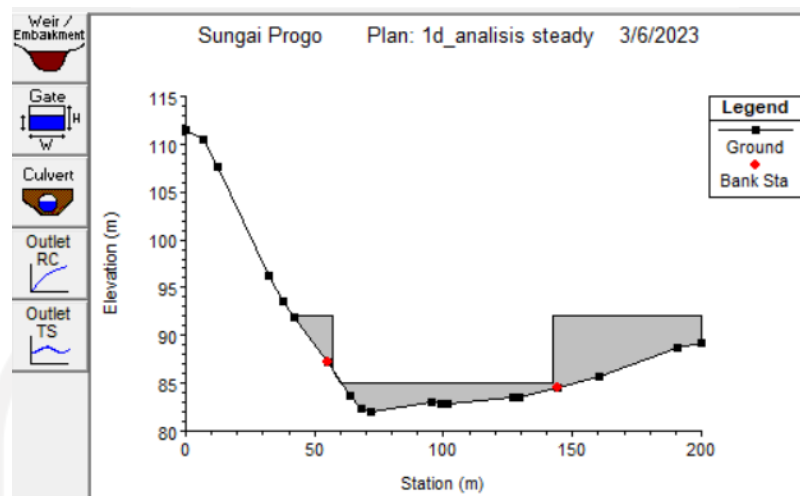
Edit Station and Elevation coordinates

	Station	Elevation
1	42.3	91.99
2	54.9	91.99
3	56.9	91.99
4	56.9	85.08
5	142.5	85.08
6	142.5	91.99
7	144.5	91.99
8	200	91.99

U.S Embankment SS 0.2 D.S Embankment SS 0.5

Weir Data
Weir Crest Shape
☒ Broad Crested
☐ Ogee

Gambar 3. 35 Input Dimensi Groundsill



Gambar 3. 36 Hasil Input Struktur Groundsill

8. Analisis Profil Muka Air dan Kecepatan Aliran Dengan Struktur Groundsill
Setelah struktur groundsill diinput di geometry sungai, dengan cara yang sama dilakukan analisis *steady flow* seperti langkah pada nomor 6.

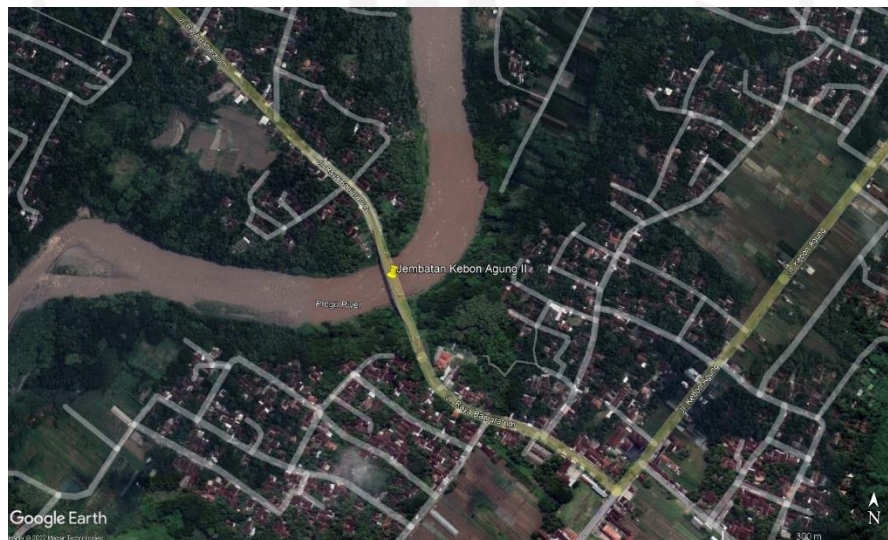
BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode utama yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kuantitatif deskriptif. Metode kuantitatif adalah penelitian yang dilakukan dengan pengumpulan data menggunakan alat pengumpul data atau instrumen dan hasil analisis permasalahan dinyatakan dalam bentuk angka. Sedangkan metode deskriptif adalah penelitian yang menggambarkan karakteristik objek yang akan diteliti dengan fakta apa adanya. Pada penelitian ini juga akan dilakukan metode survei dengan melakukan pengamatan dan pengukuran secara langsung di lokasi penelitian untuk mengetahui kondisi lokasi penelitian saat ini.

4.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Progo di hilir Jembatan Kebon Agung II, Kecamatan Kalibawang, Kabupaten Kulon Progo, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Peta lokasi penelitian tampak pada satelit dapat dilihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4. 1 Lokasi Penelitian
(Sumber : Google Earth)

4.3 Data Penelitian

Pada penelitian akan dilakukan pengambilan data dengan beberapa metode pengumpulan data sebagai berikut.

1. Data Hujan

Data hujan yang digunakan berupa data hujan harian yang dicatat oleh stasiun hujan yang berada di dekat lokasi penelitian. Data tersebut diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak (BBWS SO). Stasiun hujan yang digunakan yaitu Stasiun Caturanom, Stasiun Badran, Stasiun Kalibawang, dan Stasiun Seyegan dengan panjang data 15 tahun (2004 - 2018). Data hujan dapat dilihat di Lampiran 1-4.

2. Data *Digital Elevation Model* (DEM)

Data DEM merupakan data satelit yang digunakan untuk berbagai jenis pekerjaan pemetaan. Data ini berbentuk file shp dan didapatkan dari website www.USGS.gov.

3. Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah Aliran Sungai yang ditinjau berupa data primer yang dibuat menggunakan bantuan software *Global Mapper*. Pada proses ini dibutuhkan input data DEM dan koordinat dari lokasi penelitian dan stasiun hujan untuk membentuk DAS dan *Polygon Thiessen*.

4. *Cross section* sungai

Data *cross section* sungai diperlukan untuk analisis profil muka air dan kecepatan aliran. *Cross section* sungai yang digunakan berupa data primer yang digambarkan menggunakan software HEC-RAS. Pada proses ini diperlukan data DEM sebagai input untuk menggambarkan *cross section* sungai.

5. Lebar Sungai

Lebar sungai diperoleh dari pengukuran langsung di lapangan. Proses pengukuran dapat dilihat di lampiran 5.

4.4 Analisis Data

Adapun tahap-tahap untuk analisis data dijabarkan sebagai berikut.

1. Analisis Hujan Kawasan
Dilakukan pencatatan hujan maksimum dan tanggal kejadian tiap stasiun hujan dan dilanjutkan dengan perhitungan hujan kawasan menggunakan metode *Polygon Thiessen*.
2. Analisis Frekuensi dan Probabilitas
Analisis frekuensi dan probabilitas dilakukan dengan menghitung parameter statistik berupa rata-rata, standar deviasi, koefisien kemencengan, koefisien kurtosis, dan koefisien variasi. Kemudian dilakukan pemilihan distribusi yang memenuhi syarat diantara 4 jenis distribusi yaitu distribusi Normal, *Log Normal*, *Log-Pearson III*, dan *Gumbel* untuk menghitung hujan kala ulang.
3. Uji Kecocokan Data
Uji kecocokan data menggunakan metode uji *Chi-Kuadrat*. Dilakukan perhitungan jumlah kelas distribusi, lebar interval, nilai teoritis, dan derajat kebebasan.
4. Analisis Distribusi Hujan
Durasi hujan yang digunakan berdasarkan penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan di DAS Progo. Dilakukan perhitungan intensitas hujan dengan metode *Manonobe*, kedalaman hujan, pertambahan hujan, distribusi hujan, dan kedalaman hujan jam-jaman.
5. Analisis Debit Banjir Rencana
Perhitungan debit banjir rencana kala ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun menggunakan dua metode yaitu, metode HSS *Nakayasu* dan HSS *SCS*. Dilakukan perhitungan waktu puncak, debit puncak, aliran *base flow* dan pembuatan kurva HSS. Dari hasil kedua metode tersebut diambil nilai yang terbesar sebagai debit banjir rencana.

6. Analisis Dimensi Groundsill

Analisis dimensi groundsill menggunakan pedoman Pd T-12-2004-A. Debit yang digunakan untuk analisis dimensi adalah debit banjir rencana kala ulang 100 tahun. Analisis yang dilakukan adalah menentukan dimensi peluap, debit desain, lebar mercu, tinggi main dam, kemiringan hulu bendung, kemiringan hilir bendung, panjang kolam olak, tebal kolam olak, tinggi sub dam, dan kedalaman pondasi.

7. Analisis Gaya Pada Groundsill

Analisis gaya yang bekerja pada groundsill berpedoman pada Pd T-12- 2004-A. Gaya yang bekerja pada groundsill yaitu berat bangunan groundsill sendiri, tekanan air vertikal, dan tekanan air horizontal.

8. Analisis Stabilitas Groundsill

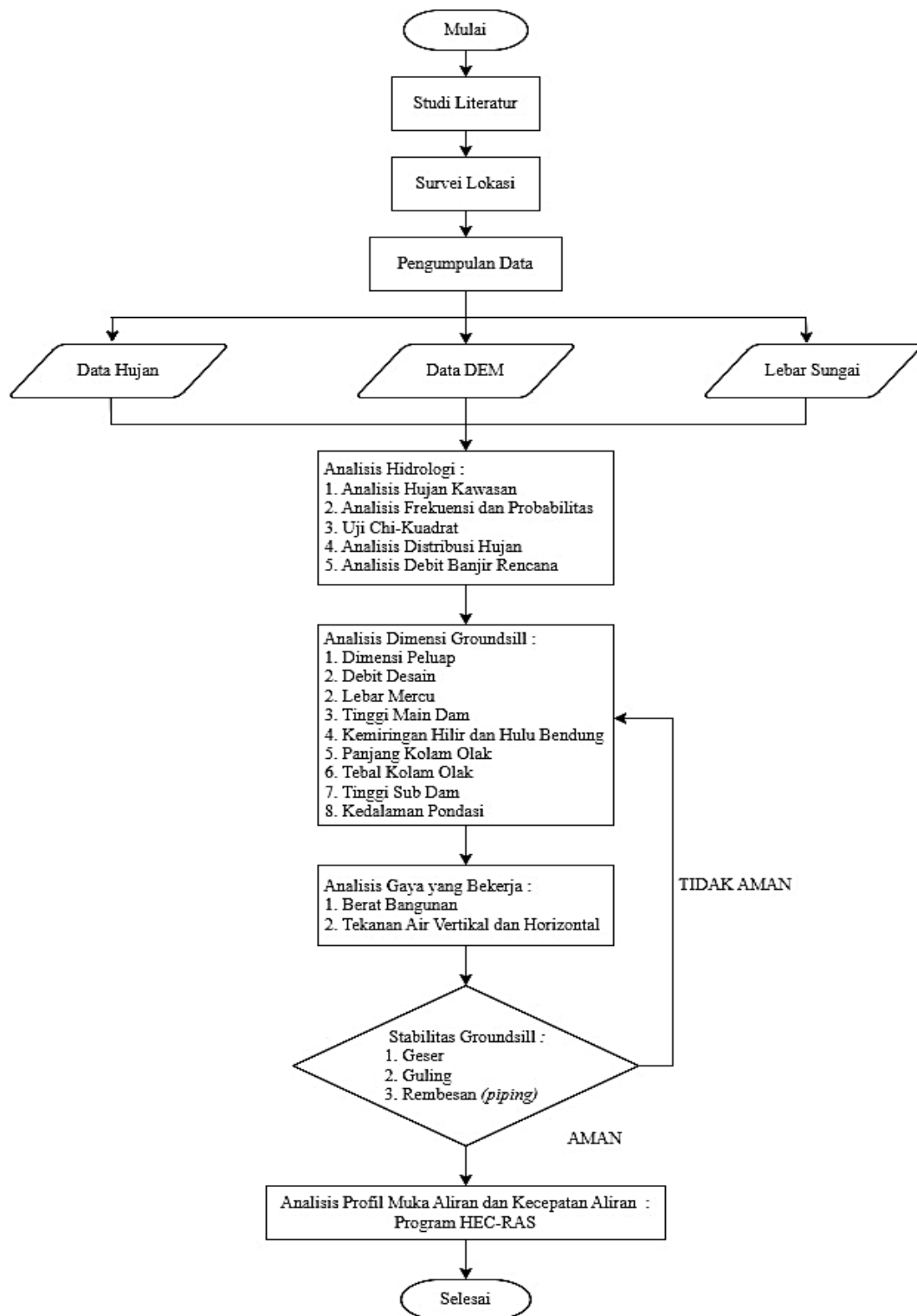
Analisis stabilitas groundsill menggunakan pedoman Pd T-12- 2004-A dan KP-06 (2013). Stabilitas ditinjau terhadap bahaya geser, guling, dan rembesan (*piping*).

9. Analisis Profil Muka Air dan Kecepatan Aliran

Analisis profil muka air dan kecepatan aliran dilakukan dengan program HEC-RAS. Dilakukan analisis profil muka air dan kecepatan aliran menggunakan debit desain pada kondisi sebelum ada groundsill dan setelah ada groundsill.

4.5 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian dibuat agar proses penelitian berjalan lebih teratur dan efisien. Detail bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.2.

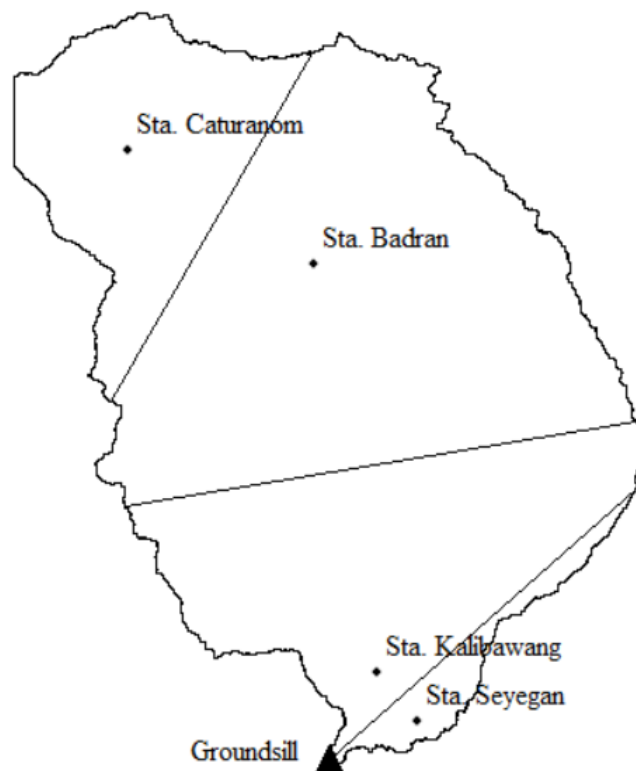


Gambar 4. 2 Bagan Alir Penelitian

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Analisis Hujan Kawasan

Perencanaan dimensi *groundsill* di hilir Jembatan Kebon Agung II memerlukan data hujan untuk analisis hidrologi. Data hujan yang digunakan pada tugas akhir ini adalah data hujan harian dengan panjang data 15 tahun (2004-2018). Data yang digunakan tercatat pada stasiun hujan yang terletak di lokasi penelitian, yaitu Sta. Caturanom, Sta. Badran, Sta. Seyegan, dan Sta. Kalibawang. Analisis hujan kawasan menggunakan metode *Polygon Thiessen*. Proses pembuatan DAS dan *Polygon Thiessen* menggunakan software *Global Mapper*. Pembuatan DAS memerlukan data DEM lokasi yang ditinjau dan koordinat dari setiap stasiun hujan dan lokasi rencana *groundsill*. Gambar 5.1 berikut ini adalah pembuatan DAS dan *Polygon Thiessen* menggunakan software *Global Mapper*.



Gambar 5. 1 Peta Polygon Thiessen

Tabel 5. 1 Catchment Area Polygon Thiessen

Catchment Area		
Nama Stasiun	Luas (km ²)	%
Sta. Caturanom	347,780	19%
Sta. Badran	905,050	49%
Sta. Kalibawang	516,350	28%
Sta. Seyegan	88,862	5%
Total	1858,042	100%

Catchment Area pada Tabel 5.1 didapatkan berdasarkan peta *Polygon Thiessen* pada Gambar 5.1 dengan menggunakan software *Global Mapper*. Kemudian dilakukan pencatatan hujan maksimum dan waktu kejadian pada 1 stasiun hujan setiap tahun. Dengan waktu kejadian yang sama, dilakukan pencatatan data hujan pada stasiun yang lain. Tabel 5.2 berikut adalah hasil pencatatan hujan maksimum masing-masing stasiun hujan setiap tahun.

Tabel 5. 2 Hasil Pencatatan Hujan Maksimum

Waktu Kejadian			Stasiun Hujan			
Tahun	Bulan	Tanggal	Caturanom	Badran	Kalibawang	Seyegan
2004	Des	27	30	0	113	20
	Feb	5	0	0	1	109
	Mar	9	53	9	29	21
	Mar	13	12	48	0	9
2005	Apr	20	0	0	47	2
	Feb	10	20	19	10	72
	Nov	30	87	25	1	0
	Mei	5	0	86	0	0
2006	Feb	19	0	2	104	55
	Des	8	19	0	24	58
	Des	17	89	0	1	0
	Mei	6	0	70	16	12
2007	Jan	30	37	18	96	0
	Apr	14	0	1	43	91
	Des	20	162	22	17	1
	Apr	2	10	120	7	11
2008	Mar	10	6	1	97	4
	Feb	4	0	32	16	95
	Mei	4	66	7	0	0
	Okt	27	35	87	66	21

Lanjutan Tabel 5.2 Hasil Pencatatan Hujan Maksimum

Waktu Kejadian			Stasiun Hujan			
Tahun	Bulan	Tahun	Caturanom	Badran	Kalibawang	Seyegan
2009	Des	20	9	0	100	0
	Jan	30	30	47	10	67
	Apr	15	300	23	0	2
	Des	8	2	108	15	0
2010	Apr	8	0	3	95	0
	Nov	16	0	0	0	74
	Jan	6	65	16	20	11
	Sept	20	0	205	0	0
2011	Jan	6	9	3	82	1
	Nov	4	32	3	2	75
	Nov	9	70	0	49	0
	Des	19	15	149	0	0
2012	Des	2	23	3	150	30
	Jan	1	14	63	115	133
	Feb	22	91	0	0	21
	Nov	23	15	114	50	48
2013	Jan	6	77	24	93	72
	Mei	25	0	32	70	95
	Jan	5	111	132	19	8
	Mar	14	0	157	0	12
2014	Des	19	58	2	85	115
	Feb	22	26	72	11	119
	Mar	8	113	70	0	7
	Jun	27	32	109	0	0
2015	Des	14	0	59	93	51
	Nov	25	3	7	70	117
	Apr	2	117	39	81	6
	Mar	2	37	70	48	30
2016	Mar	27	0	0	100	38
	Des	29	40	33	84	128
	Feb	6	116	0	9	117
	Jun	18	0	124	98	65
2017	Feb	25	72	9	93	48
	Nov	28	0	32	56	169
	Feb	25	72	9	93	48
	Feb	6	3	165	18	4
2018	Des	6	0	0	90	21
	Des	3	16	8	7	115
	Feb	27	83	0	0	0

Lanjutan Tabel 5.2 Hasil Pencatatan Hujan Maksimum

Waktu Kejadian			Stasiun Hujan			
Tahun	Bulan	Tahun	Caturanom	Badran	Kalibawang	Seyegan
2018	Feb	11	3	59	56	92

(Sumber : BBWS Serayu Opak, 2022)

Setelah dilakukan pencatatan, kemudian dilakukan analisis hujan kawasan menggunakan metode *Polygon Thiessen*. Perhitungan hujan kawasan (P) di setiap tahun menyesuaikan dengan jumlah stasiun hujan (4 stasiun). Setelah itu, dari hasil perhitungan diambil nilai terbesar pada tahun tersebut sebagai hujan maksimum kawasan (P_{Max}). Langkah yang sama dilakukan pada tahun yang lain menyesuaikan dengan jumlah tahun. Tabel 5.3 berikut adalah rekapitulasi hasil perhitungan hujan kawasan menggunakan metode *Polygon Thiessen*.

Tabel 5. 3 Hasil Perhitungan Hujan Kawasan

Waktu Kejadian			P	P Max
Tahun	Bulan	Tanggal		
2004	Des	27	37,97	37,97
	Feb	5	5,35	
	Mar	9	23,36	
	Mar	13	26,04	
2005	Apr	20	13,16	41,89
	Feb	10	19,21	
	Nov	30	28,74	
	Mei	5	41,89	
2006	Feb	19	32,51	39,12
	Des	8	12,98	
	Des	17	16,94	
	Mei	6	39,12	
2007	Jan	30	42,52	62,62
	Apr	14	16,59	
	Des	20	45,74	
	Apr	2	62,62	
2008	Mar	10	28,66	68,28
	Feb	4	24,38	
	Mei	4	15,62	
	Okt	27	68,28	
2009	Des	20	29,47	67,31
	Jan	30	34,49	

Lanjutan Tabel 5.3 Hasil Perhitungan Hujan Kawasan

Tahun	Waktu Kejadian		P	P Max
	Bulan	Tanggal		
2009	Apr	15	67,31	67,31
	Des	8	57,15	
2010	Apr	8	27,96	99,86
	Nov	16	3,54	
	Jan	6	25,90	
	Sept	20	99,86	
2011	Jan	6	25,89	75,53
	Nov	4	11,40	
	Nov	9	26,72	
	Des	19	75,53	
2012	Des	2	48,69	74,33
	Jan	1	71,43	
	Feb	22	18,00	
	Nov	23	74,33	
2013	Jan	6	55,54	90,64
	Mei	25	39,58	
	Jan	5	90,64	
	Mar	14	77,19	
2014	Des	19	41,10	58,84
	Feb	22	48,44	
	Mar	8	55,81	
	Jun	27	58,84	
2015	Des	14	57,02	63,67
	Nov	25	29,02	
	Apr	2	63,67	
	Mar	2	55,80	
2016	Mar	27	29,61	90,69
	Des	29	52,80	
	Feb	6	29,73	
	Jun	18	90,69	
2017	Feb	25	46,00	86,13
	Nov	28	39,23	
	Feb	25	46,02	
	Feb	6	86,13	
2018	Des	6	26,02	49,12
	Des	3	14,34	
	Feb	27	15,61	
	Feb	11	49,12	

Berdasarkan Tabel 5.3 diatas, berikut ini adalah salah satu contoh perhitungan analisis hujan kawasan menggunakan metode *Polygon Thiessen*.

Tahun 2004:

Tanggal 27 Desember 2004,

$$P_1 = \frac{347,78.30 + 905,05.0 + 516,35.113 + 88,862.20}{1858,042} = 37,97$$

Tanggal 5 Februari 2004,

$$P_2 = \frac{347,78.0 + 905,05.0 + 516,35.1 + 88,862.109}{1858,042} = 5,35$$

Tanggal 9 Maret 2004,

$$P_3 = \frac{347,78.53 + 905,05.9 + 516,35.29 + 88,862.21}{1858,042} = 23,26$$

Tanggal 13 Maret 2004,

$$P_4 = \frac{347,78.12 + 905,05.48 + 516,35.0 + 88,862.9}{1858,042} = 26,04$$

$P_{\max} = 37,97$ (Diambil yang terbesar dari 4 perhitungan di atas)

5.2 Hasil Analisis Frekuensi dan Probabilitas

Setelah analisis hujan kawasan, dilakukan analisis frekuensi dan probabilitas dengan memperhitungkan parameter statistik berupa rata-rata, standar deviasi, koefisien *skewness*, koefisien kurtosis dan koefisien variasi. Kemudian dilakukan pemilihan pola distribusi yang cocok berdasarkan hasil perhitungan parameter statistik. Pola distribusi yang umumnya digunakan adalah distribusi Normal, distribusi *Gumbel*, distribusi *Log-Pearson III*, dan *Log Normal*. Tabel 5.4 berikut adalah hasil analisis parameter statistik.

Tabel 5. 4 Hasil Analisis Parameter Statistik

Tahun	X_i	$X_i - X$	$(X_i - X)^2$	$(X_i - X)^3$	$(X_i - X)^4$
2004	37,97	-29,09	846,36	-24622,45	716322,28

Lanjutan Tabel 5.4 Hasil Analisis Parameter Statistik

Tahun	X_i	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$(X_i - \bar{X})^3$	$(X_i - \bar{X})^4$
2005	41,89	-25,18	633,84	-15957,76	401756,22
2006	39,12	-27,95	781,17	-21833,44	610233,63
2007	62,62	-4,44	19,73	-87,63	389,25
2008	68,28	1,21	1,47	1,78	2,15
2009	67,31	0,24	0,06	0,01	0,00
2010	99,86	32,79	1075,09	35250,54	1155813,27
2011	75,53	8,46	71,65	606,52	5134,03
2012	74,33	7,27	52,79	383,60	2787,23
2013	90,64	23,57	555,64	13097,67	308739,47
2014	58,84	-8,23	67,68	-556,81	4580,81
2015	63,67	-3,39	11,51	-39,03	132,41
2016	90,69	23,63	558,27	13190,57	311662,77
2017	86,13	19,06	363,27	6923,76	131964,09
2018	49,12	-17,95	322,21	-5783,67	103817,63
Total	1006,00	0,00	5360,74	573,66	3753335,25

Perhitungan rata-rata, standar deviasi, koefisien *skewness*, koefisien kurtosis, dan koefisien variasi adalah sebagai berikut.

Nilai Rata-rata:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{1006}{15} = 67,07$$

Standar Deviasi:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{5360,74}{15 - 1}} = 19,57$$

Kofisien Kemencengan (*Skewness*):

$$CS = \frac{n}{(n-1)(n-2)S^3} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3$$

$$CS = \frac{15}{(15-1)(15-2)19,57^3} \cdot 573,66 = 0,006$$

Koefisien Kurtosis:

$$CK = \frac{n}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4$$

$$CK = \frac{15}{(15-1)(15-2)(15-3)19,57^4} \cdot 3753335,25 = 0,176$$

Koefisien Variasi:

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} = \frac{19,57}{67,07} = 0,29$$

Pemilihan jenis distribusi sesuai dengan syarat dan ketentuan yang dijabarkan pada Tabel 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5. 5 Pemilihan Jenis Distribusi

Jenis Sebaran	Syarat		Hasil		Keterangan
	Cs	Ck	Cs	Ck	
Normal	0	3	0,006	0,176	Tidak memenuhi
<i>Log Normal</i>	0,96	4,4745	0,006	0,176	Tidak memenuhi
<i>Gumbel</i>	1,139	5,4002	0,006	0,176	Tidak memenuhi
<i>Log-Pearson III</i>	Selain nilai diatas		0,006	0,176	Memenuhi

Berdasarkan Tabel 5.5 pola distribusi yang memenuhi syarat parameter statistik adalah jenis distribusi *Log-Pearson III*. Tahap selanjutnya adalah perhitungan parameter statistik *Log-Pearson III* yang dapat dilihat pada Tabel 5.6 sebagai berikut.

Tabel 5. 6 Hasil Analisis Parameter Statistik *Log-Pearson III*

Tahun	Xi	Log Xi	Log (Xi - X)	Log (Xi - X) ²	Log (Xi - X) ³	Log (Xi - X) ⁴
2004	37,97	1,58	-0,2283	0,0521	-0,01190	0,00272
2005	41,89	1,62	-0,1857	0,0345	-0,00640	0,00119
2006	39,12	1,59	-0,2154	0,0464	-0,00999	0,00215
2007	62,62	1,80	-0,0110	0,0001	0,00000	0,00000
2008	68,28	1,83	0,0265	0,0007	0,00002	0,00000
2009	67,31	1,83	0,0203	0,0004	0,00001	0,00000
2010	99,86	2,00	0,1916	0,0367	0,00703	0,00135
2011	75,53	1,88	0,0704	0,0049	0,00035	0,00002
2012	74,33	1,87	0,0634	0,0040	0,00025	0,00002
2013	90,64	1,96	0,1495	0,0224	0,00334	0,00050

Lanjutan Tabel 5.6 Hasil Analisis Parameter Statistik *Log-Pearson III*

Tahun	X_i	$\text{Log } X_i$	$\text{Log } (X_i - \bar{X})$	$\text{Log } (X_i - \bar{X})^2$	$\text{Log } (X_i - \bar{X})^3$	$\text{Log } (X_i - \bar{X})^4$
2014	58,84	1,77	-0,0381	0,0015	-0,00006	0,00000
2015	63,67	1,80	-0,0038	0,0000	0,00000	0,00000
2016	90,69	1,96	0,1498	0,0224	0,00336	0,00050
2017	86,13	1,94	0,1274	0,0162	0,00207	0,00026
2018	49,12	1,69	-0,1165	0,0136	-0,00158	0,00018
Total	1006,00	27,12	0,00000	0,25597	-0,01350	0,00890

Perhitungan rata-rata, standar deviasi, koefisien *skewness*, distribusi *Log-Pearson III* adalah sebagai berikut.

Nilai Rata-rata:

$$\text{Log } \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{27,12}{15} = 1,808$$

Standar Deviasi:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{0,25597}{15 - 1}} = 0,135$$

Kofisien Kemencengan (*Skewness*):

$$CS = \frac{n}{(n-1)(n-2)S^3} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3$$

$$CS = \frac{15}{(15-1)(15-2)0,135^3} \cdot -0,0135 = -0,45$$

Setelah mendapatkan parameter statistik yang diperlukan untuk perhitungan hujan rencana, selanjutnya dicari nilai K untuk perhitungan hujan rencana kala ulang (X_t). Pada distribusi *Log-Pearson III* koefisien kemencengan (CS) yang didapat sebesar -0,45. Berdasarkan Tabel 3.2 didapatkan nilai K dengan interpolasi. Perhitungan hujan rencana kala ulang berdasarkan nilai K yang didapat adalah sebagai berikut.

Kala Ulang 2 Tahun:

$$\text{Log } X_T = \bar{X} + K.S = 1,808 + (0,075.0,135) = 1,818$$

$$X_T = \text{antilog } 1,818 = 65,75 \text{ mm}$$

Kala Ulang 5 Tahun:

$$\text{Log } X_T = \bar{X} + K.S = 1,808 + (0,0860.0,135) = 1,924$$

$$X_T = \text{antilog } 1,924 = 83,96 \text{ mm}$$

Kala Ulang 10 Tahun:

$$\text{Log } X_T = \bar{X} + K.S = 1,808 + (1,225.0,135) = 1,973$$

$$X_T = \text{antilog } 1,973 = 94,06 \text{ mm}$$

Kala Ulang 25 Tahun:

$$\text{Log } X_T = \bar{X} + K.S = 1,808 + (1,590.0,135) = 2,023$$

$$X_T = \text{antilog } 2,023 = 105,38 \text{ mm}$$

Kala Ulang 50 Tahun:

$$\text{Log } X_T = \bar{X} + K.S = 1,808 + (1,805.0,135) = 2,052$$

$$X_T = \text{antilog } 2,052 = 112,68 \text{ mm}$$

Kala Ulang 100 Tahun:

$$\text{Log } X_T = \bar{X} + K.S = 1,808 + (1,995.0,135) = 2,078$$

$$X_T = \text{antilog } 2,078 = 119,5 \text{ mm}$$

Tabel 5.7 berikut adalah hasil perhitungan nilai K dan hasil perhitungan hujan rencana kala ulang.

Tabel 5. 7 Hasil Perhitungan Nilai K dan Hujan Rencana

Kala Ulang	K	Log X_T	X_T (mm)
2	0,075	1,818	65,75
5	0,860	1,924	83,96
10	1,225	1,973	94,06

Lanjutan Tabel 5.7 Hasil Perhitungan Nilai K dan Hujan Rencana

Kala Ulang	K	Log X_T	X_T (mm)
25	1,590	2,023	105,38
50	1,805	2,052	112,68
100	1,995	2,078	119,55

Kemudian dilakukan perhitungan hujan rencana efektif (R_n) dengan cara mengkalikan hujan rencana kala ulang (X_T) dengan faktor koefisien (C). Faktor koefisien DAS Progo adalah sebesar 46,9%, angka tersebut didapatkan dari penelitian yang dilakukan oleh Nugraha (2019) dengan judul “Analisis Debit Banjir Rencana Bendung Kamijoro Dengan Metode Nakayasu”. Tabel 5.8 berikut adalah rekapitulasi hasil perhitungan hujan rencana efektif.

Tabel 5. 8 Hasil Perhitungan Hujan Efektif

Kala Ulang	X_T (mm)	C	R_n (mm)
2	65,75	0,469	30,84
5	83,96	0,469	39,38
10	94,06	0,469	44,12
25	105,38	0,469	49,43
50	112,68	0,469	52,85
100	119,55	0,469	56,07

5.3 Hasil Uji *Chi-Kuadrat*

Setelah dilakukan analisis frekuensi dan probabilitas dilakukan uji kecocokan data. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah *Chi-Kuadrat*. Berikut ini adalah perhitungan uji *Chi-Kuadrat*.

Kelas distribusi:

$$K = 1 + 3,22 \log n$$

$$K = 1 + 3,22 \log 15 = 4,787 \approx 5$$

Kelas interval:

$$L = X_{\max} - \frac{X_{\min}}{K}$$

$$L = 99,86 - \frac{37,97}{5} = 12,38$$

Nilai teoritis:

$$Ei = \frac{n}{K}$$

$$Ei = \frac{15}{5} = 3$$

Derajat kebebasan:

$$Dk = K - (\alpha + 1)$$

$$Dk = 4,787 - (2 + 1) = 1,787 \approx 2$$

Hasil perhitungan Uji *Chi-Kuadrat* dapat dilihat pada Tabel 5.9 sebagai berikut.

Tabel 5. 9 Hasil Uji *Chi Kuadrat*

Interval Kelas	O _i	E _i	O _i - E _i	(O _i - E _i) ² /E _i
37,97 – 50,35	4	3	1	0,333
50,35 – 62,73	2	3	-1	0,333
62,73 – 75,10	4	3	1	0,333
75,10 – 87,48	2	3	-1	0,333
87,48 – 99,86	3	3	0	0,000
Total	15			1,333

Dari hasil perhitungan didapat nilai uji *Chi-Kuadrat* sebesar 1,333. Berdasarkan Tabel 3.7 nilai *Chi-Kuadrat* kritis adalah 5,991. Nilai *Chi-Kuadrat* lebih kecil dari *Chi-Kuadrat* kritis sehingga distribusi dapat diterima.

5.4 Hasil Analisis Distribusi Hujan

Durasi hujan yang digunakan adalah 7 jam. Pemilihan durasi tersebut berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Gustoro (2018). Dalam penelitian tersebut dilakukan rekapitulasi durasi kejadian hujan ringan (kedalaman < 50 mm) dan hujan deras (kedalaman > 50 mm) pada stasiun hujan yang berada di DAS Progo dalam kurun waktu 3 tahun (2013-2015). Data hujan yang digunakan adalah yang mempunyai kedalaman lebih dari 50 mm, yang diperkirakan setara dengan

periode ulang 1 tahun (Triatmodjo, 2008). Dari hasil penelitian, durasi hujan 7 jam memiliki frekuensi paling banyak diantara durasi yang lain dengan 11 kejadian. Tabel 5.10 berikut adalah rekapitulasi hasil perhitungan distribusi hujan rencana efektif.

Tabel 5. 10 Hasil Perhitungan Distribusi Hujan Rencana Efektif

Kala Ulang (tahun)	Hujan Rencana Efektif (mm)	Distribusi Hujan Rencana Efektif Jam Ke-(%)						
		1	2	3	4	5	6	7
		52,3%	13,6%	9,5%	7,6%	6,4%	5,6%	5%
		Kedalaman Hujan Rencana Efektif Jam Ke- (mm)						
		1	2	3	4	5	6	7
2	30,84	16,12	4,19	2,94	2,34	1,98	1,73	1,54
5	39,38	20,58	5,35	3,75	2,99	2,52	2,21	1,97
10	44,12	23,06	5,99	4,20	3,35	2,83	2,47	2,21
25	49,43	25,84	6,72	4,71	3,75	3,17	2,77	2,48
50	52,85	27,63	7,18	5,04	4,01	3,39	2,96	2,65
100	56,07	29,31	7,62	5,34	4,25	3,59	3,14	2,81

Berikut ini adalah salah satu contoh perhitungan dan distribusi hujan berdasarkan Tabel 5.10 diatas.

Intensitas hujan (I) kala ulang 2 tahun

$$t = 1$$

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{1} \right)^{\frac{2}{3}} = 10,691 \text{ mm}$$

Kedalaman hujan (P) kala ulang 2 tahun:

$$t = 1$$

$$P = I \cdot t$$

$$P = 10,691 \cdot 1 = 10,691 \text{ mm}$$

Pertambahan hujan (Δp) kala ulang 2 tahun:

$$t = 1$$

$$\Delta p = P_t - P_{t-1}$$

$$\Delta p = 10,691 - 0 = 10,691 \text{ mm}$$

$$\Sigma \Delta p = 20,451 \text{ mm}$$

Distribusi hujan (D) dan kedalaman hujan rencana efektif jam-jaman (Re) kala ulang 2 tahun:

$$t = 1$$

$$D = \Delta p / \Sigma \Delta p$$

$$Re = D \cdot Rn$$

$$D = 10,691 / 20,451 = 0,523 = 52,3\%$$

$$Re = 0,523 \cdot 30,84 = 16,12 \text{ mm}$$

Selanjutnya dengan cara yang sama dilakukan perhitungan distribusi hujan rencana efektif jam-jaman pada kala ulang yang lain.

5.5 Parameter DAS

Parameter DAS merupakan data-data yang diperlukan untuk analisis aliran dasar (*Base Flow*) dan analisis debit banjir rencana. Data tersebut diperoleh dan diolah menggunakan software *Global Mapper*. Berikut ini adalah data-data yang diperlukan untuk keperluan analisis.

$$\text{Luas DAS (A)} = 1858,042 \text{ km}^2$$

$$\text{Panjang Sungai (L)} = 87,16 \text{ km}$$

5.6 Hasil Analisis Aliran Dasar (*Base Flow*)

Berikut ini adalah perhitungan aliran dasar (*Base Flow*) dengan metode *GAMA I*.

Kerapatan jaringan kuras (D):

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

$$D = \frac{1858,042}{87,16} = 0,047$$

Aliran Dasar (Q_b) :

$$Q_b = 0,4751 \cdot A^{0,6444} \cdot D^{0,943}$$

$$Q_b = 0,4751 \cdot 1858,042^{0,6444} \cdot 0,047^{0,943} = 3,366 \text{ m}^3/\text{s}$$

5.7 Hasil Analisis Debit Banjir Rencana

5.7.1 HSS *Nakayasu*

Langkah-langkah perhitungan HSS *Nakayasu* adalah sebagai berikut.

1. Waktu Konsentrasi (T_g)

Perhitungan waktu konsentrasi dengan panjang sungai $L > 15$ km adalah sebagai berikut.

$$T_g = 0,4 + 0,058 \cdot L = 0,4 + 0,058 \cdot 87,16 = 5,456$$

2. Satuan Waktu Hujan (T_r)

Hasil perhitungan satuan waktu hujan adalah sebagai berikut.

$$T_r = 0,5 \text{ s/d } 1 \cdot T_g = 0,75 \cdot 5,456 = 4,092$$

3. Tenggang Waktu (T_p)

Perhitungan tenggang waktu adalah sebagai berikut.

$$T_p = T_g + 0,8 \cdot T_r = 5,456 + 0,8 \cdot 4,092 = 8,729$$

4. Waktu Penurunan Debit Sampai 30% ($T_{0,3}$)

Hasil dari perhitungan waktu penurunan debit sampai 30% dari debit puncak adalah sebagai berikut.

$$T_{0,3} = \alpha \cdot T_g = 2 \cdot 5,456 = 10,911$$

5. Debit Puncak Banjir (Q_p)

Perhitungan debit puncak banjir adalah sebagai berikut.

$$Qp = \frac{C.A.R_o}{3,6.((0,3.Tp) + T_{0,3})}$$

$$Qp = \frac{1.1858,042.1}{3,6.((0,3.8,729) + 10,911)} = 38,147 \text{ m}^3/\text{s}$$

6. Hidrograf Satuan *Nakayasu* Saat Kurva Naik ($0 \leq t \leq T_p$)

Hasil perhitungan kurva naik dapat dilihat pada Tabel 5.11.

7. Hidrograf Satuan *Nakayasu* Saat Kurva Turun

Hasil perhitungan kurva turun saat $T_p < t \leq (T_p + T_{0,3})$, $(T_p + T_{0,3}) \leq t \leq (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$, serta saat $t > (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$ ditunjukkan pada Tabel 5.11.

Tabel 5. 11 Hasil Perhitungan HSS *Nakayasu*

t (jam)	Qt (m ³ /s)	Q Koreksi (m ³ /s)	Rumus yang digunakan	Kondisi
0	0,000	0,000	$0 < t < T_p$	Kurva Naik
1	0,210	0,203		
2	1,111	1,070		
3	2,939	2,831		
4	5,863	5,646		
5	10,016	9,646		
6	15,514	14,942		
7	22,460	21,631		
8	30,945	29,802		
8,7288	38,147	36,739		
9	37,023	35,656	$T_p < t < T_p + T_{0,3}$	Kurva Turun 1
10	33,155	31,931		
11	29,691	28,595		
12	26,589	25,607		
13	23,811	22,932		
14	21,324	20,536		
15	19,096	18,391		
16	17,101	16,469		
17	15,314	14,749		
18	13,714	13,208		
19	12,281	11,828		
19,6398	11,444	11,022	$T_p + T_{0,3} < t < T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3}$	Kurva Turun 2
20	11,145	10,733		

Lanjutan Tabel 5.11 Hasil Perhitungan HSS *Nakayasu*

t (jam)	Qt (m ³ /s)	Q Koreksi (m ³ /s)	Rumus yang digunakan	Kondisi
21	10,355	9,972	$T_p + T_{0,3} < t < T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3}$	Kurva Turun 2
22	9,620	9,265		
23	8,938	8,608		
24	8,304	7,997		
25	7,715	7,430		
26	7,168	6,903		
27	6,660	6,414		
28	6,187	5,959		
29	5,748	5,536		
30	5,341	5,144		
31	4,962	4,779		
32	4,610	4,440		
33	4,283	4,125		
34	3,979	3,832		
35	3,697	3,561		
36	3,435	3,308		
36,0064	3,433	3,306	$t > T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3}$	Kurva Turun 3
37	3,250	3,130		
38	3,076	2,962		
39	2,911	2,803		
40	2,754	2,653		
41	2,606	2,510		
42	2,467	2,375		
43	2,334	2,248		
44	2,209	2,127		
45	2,090	2,013		
46	1,978	1,905		
47	1,872	1,803		
48	1,771	1,706		
49	1,676	1,614		
50	1,586	1,528		

5.7.2 HSS SCS

Langkah-langkah perhitungan HSS SCS adalah sebagai berikut.

1. Waktu Durasi Hujan Efektif (t_D) Ke Puncak Hidrograf Satuan (t_p)

Berikut ini adalah hasil perhitungan t_p .

$$Ct = 1,4$$

$$Lc = 0,5 \cdot L = 0,5 \cdot 87,16 = 43,58 \text{ km}$$

$$tp = Ct \cdot (L \cdot Lc)^{0,3} = 1,4 \cdot (87,16 \cdot 43,58)^{0,3} = 16,60 \text{ jam}$$

2. Waktu Durasi Hujan Efektif (t_r) Ke Puncak Hidrograf Satuan (Pr)
Perhitungan Pr adalah sebagai berikut.

$$Pr = 0,5 \cdot (tr + tp)$$

$$Pr = (0,5 \cdot 1) + 16,60 = 17,10 \text{ jam}$$

3. Debit Puncak Banjir (Qp)

Berikut ini adalah hasil perhitungan debit puncak banjir.

$$Qp = \frac{0,208 \cdot A}{Pr}$$

$$Qp = \frac{0,208 \cdot 1858,04}{17,10} = 22,61 \text{ m}^3/\text{s}$$

4. Hidrograf Satuan SCS

Hasil perhitungan Hidrograf Satuan SCS dengan menggunakan ordinat HSS SCS dapat dilihat pada Tabel 5.12 sebagai berikut.

Tabel 5. 12 Hasil Perhitungan HSS SCS

t (jam)	Q (m ³ /s)
0,000	0,000
1,000	0,198
1,710	0,339
2,000	0,569
3,000	1,363
3,419	1,695
4,000	2,348
5,000	3,472
5,129	3,617
6,000	4,999
6,839	6,329
7,000	6,649
8,548	9,720
10,258	13,563
11,968	17,406
13,677	20,119

Lanjutan Tabel 5.12 Hasil Perhitungan HSS SCS

t (jam)	Q (m ³ /s)
15,387	21,927
17,097	22,605
18,806	22,153
20,516	20,797
22,226	18,988
23,935	16,954
25,645	14,919
27,355	12,659
30,774	9,494
34,193	7,234
37,613	5,425
41,032	4,069
44,451	2,939
47,871	2,215
51,290	1,695
59,838	0,814
68,387	0,407
76,935	0,203
85,483	0,090

5.7.3 Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana yang akan digunakan dalam analisis dimensi groundsill adalah debit banjir kala ulang 100 tahun. Debit banjir rencana diambil dari nilai terbesar hasil perkalian hidrograf satuan sintetis dengan distribusi hujan jam-jaman dan ditambah nilai aliran dasar (*base flow*). Tabel 5.13 berikut hasil perhitungan debit rencana *Nakayasu* 100 tahun.

Tabel 5. 13 Hasil Perhitungan Debit Rencana *Nakayasu* 100 Tahun

T (jam)	Q HSS (m ³ /s)	Distribusi Hujan Jam-ke (mm)							Base Flow (m ³ /s)	Debit Rencana (m ³ /s)
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7		
		29,310	7,618	5,344	4,254	3,593	3,140	2,808		
0	0,00	0,00							3,37	3,37
1	0,20	5,94	0,00						3,37	9,31
2	1,07	31,36	1,54	0,00					3,37	36,27
3	2,83	82,97	8,15	1,08	0,00				3,37	95,57
4	5,65	165,50	21,57	5,72	0,86	0,00			3,37	197,01
5	9,65	282,73	43,02	15,13	4,55	0,73	0,00		3,37	349,52

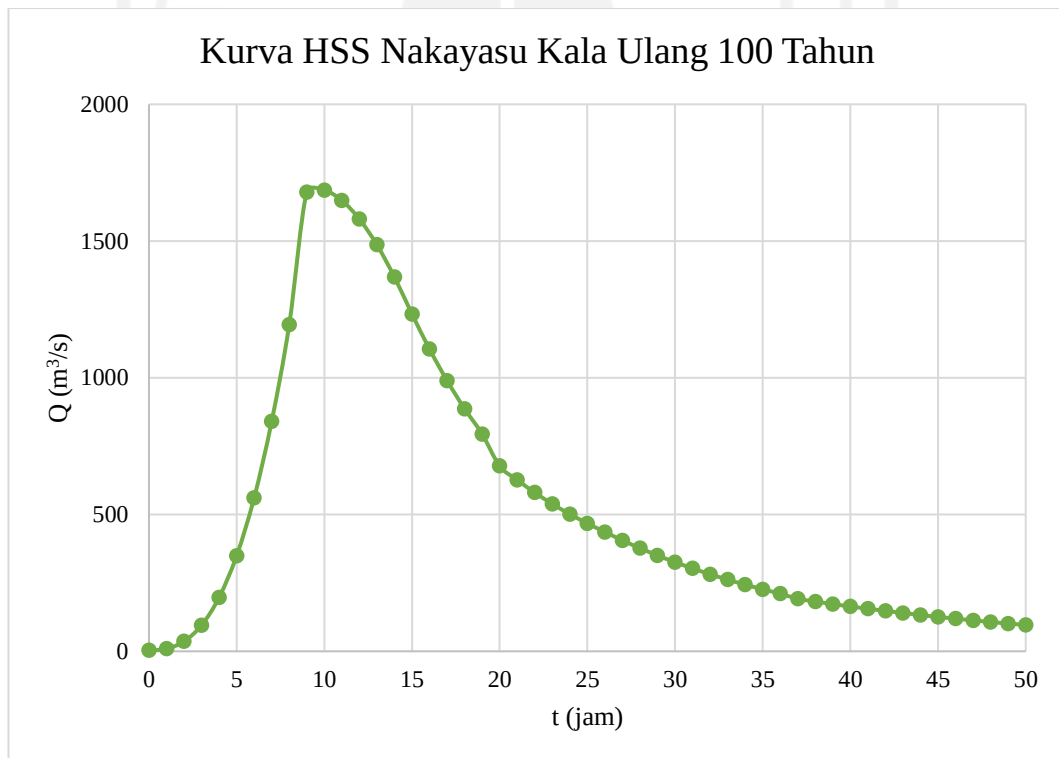
Lanjutan Tabel 5.13 Hasil Perhitungan Debit Rencana *Nakayasu* 100 Tahun

t (jam)	Q HSS (m ³ /s)	Distribusi Hujan Jam-ke (mm)							Base Flow (m ³ /s)	Debit Rencana (m ³ /s)
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7		
		29,310	7,618	5,344	4,254	3,593	3,140	2,808		
6	14,94	437,94	73,49	30,17	12,04	3,84	0,64	0,00	3,37	561,49
7	21,63	633,99	113,83	51,55	24,02	10,17	3,36	0,57	3,37	840,86
8	29,80	873,50	164,79	79,85	41,04	20,29	8,89	3,00	3,37	1194,72
9	35,66	1045,07	279,89	159,26	92,02	53,68	30,29	15,86	3,37	1679,44
10	31,93	935,89	271,64	196,33	126,79	77,71	46,92	27,09	3,37	1685,73
11	28,59	838,11	243,26	190,55	156,30	107,07	67,93	41,96	3,37	1648,54
12	25,61	750,55	217,84	170,64	151,69	131,99	93,59	60,74	3,37	1580,41
13	22,93	672,14	195,08	152,81	135,85	128,10	115,37	83,69	3,37	1486,41
14	20,54	601,91	174,70	136,85	121,65	114,72	111,97	103,17	3,37	1368,34
15	18,39	539,03	156,45	122,55	108,94	102,73	100,28	100,13	3,37	1233,47
16	16,47	482,71	140,11	109,75	97,56	92,00	89,80	89,67	3,37	1104,96
17	14,75	432,28	125,47	98,28	87,37	82,39	80,42	80,30	3,37	989,87
18	13,21	387,12	112,36	88,01	78,24	73,78	72,02	71,91	3,37	886,81
19	11,83	346,68	100,62	78,82	70,07	66,07	64,49	64,40	3,37	794,51
20	10,73	314,60	83,97	63,21	56,19	52,99	51,72	51,64	3,37	677,68
21	9,97	292,29	81,77	58,90	50,32	47,45	46,32	46,25	3,37	626,66
22	9,26	271,56	75,97	57,36	46,89	42,49	41,48	41,42	3,37	580,53
23	8,61	252,30	70,58	53,29	45,66	39,60	37,14	37,09	3,37	539,03
24	8,00	234,40	65,58	49,51	42,43	38,56	34,61	33,22	3,37	501,67
25	7,43	217,78	60,93	46,00	39,42	35,83	33,71	30,95	3,37	467,97
26	6,90	202,33	56,61	42,74	36,62	33,29	31,32	30,14	3,37	436,41
27	6,41	187,98	52,59	39,71	34,02	30,93	29,10	28,00	3,37	405,70
28	5,96	174,65	48,86	36,89	31,61	28,73	27,03	26,02	3,37	377,16
29	5,54	162,26	45,40	34,27	29,37	26,69	25,12	24,17	3,37	350,65
30	5,14	150,76	42,18	31,84	27,29	24,80	23,33	22,46	3,37	326,02
31	4,78	140,06	39,18	29,59	25,35	23,04	21,68	20,87	3,37	303,14
32	4,44	130,13	36,41	27,49	23,55	21,41	20,14	19,39	3,37	281,88
33	4,12	120,90	33,82	25,54	21,88	19,89	18,71	18,01	3,37	262,12
34	3,83	112,33	31,42	23,73	20,33	18,48	17,39	16,73	3,37	243,77
35	3,56	104,36	29,20	22,04	18,89	17,17	16,15	15,55	3,37	226,72
36	3,31	96,96	27,13	20,48	17,55	15,95	15,01	14,44	3,37	210,88
37	3,13	91,74	25,19	17,68	15,15	13,77	12,95	12,47	3,37	192,32
38	2,96	86,82	23,85	17,67	14,07	12,79	12,04	11,58	3,37	182,19
39	2,80	82,16	22,57	16,73	14,07	11,88	11,18	10,76	3,37	172,71
40	2,65	77,75	21,35	15,83	13,32	11,88	10,39	10,00	3,37	163,88
41	2,51	73,58	20,21	14,98	12,60	11,25	10,38	9,29	3,37	155,65
42	2,38	69,63	19,12	14,18	11,93	10,64	9,83	9,29	3,37	147,97
43	2,25	65,89	18,10	13,41	11,29	10,07	9,30	8,79	3,37	140,21

Lanjutan Tabel 5.13 Hasil Perhitungan Debit Rencana *Nakayasu* 100 Tahun

t (jam)	Q HSS (m ³ /s)	Distribusi Hujan Jam-ke (mm)							Base Flow (m ³ /s)	Debit Rencana (m ³ /s)
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7		
		29,310	7,618	5,344	4,254	3,593	3,140	2,808		
44	2,13	62,35	17,13	12,69	10,68	9,53	8,80	8,32	3,37	132,87
45	2,01	59,00	16,21	12,01	10,11	9,02	8,33	7,87	3,37	125,92
46	1,91	55,84	15,34	11,37	9,56	8,53	7,88	7,45	3,37	119,34
47	1,80	52,84	14,51	10,76	9,05	8,08	7,46	7,05	3,37	113,11
48	1,71	50,00	13,73	10,18	8,56	7,64	7,06	6,67	3,37	107,22
49	1,61	47,32	13,00	9,63	8,10	7,23	6,68	6,31	3,37	101,65
50	1,53	44,78	12,30	9,12	7,67	6,84	6,32	5,97	3,37	96,37

Gambar 5.2 berikut adalah kurva HSS *Nakayasu* kala ulang 100 tahun.

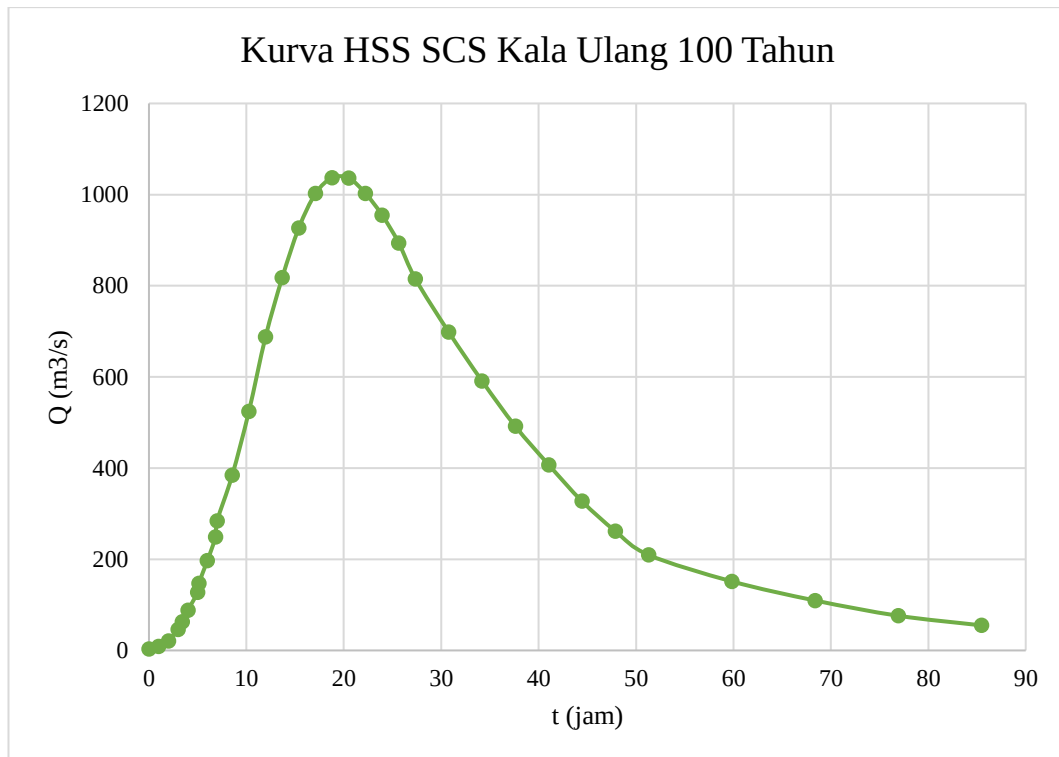
**Gambar 5. 2 Kurva HSS *Nakayasu* Kala Ulang 100 Tahun**

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 5.13 dan Gambar 5.2 didapatkan debit banjir rencana *Nakayasu* kala ulang 100 tahun sebesar 1685,73 m³/s. Tabel 5.14 berikut adalah hasil perhitungan debit banjir rencana *SCS* 100 tahun.

Tabel 5. 14 Hasil Perhitungan Debit Rencana SCS 100 Tahun

t (jam)	Q HSS (m ³ /s)	Distribusi Hujan Jam Ke- (mm)							Base Flow (m ³ /s)	Debit Rencana (m ³ /s)
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7		
		29,310	7,618	5,344	4,254	3,593	3,140	2,808		
0	0,00	0,00							3,37	3,37
1	0,20	5,81	0,00						3,37	9,18
2	0,57	16,69	1,51	0,00					3,37	21,57
3	1,36	39,94	4,34	1,06					3,37	48,70
3,42	1,70	49,69	10,38	3,04	0,00				3,37	66,48
4	2,35	68,82	12,92	7,28	0,84	0,00			3,37	93,23
5	3,47	101,76	17,89	9,06	2,42	0,71			3,37	135,21
5,13	3,62	106,01	26,45	12,55	5,80	2,05	0,00		3,37	156,21
6	5,00	146,51	27,55	18,55	7,21	4,90	0,62		3,37	208,72
6,84	6,33	185,52	38,08	19,33	9,99	6,09	1,79	0,00	3,37	264,16
7	6,65	194,89	48,22	26,71	14,77	8,44	4,28	0,56	3,37	301,23
8,55	9,72	284,90	50,66	33,82	15,39	12,47	5,32	1,60	3,37	407,53
10,26	13,56	397,53	74,05	35,53	21,27	12,99	7,37	3,83	3,37	555,95
11,97	17,41	510,17	103,33	51,95	26,93	17,96	10,90	4,76	3,37	729,36
13,68	20,12	589,67	132,60	72,48	28,29	22,74	11,36	6,59	3,37	867,10
15,39	21,93	642,68	153,27	93,02	41,35	23,89	15,70	9,75	3,37	983,02
17,10	22,61	662,55	167,05	107,51	57,70	34,92	19,88	10,16	3,37	1063,14
18,81	22,15	649,30	172,21	117,18	74,05	48,73	20,88	14,04	3,37	1099,76
20,52	20,80	609,55	168,77	120,80	85,59	62,53	30,53	17,77	3,37	1098,91
22,23	18,99	556,55	158,43	118,39	93,29	72,28	42,59	18,67	3,37	1063,56
23,94	16,95	496,92	144,66	111,14	96,17	78,78	54,66	27,30	3,37	1012,98
25,65	14,92	437,29	129,16	101,47	94,25	81,21	63,18	38,09	3,37	948,01
27,35	12,66	371,03	113,66	90,60	88,48	79,59	68,86	48,88	3,37	864,46
30,77	9,49	278,27	96,44	79,73	80,78	74,72	70,99	56,50	3,37	740,79
34,19	7,23	212,02	72,33	67,65	72,13	68,22	69,57	61,58	3,37	626,85
37,61	5,43	159,01	55,11	50,74	63,47	60,91	65,31	63,48	3,37	521,40
41,03	4,07	119,26	41,33	38,66	53,86	53,60	59,63	62,21	3,37	431,91
44,45	2,94	86,13	31,00	28,99	40,39	45,48	53,24	58,40	3,37	347,00
47,87	2,22	64,93	22,39	21,74	30,77	34,11	46,85	53,32	3,37	277,49
51,29	1,70	49,69	16,88	15,70	23,08	25,99	39,75	47,61	3,37	222,07
59,84	0,81	23,85	12,92	11,84	17,31	19,49	29,82	41,90	3,37	160,49
68,39	0,41	11,93	6,20	9,06	12,50	14,62	22,72	35,55	3,37	115,94
76,94	0,20	5,96	3,10	4,35	9,42	10,56	17,04	26,66	3,37	80,46
85,48	0,09	2,65	1,55	2,17	7,21	7,96	12,78	20,31	3,37	58,00

Gambar 5.3 berikut adalah kurva HSS SCS kala ulang 100 tahun.



Gambar 5. 3 Kurva HSS SCS Kala Ulang 100 Tahun

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 5.14 dan Gambar 5.3 didapatkan debit banjir rencana SCS kala ulang 100 tahun sebesar 1099,76 m³/s. Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan debit banjir rencana pada kala ulang yang lain. Tabel 5.15 berikut adalah hasil perhitungan debit banjir rencana kala ulang *Nakayasu* dan SCS.

Tabel 5. 15 Hasil Perhitungan Debit Rencana Nakayasu dan SCS

Kala Ulang (tahun)	Q <i>Nakayasu</i> (m ³ /s)	Q SCS (m ³ /s)
2	928,69	606,40
5	1184,89	773,36
10	1327,09	866,03
25	1486,41	969,86
50	1589,09	1036,78
100	1685,73	1099,76

5.8 Hasil Analisis Dimensi Groundsill

Berikut ini adalah langkah-langkah perhitungan analisis dimensi groundsill.

1. Dimensi Peluap

Debit desain yang digunakan untuk desain dimensi groundsill adalah debit banjir rencana kala ulang 100 tahun *Nakayasu*. Berikut ini adalah perhitungan debit desain.

$$Q_{100 \text{ tahun}} = 1685,73 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_d = (1 + \alpha) \times Q = (1 + 0,032) \times 1685,73 = 1739,68 \text{ m}^3/\text{s}$$

Lebar sungai (B), lebar atas pelimpah (B1) dan lebar dasar pelimpah (B2) didapatkan dari pengukuran langsung di lapangan dengan hasil sebagai berikut.

$$B = 82 \text{ m}$$

$$B1 = 78 \text{ m}$$

$$B2 = 78 \text{ m}$$

Kemudian dilakukan perhitungan tinggi muka air di atas groundsill (h_3) dengan cara coba-coba sampai didapatkan nilai Q sama atau mendekati nilai Q desain. Perhitungan h_3 adalah sebagai berikut.

$$Q_d = \frac{2}{15} \cdot C \cdot \sqrt{2g} \cdot (3B_1 + 2B_2) \cdot h_3^{\frac{3}{2}}$$

Jika $h_3 = 5,41$; maka

$$Q_d = \frac{2}{15} \cdot 0,6 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81} \cdot (3 \cdot 78 + 2 \cdot 78) \cdot 5,41^{\frac{3}{2}}$$

$$Q_d = 1739,68 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nilai h_3 didapatkan sebesar 5,41 m dengan tinggi jagaan (F) berdasarkan Pd T-12-2004-A untuk debit desain 500-2000 m^3/s dipilih 1,5 m.

2. Lebar Mercu Peluap (b1)

Berdasarkan Pd T-12-2004-A penentuan lebar mercu peluap (b1) diambil sebesar 2 m karena material di sekitar lokasi penelitian berupa kerikil dan batu-batu kecil.

3. Tinggi Main Dam (H)

Pada penelitian ini diambil tinggi main dam (H) setinggi 3 m sesuai dengan Pd T-12-2004-A yang menyarankan tinggi bendung < 5 m.

4. Kemiringan Bendung Bagian Hilir (n)

Perhitungan kemiringan bendung bagian hilir adalah sebagai berikut.

$$V_g = \frac{Q_d}{A} = \frac{1739,68}{5,41.78} = 4,12 \text{ m/s}$$

$$X = V_g \cdot \left(2 \cdot \frac{H}{g}\right)^{1/2} = 4,12 \cdot \left(2 \cdot \frac{3}{9,81}\right)^{1/2} = 3,22$$

$$n_{max} = \frac{X}{H} = \frac{3,22}{3} = 1,07$$

Berdasarkan hasil perhitungan diambil nilai kemiringan hilir bendung (n) senilai 0,4.

5. Kemiringan Bendung Bagian Hulu (m)

Perhitungan kemiringan hulu bendung (m) adalah sebagai berikut.

$$\alpha = \frac{h3}{H} = \frac{5,41}{3} = 1,8$$

$$\beta = \frac{b1}{H} = \frac{2}{3} = 0,67$$

$$\gamma = \frac{\gamma_c}{\gamma_w} = \frac{2,4}{1} = 2,4$$

Sehingga,

$$a = (1 + \alpha) = (1 + 1,8) = 2,8$$

$$b = 2. (n + \beta) + n. (4. \alpha + \gamma) + 2. \alpha. \beta$$

$$= 2. (0,4 + 0,67) + 0,4. (4. 1,8 + 2,4) + 2. 1,8. 0,67 = 8,39$$

$$c = -(1 + 3. \alpha) + \alpha. \beta. (4. n + \beta) + \gamma. (3. n. \beta + \beta^2 + n^2)$$

$$= -(1 + 3. 1,8) + 1,8. 0,67. (4. 0,4 + 0,67) + 2,4. (3. 0,4. 0,67 + 0,67^2 + 0,4^2) = -0,32$$

$$m = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$m = \frac{-8,39 \pm \sqrt{8,39^2 - 4. 2,8. -0,32}}{2. 2,8} = 0,29$$

Berdasarkan perhitungan di atas diambil nilai kemiringan hulu bendung (m) senilai 0,4.

6. Tebal Lantai Kolam Olak

Perhitungan tebal lantai kolam adalah sebagai berikut.

$$t = 0,1. (0,6. H_1 + 3. h_3 - 1)$$

$$t = 0,1. (0,6. (3 - t) + 3. 5,41 - 1)$$

$$t = 0,1. ((1,8 - 0,6 t) + 15,24) = 0,18 - 0,06 t + 1,52$$

$$1,06 t = 1,7$$

$$t = 1,61 m \sim 1,65 m$$

7. Panjang Lantai Kolam Olak

Perhitungan panjang kolam olak dijabarkan sebagai berikut.

$$q_0 = \frac{Q_d}{Bm} = \frac{1739,68}{78} = 22,30 m^3/s$$

$$V_0 = \frac{q_0}{h_3} = \frac{22,30}{5,41} = 4,12 m/s$$

$$H_1 = H - t = 3 - 1,65 = 1,35 \text{ m}$$

$$V_1 = \sqrt{2g(H_1 + h_3)} = \sqrt{2 \cdot 9,81(1,35 + 5,41)} = 11,51 \text{ m/s}$$

$$h_1 = \frac{q_1}{V_1} = \frac{22,30}{11,51} = 1,94 \text{ m}$$

$$Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g \cdot h_1}} = \frac{11,51}{\sqrt{9,81 \cdot 1,94}} = 2,64$$

$$h_j = \frac{h_1}{2} \left\{ \sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1 \right\} = \frac{1,94}{2} \left\{ \sqrt{1 + 8 \cdot 2,64^2} - 1 \right\} = 6,34 \text{ m}$$

$$lw = Vo. (2. (H_1 + 0,5. h_3)/g)^{1/2}$$

$$= 4,01. (2. (1,35 + 0,5. 5,41)/9,81)^{1/2} = 3,75 \text{ m}$$

$$X = \beta. h_j = 4,5. 6,34 = 28,51 \text{ m}$$

$$L = lw + X + b2 = 3,75 + 28,51 + 1,5 = 33,76 \text{ m}$$

$$L_{empiris} = 1,5. (H_1 + h_3) = 1,5. (1,35 + 5,41) = 16,83 \text{ m}$$

$L_{empiris} < L$ maka dipakai L , Maka Panjang loncatan sejauh 33,76 m.

8. Tinggi Sub Dam

Berikut ini adalah perhitungan tinggi sub dam.

$$\frac{d}{h_1} = \frac{(1 + 2Fr_1^2) \cdot (1 + 8Fr_1^2)^{\frac{1}{2}} - 5Fr_1^2 - 1}{(1 + 4Fr_1^2) - (1 + 8Fr_1^2)^{\frac{1}{2}}} - \frac{3}{2} Fr_1^{\frac{2}{3}}$$

$$\frac{d}{1,94} = \frac{(1 + 2 \cdot 2,64^2) \cdot (1 + 8 \cdot 2,64^2)^{\frac{1}{2}} - 5 \cdot 2,64^2 - 1}{(1 + 4 \cdot 2,64^2) - (1 + 8 \cdot 2,64^2)^{\frac{1}{2}}} - \frac{3}{2} \cdot 2,64^{\frac{2}{3}}$$

$$\frac{d}{1,94} = 0,73 \text{ m}$$

$$d = 1,41 \text{ m} \sim 1,5 \text{ m}$$

9. Kedalaman Pondasi

Perhitungan kedalaman pondasi dijabarkan sebagai berikut.

$$h_p = \frac{1}{3}(h_3 + H) = \frac{1}{3}(5,41 + 3) = 2,8 \text{ m}$$

$$h_p \text{ pakai} = 2,8 \text{ m}$$

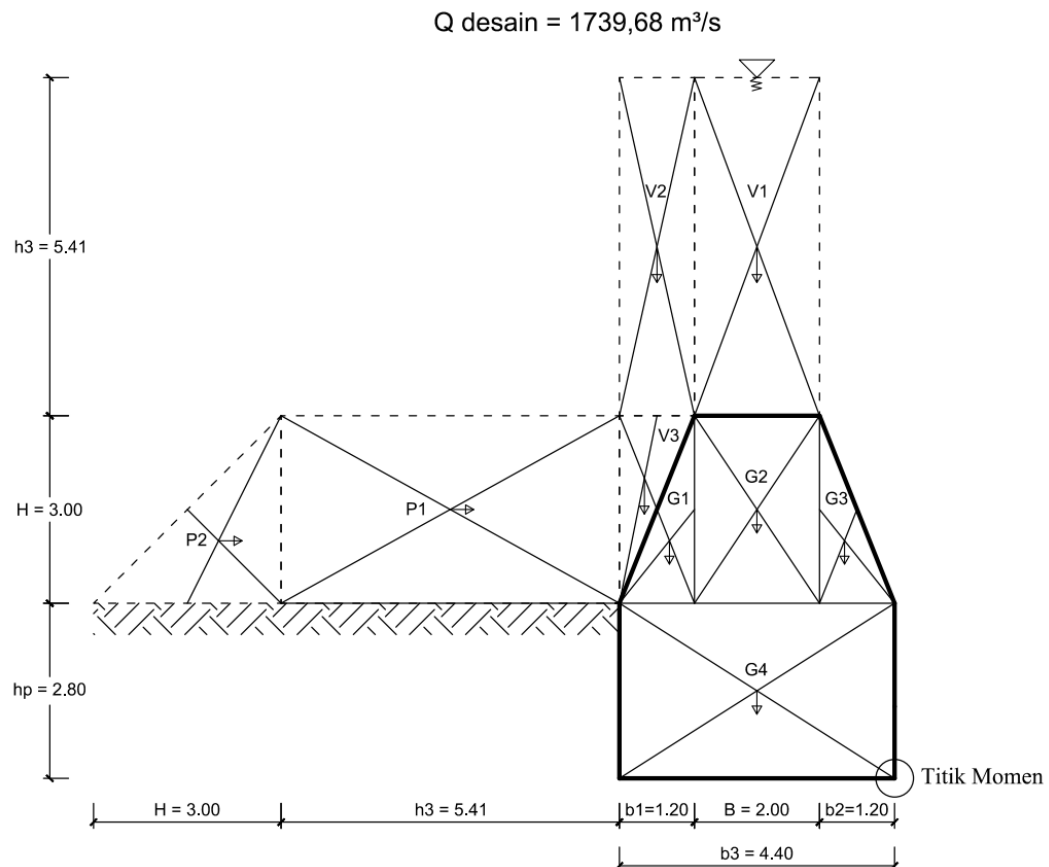
Penggambaran dimensi groundsill dari hasil perhitungan dapat dilihat di Lampiran 6.

5.9 Hasil Analisis Gaya Pada Groundsill

Berikut ini adalah langkah-langkah analisis gaya pada groundsill.

1. Penggambaran Gaya Pada Groundsill

Gambar 5.4 berikut adalah penggambaran gaya yang bekerja dan titik berat pada groundsill.



Gambar 5. 4 Gaya dan Titik Berat Pada Groundsill

Keterangan:

----- = Gaya terhadap groundsill

→ = Arah gaya

 = Dasar Sungai

G1;G2;G3 = Berat groundsill sendiri

V1;V2;V3 = Tekanan air statik vertikal

P1;P2 = Tekanan air statik horizontal

H = Tinggi bendung

h3 = Tinggi air di atas mercu groundsill

hp = Kedalaman pondasi

b1;b2;b3 = Lebar mercu groundsill

2. Perhitungan Gaya Akibat Berat Bangunan Sendiri

Suatu bangunan yang telah direncanakan memiliki gaya-gaya yang bekerja akibat massa atau beban dari bangunan itu sendiri, dimana gaya tersebut bekerja tegak lurus terhadap bendung. Perhitungan gaya akibat berat bangunan sendiri (G) dijabarkan sebagai berikut.

$$G1 = 0,5 \cdot H \cdot b1 \cdot \gamma c = 0,5 \cdot 3 \cdot 1,2 \cdot 2,4 = 4,32 \text{ t}$$

$$G2 = H \cdot B \cdot \gamma c = 3 \cdot 2 \cdot 2,4 = 14,40 \text{ t}$$

$$G3 = 0,5 \cdot H \cdot b2 \cdot \gamma c = 0,5 \cdot 3 \cdot 1,2 \cdot 2,4 = 4,32 \text{ t}$$

$$G4 = hp \cdot b3 \cdot \gamma c = 2,8 \cdot 4,4 \cdot 2,4 = 29,57 \text{ t}$$

$$\Sigma G = G1 + G2 + G3 + G4 = 52,61 \text{ t}$$

3. Perhitungan Gaya Akibat Tekanan Air

Kedalaman permukaan air menyebabkan timbulnya tekanan pada tubuh bendung. Kejadian ini disebut dengan tekanan hidrostatik. Tekanan air dapat dibedakan menjadi 2 yaitu tekanan vertikal (V) dan tekanan horizontal (P). Perhitungan gaya akibat tekanan air vertikal dan horizontal adalah sebagai berikut.

$$V1 = h3.B.\gamma_w = 5,41.2.1 = 10,83 \text{ t}$$

$$V2 = h3.b1.\gamma_w = 5,41.1,2.1 = 6,50 \text{ t}$$

$$V3 = 0,5.H.b1.\gamma_w = 0,5.3.1,2.1 = 3,6 \text{ t}$$

$$\Sigma V = V1 + V2 + V3 = 20,92 \text{ t}$$

$$P1 = h3.H.\gamma_w = 5,41.3.1 = 16,24 \text{ t}$$

$$P2 = 0,5.H.H.\gamma_w = 0,5.3.3.1 = 4,5 \text{ t}$$

$$\Sigma P = P1 + P2 = 20,74 \text{ t}$$

5.10 Hasil Analisis Stabilitas Groundsill

1. Stabilitas Terhadap Geser

Berikut adalah hasil perhitungan faktor keamanan terhadap geser.

$$\text{Gaya menahan } (Fv) = \Sigma G + \Sigma V = 52,61 + 20,92 = 73,53 \text{ t}$$

$$\text{Gaya menggeser } (Fh) = \Sigma P = 20,74 \text{ t}$$

$$\text{Koefisien geser } (f) = 0,6$$

$$SF_{geser} = \frac{f.Fv}{Fh} = \frac{0,6.73,53}{20,74} = 2,13$$

$$SF_{geser} = 2,13 > 1,2$$

Berdasarkan perhitungan, dapat disimpulkan bahwa groundsill aman terhadap bahaya geser.

2. Stabilitas Terhadap Guling

Sebelum analisis stabilitas guling, dilakukan perhitungan lengan momen pada seluruh gaya yang bekerja pada groundsill. Berdasarkan Gambar 5.5, berikut ini adalah perhitungan panjang lengan momen gaya.

Panjang Lengan Gaya Berat Bangunan Sendiri (LG)

$$LG1 = \left(\frac{1}{3}.b1\right) + B + b2 = \left(\frac{1}{3}.1,2\right) + 2 + 1,2 = 3,6 \text{ m}$$

$$LG2 = \left(\frac{1}{2} \cdot B\right) + b2 = \left(\frac{1}{2} \cdot 2\right) + 1,2 = 2,2 \text{ m}$$

$$LG3 = \left(\frac{2}{3} \cdot b2\right) = \left(\frac{2}{3} \cdot 1,2\right) = 0,8 \text{ m}$$

$$LG4 = \left(\frac{1}{2} \cdot b3\right) = \left(\frac{1}{2} \cdot 4,4\right) = 2,2 \text{ m}$$

Panjang Lengan Gaya Tekanan Air Vertikal (LV)

$$LV1 = \left(\frac{1}{2} \cdot B\right) + b2 = \left(\frac{1}{2} \cdot 2\right) + 1,2 = 2,2 \text{ m}$$

$$LV2 = \left(\frac{1}{2} \cdot b1\right) + B + b2 = \left(\frac{1}{2} \cdot 1,2\right) + 2 + 1,2 = 3,8 \text{ m}$$

$$LV3 = \left(\frac{2}{3} \cdot b1\right) + B + b2 = \left(\frac{2}{3} \cdot 1,2\right) + 2 + 1,2 = 4 \text{ m}$$

Panjang Lengan Gaya Tekanan Air Horizontal (LP)

$$LP1 = \left(\frac{1}{2} \cdot H\right) + hp = \left(\frac{1}{2} \cdot 3\right) + 2,8 = 4,3 \text{ m}$$

$$LP2 = \left(\frac{1}{3} \cdot H\right) + hp = \left(\frac{1}{3} \cdot 3\right) + 2,8 = 3,8 \text{ m}$$

Setelah perhitungan panjang lengan seluruh gaya, dilanjutkan menghitung momen menahan (MV) dan momen pengguling (MH). Berikut ini adalah salah satu contoh perhitungan momen gaya.

$$M G1 = LG1 \times G1 = 3,6 \times 4,32 = 15,55 \text{ tm}$$

$$M P1 = LP1 \times P1 = 4,3 \times 16,24 = 19,35 \text{ tm}$$

Tabel 5.16 dan Tabel 5.17 berikut adalah rekapitulasi hasil perhitungan lengan gaya dan momen menahan dan pengguling.

Tabel 5. 16 Hasil Perhitungan Momen Penahan

Gaya Menahan	Panjang Lengan (m)	Nilai Gaya (t)	Momen (tm)
G1	3,60	4,32	15,55
G2	2,20	14,40	31,68
G3	0,80	4,32	3,46
G4	2,2	29,57	65,05
V1	2,20	10,83	23,82

Lanjutan Tabel 5.16 Hasil Perhitungan Momen Penahan

Gaya Menahan	Panjang Lengan (m)	Nilai Gaya (t)	Momen (tm)
V2	3,80	6,50	24,68
V3	4,00	3,60	14,40
Total		73,53	178,64

Tabel 5. 17 Hasil Perhitungan Momen Pengguling

Gaya Pengguling	Panjang Lengan (m)	Nilai Gaya (t)	Momen (tm)
P1	4,3	16,24	69,83
P2	3,8	4,5	17,10
Total		20,74	86,93

Perhitungan faktor keamanan terhadap guling adalah sebagai berikut.

$$SF_{guling} = \frac{\Sigma M_V}{\Sigma M_H} > 1,2$$

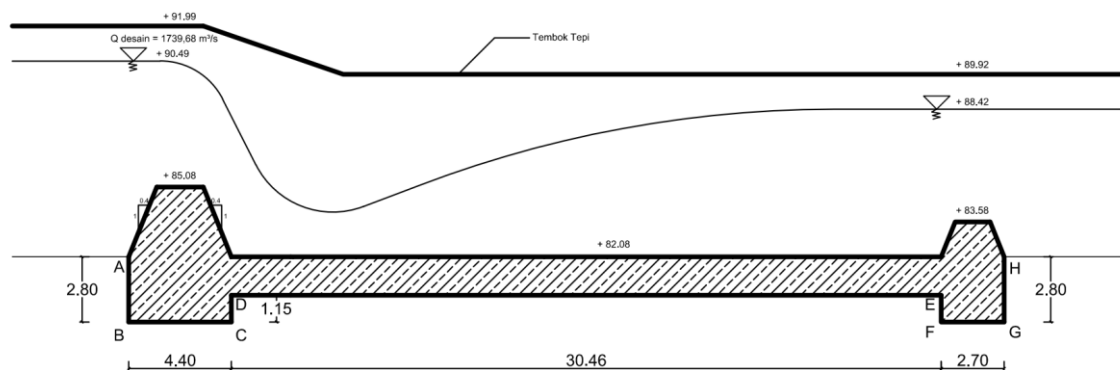
$$SF_{guling} = \frac{\Sigma M_V}{\Sigma M_H} = \frac{178,64}{86,93} = 2,05$$

$$SF_{guling} = 2,05 > 1,2$$

Berdasarkan perhitungan, maka dapat disimpulkan bahwa groundsill aman terhadap bahaya guling.

3. Stabilitas Terhadap Rembesan

Gambar 5.5 berikut adalah panjang creep line groundsill.

**Gambar 5. 5 Panjang Creep Line Groundsill**

Tabel 5.18 berikut adalah hasil perhitungan creep line pada groundsill.

Tabel 5. 18 Hasil Perhitungan Creep Line

Line	Panjang rembesan		
	LV	LH	LH/3
A-B	2,8		
B-C		4,4	1,47
C-D	1,15		
D-E		30,46	10,15
E-F	1,15		
F-G		2,7	0,9
G-H	2,8		
Jumlah	7,9		12,52

Perhitungan angka rembesan pada groundsill adalah sebagai berikut.

$$\Delta H = h_3 + H - h_j = 5,41 + 3 - 6,34 = 2,08 \text{ m}$$

$$CL = (\Sigma LV + \Sigma LH/3)/\Delta H > 2,5$$

$$CL = (7,9 + 12,52)/2,08 = 9,83$$

Harga minimum dipilih 2,5 berdasarkan material disekitar berupa batu kecil. Karena angka rembesan lebih besar dari harga minimum maka groundsill aman terhadap bahaya rembesan.

5.11 Hasil Analisis Profil Muka Air dan Kecepatan Aliran

Berikut adalah hasil analisis profil muka air dan kecepatan aliran yang telah dijabarkan langkah-langkahnya di BAB III.

1. Output HEC-RAS

Gambar 5.6 berikut adalah output HEC-RAS tanpa struktur groundsill.

HEC-RAS Plan: 1d_analysis steady River: Kali Progo Reach: Reach 1 Profile: Q Desain												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Reach 1	14	Q Desain	1739.68	80.10	92.84	83.76	92.90	0.000033	1.21	1731.96	167.68	0.11
Reach 1	13	Q Desain	1739.68	81.31	92.80		92.89	0.000068	1.29	1342.44	140.93	0.15
Reach 1	12	Q Desain	1739.68	77.92	92.84		92.87	0.000015	0.88	2452.89	200.00	0.08
Reach 1	11	Q Desain	1739.68	77.13	92.79		92.86	0.000034	1.24	1673.40	178.20	0.11
Reach 1	10	Q Desain	1739.68	86.20	91.10	91.10	92.68	0.005650	5.57	311.83	99.29	1.11
Reach 1	9	Q Desain	1739.68	81.34	89.12	84.42	89.26	0.000153	1.61	1086.31	160.80	0.21
Reach 1	8	Q Desain	1739.68	80.53	89.04		89.22	0.000197	2.00	989.88	174.56	0.25
Reach 1	7	Q Desain	1739.68	79.44	88.86		89.16	0.000313	2.45	762.62	153.02	0.31
Reach 1	6	Q Desain	1739.68	79.93	88.67		89.07	0.000461	2.96	654.59	117.03	0.37
Reach 1	5	Q Desain	1739.68	82.08	88.32		88.92	0.000932	3.56	537.97	135.87	0.51
Reach 1	4	Q Desain	1739.68	81.09	87.73		88.65	0.001545	4.53	430.41	101.25	0.65
Reach 1	3	Q Desain	1739.68	71.42	88.32		88.38	0.000026	1.10	1723.25	136.05	0.10
Reach 1	2	Q Desain	1739.68	74.30	88.22		88.36	0.000119	1.63	1061.04	112.59	0.19
Reach 1	1	Q Desain	1739.68	82.42	86.53	86.53	88.14	0.005067	4.87	311.99	96.46	1.04

Gambar 5. 6 Output HEC-RAS Tanpa Struktur Groundsill

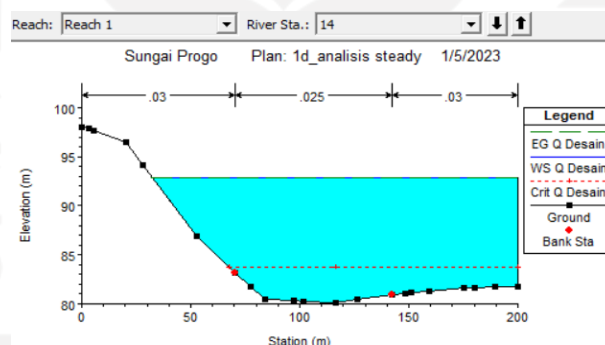
Gambar 5.7 berikut adalah *output* HEC-RAS dengan struktur groundsill.

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 Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Reach 1	14	Q Desain	1739.68	80.10	92.84	83.76	92.90	0.000033	1.21	1731.96	167.68	0.11
Reach 1	13	Q Desain	1739.68	81.31	92.80		92.89	0.000068	1.29	1342.44	140.93	0.15
Reach 1	12	Q Desain	1739.68	77.92	92.84		92.87	0.000015	0.88	2452.89	200.00	0.08
Reach 1	11	Q Desain	1739.68	77.13	92.79		92.86	0.000034	1.24	1673.40	178.20	0.11
Reach 1	10	Q Desain	1739.68	86.20	91.10	91.10	92.68	0.005650	5.57	311.83	99.29	1.11
Reach 1	9	Q Desain	1739.68	81.34	91.08	84.42	91.16	0.000067	1.29	1408.67	168.77	0.15
Reach 1	8	Q Desain	1739.68	80.53	91.05		91.14	0.000078	1.50	1357.63	191.44	0.16
Reach 1	7	Q Desain	1739.68	79.44	90.97		91.12	0.000111	1.76	1119.56	184.49	0.19
Reach 1	6	Q Desain	1739.68	79.93	90.88		91.09	0.000167	2.15	940.11	142.23	0.23
Reach 1	5	Q Desain	1739.68	82.08	90.83	86.66	91.05	0.000204	2.18	913.07	155.02	0.25
Reach 1	4.5	Inl Struct										
Reach 1	4	Q Desain	1739.68	81.09	87.73		88.65	0.001545	4.53	430.41	101.25	0.65
Reach 1	3	Q Desain	1739.68	71.42	88.32		88.38	0.000026	1.10	1723.25	136.05	0.10
Reach 1	2	Q Desain	1739.68	74.30	88.22		88.36	0.000119	1.63	1061.04	112.59	0.19
Reach 1	1	Q Desain	1739.68	82.42	86.53	86.53	88.14	0.005067	4.87	311.99	96.46	1.04

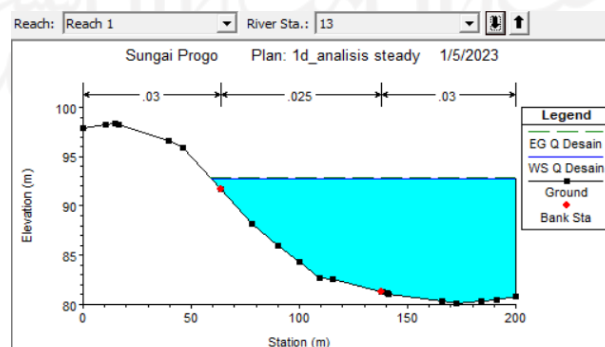
Gambar 5. 7 Output HEC-RAS Dengan Struktur Groundsill

2. Cross Section dan Profil Muka Air

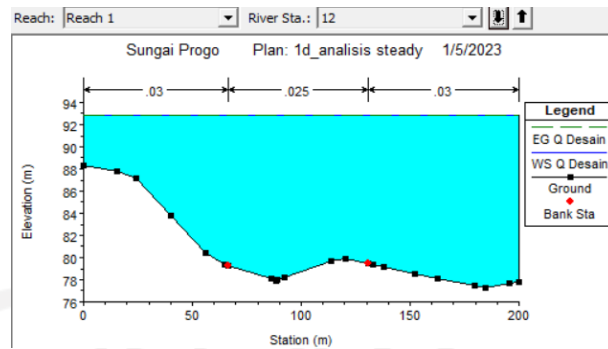
Terdapat 14 *cross sections* dengan lebar 200 meter dan jarak antar *cross* 200 meter pada sungai yang ditinjau. *Cross section* 14 adalah bagian hulu dan *cross section* 1 adalah bagian hilir. Gambar-gambar berikut adalah *cross section* sungai yang ditinjau dan profil muka airnya.



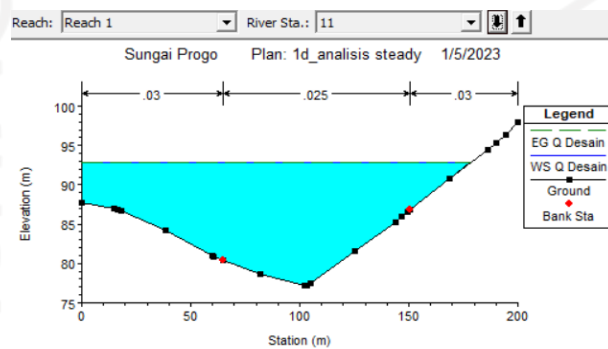
Gambar 5. 8 Cross Section 14



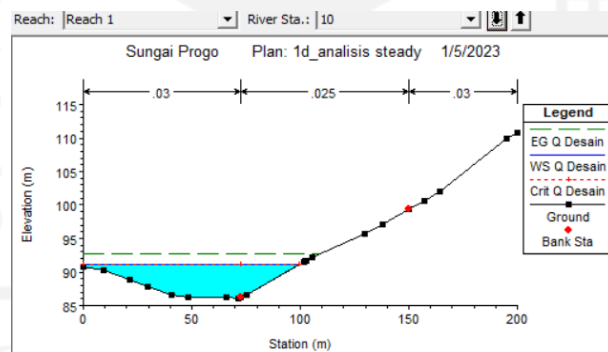
Gambar 5. 9 Cross Section 13



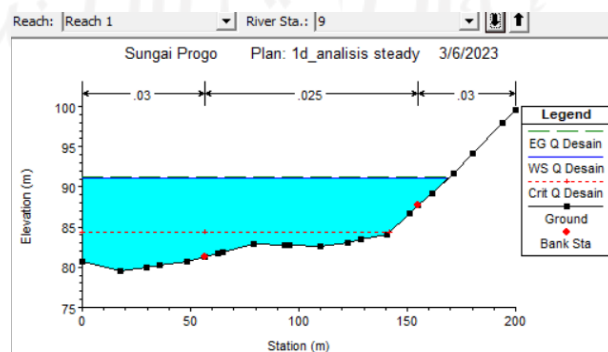
Gambar 5. 10 Cross Section 12



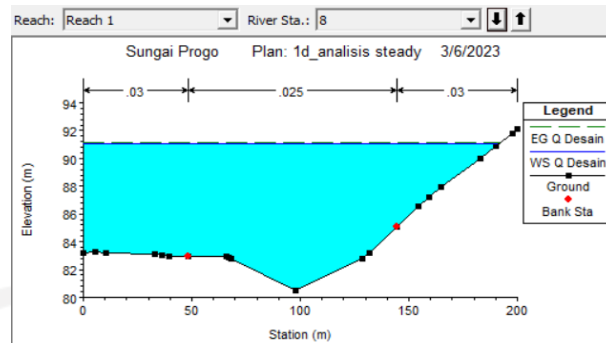
Gambar 5. 11 Cross Section 11



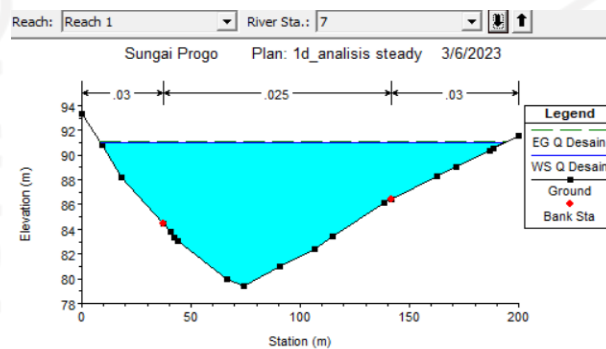
Gambar 5. 12 Cross Section 10



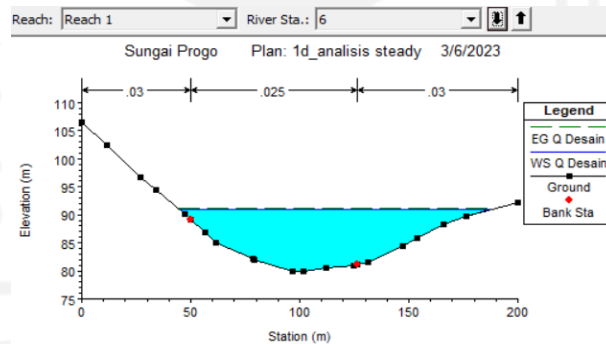
Gambar 5. 13 Cross Section 9



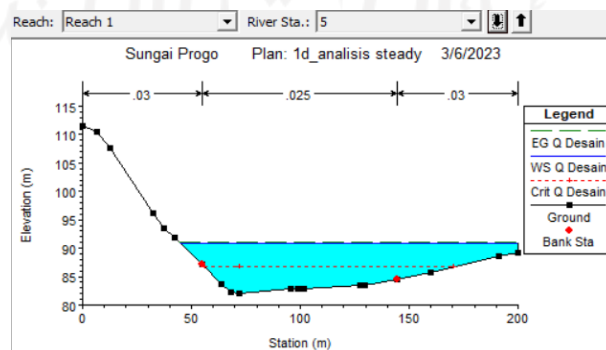
Gambar 5. 14 Cross Section 8



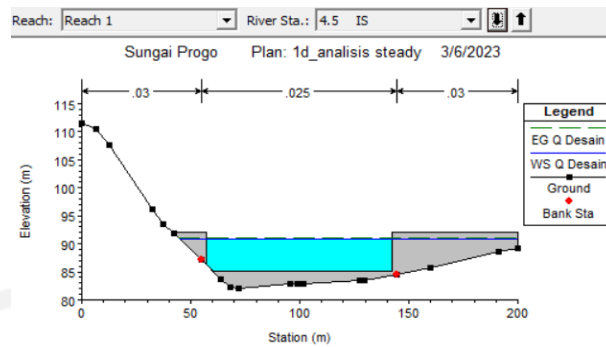
Gambar 5. 15 Cross Section 7



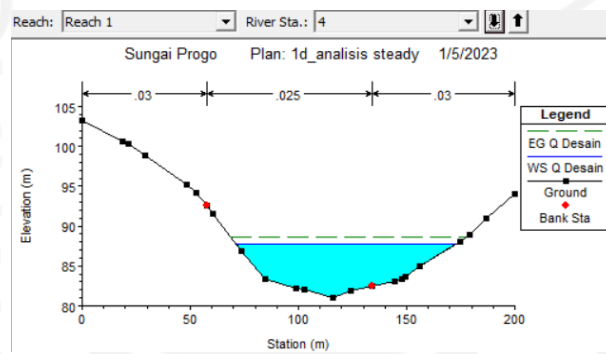
Gambar 5. 16 Cross Section 6



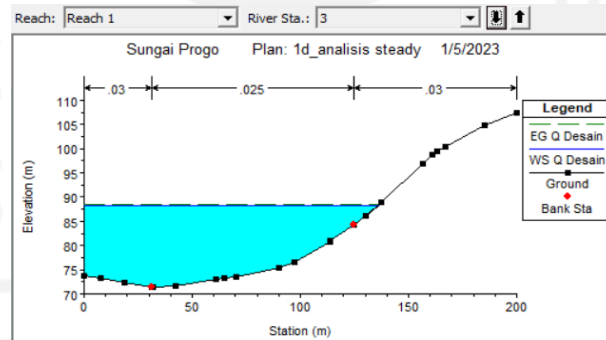
Gambar 5. 17 Cross Section 5



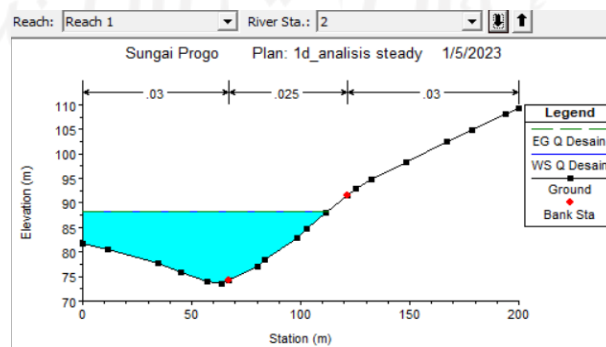
Gambar 5. 18 Cross Section 4.5



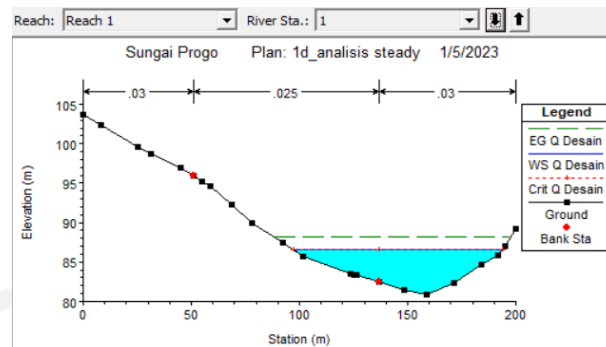
Gambar 5. 19 Cross Section 4



Gambar 5. 20 Cross Section 3



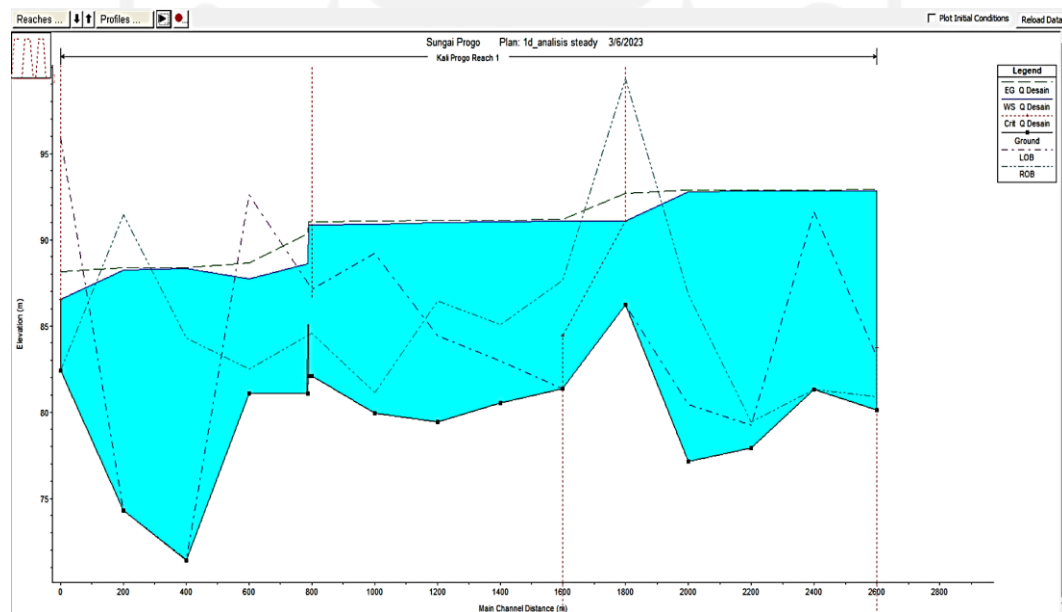
Gambar 5. 21 Cross Section 2



Gambar 5. 22 Cross Section 1

3. Long Section dan Profil Muka Air

Gambar 5.23 berikut adalah *long section* sungai yang ditinjau dan profil muka airnya.



Gambar 5. 23 Long Section

4. Hasil Analisis

Berdasarkan output HEC-RAS pada Gambar 5.8 dan Gambar 5.9 terdapat perubahan pada elevasi muka air (Elv) dan kecepatan aliran (Vel) setelah ada groundsill. Tabel 5.19 berikut adalah rekapitulasi perubahan elevasi muka air dan kecepatan aliran sungai.

Tabel 5. 19 Perubahan Profil Muka Air dan Kecepatan Aliran

Cross Section	Tanpa Groundsill		Dengan Groundsill		Selisih		Persentase	
	Elv (m)	Vel (m/s)	Elv (m)	Vel (m/s)	Elv (m)	Vel (m/s)	Elv (%)	Vel (%)
9	89,12	1,61	91,08	1,29	1,96	0,32	2,2	19,98
8	89,04	2	91,05	1,5	2,01	0,5	2,26	25
7	88,86	2,45	90,97	1,76	2,11	0,69	2,37	28,16
6	88,67	2,96	90,88	2,15	2,21	0,81	2,49	27,36
5	88,32	3,56	90,83	2,18	2,51	1,38	2,84	38,76
Rata-rata Perubahan					2,16	0,74	2,43	27,83

Berdasarkan Tabel 5.19 *cross section* 5, 6, 7, 8, dan 9 yang berada di bagian hulu groundsill mengalami kenaikan elevasi muka air dengan selisih rata-rata sebesar 2,16 m dan persentase rata-rata sebesar 2,43 %. Kemudian terjadi penurunan kecepatan aliran dengan selisih rata-rata sebesar 0,74 m/s dan persentase rata-rata 27,83 %.

5.12 Pembahasan

Debit banjir rencana yang dipilih adalah debit banjir metode *Nakayasu* karena memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan metode *SCS*. Sebelumnya hasil perhitungan debit rencana metode *Nakayasu* kala ulang 100 tahun adalah 3590,502 m³/s. Angka tersebut dinilai terlalu besar karena menurut Istiarto (2011) dalam artikelnya menyatakan bahwa bangunan groundsill di Sungai Progo yang letaknya dihilir Jembatan Kebon Agung II yaitu Groundsill Kebon Agung dan Groundsill Srandakan didesain dengan debit rencana 50 tahun sebesar 1800 m³/s dan 2680 m³/s. Besarnya debit rencana dengan metode HSS sangat dipengaruhi oleh karakteristik DAS. Oleh karena itu perlu dilakukan koreksi debit rencana dengan dengan faktor koefisien pengaliran. Besarnya faktor koefisien pengaliran dipengaruhi oleh kondisi topografi DAS yang ditinjau.

Konsentrasi sedimen yang digunakan dalam perhitungan debit desain adalah hasil penelitian yang dilakukan di DAS Opak dengan asumsi bahwa sungai Opak dan Progo memiliki karakteristik yang sama karena memiliki hulu yang sama yaitu Gunung Merapi. Penampang groundsill didesain dengan bentuk persegi

panjang karena memiliki nilai ekonomis yang lebih murah dibandingkan dengan bentuk penampang yang lain.

Jenis aliran yang dianalisis berupa aliran tidak seragam karena memiliki kedalaman dan kecepatan aliran di sepanjang saluran yang tidak konstan. Meskipun aliran banjir di sungai merupakan aliran tidak mantap (*unsteady flow*), tetapi dalam analisis profil muka air di sepanjang saluran berdasarkan aliran mantap (*steady flow*) dengan menggunakan debit puncak dari hidrograf banjir. Debit yang diperhitungkan sebenarnya adalah debit puncak yang terjadi sesaat, tetapi dianggap terjadi dalam waktu yang lama sehingga analisis aliran menjadi lebih mudah dan hasil perhitungan dimensi groundsill dan stabilitas akan lebih aman.

Dari hasil perhitungan didapatkan angka keamanan geser sebesar 2,13; angka keamanan guling sebesar 2,05; dan angka rembesan sebesar 9,38. Groundsill yang didesain aman terhadap bahaya geser dan guling karena hasil perhitungan angka keamanan lebih besar dari faktor keamanan (*safety factor*) yang telah ditetapkan di Pd-T-12-2004-A yaitu 1,2. Groundsill juga aman terhadap bahaya rembesan karena hasil perhitungan nilai angka rembesan lebih besar dari harga minimum angka rembesan yang ditetapkan di KP-06 yaitu 2,5.

Berdasarkan hasil analisis profil muka air pada Gambar 5.20 desain penampang groundsill hasil perhitungan lebih tinggi daripada profil muka air pada HEC-RAS dengan jarak antara muka air dan tinggi jagaan setinggi 1,16 m sehingga groundsill aman terhadap banjir. Kemudian berdasarkan Tabel 5.19 terdapat kenaikan muka air dengan selisih rata-rata sebesar 2,16 m dan persentase rata-rata sebesar 2,43 % serta penurunan kecepatan dengan selisih rata-rata rata sebesar 0,74 m/s dan persentase rata-rata 27,83 % setelah ada groundsill. Hal tersebut terjadi karena di ujung saluran terdapat bendung sehingga terjadi kenaikan profil muka air dan penurunan kecepatan aliran.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dijabarkan pada BAB V, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Debit banjir rencana *Nakayasu* periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun pada DAS Progo berturut-turut adalah 928,69 m³/s; 1184,89 m³/s; 1327,09 m³/s; 1486,09 m³/s; 1589,09 m³/s; dan 1685,73 m³/s;
2. Dimensi groundsill di hilir Jembatan Kebon Agung II direncanakan menggunakan debit banjir rencana *Nakayasu* kala ulang 100 tahun. Dimensi bangunan yang didesain antara lain, debit desain 1739,68 m³/s, lebar pelimpah 78 m; lebar mercu pelimpah 2 m; tinggi main dam 3 m; kemiringan hilir 0,4; kemiringan hulu 0,4; tebal kolam olak 1,65 m; panjang kolam olak 33,76 m; tinggi sub dam 1,5 m; dan kedalaman pondasi 2,8 m.
3. Bangunan groundsill yang telah didesain aman terhadap bahaya geser dengan SF 2,13 > 1,2; bahaya guling dengan SF 2,05 > 1,2; dan rembesan (*piping*) dengan CL 9,83 > 2,5. Penampang groundsill yang didesain aman terhadap banjir dengan jarak antara muka air banjir dan jagaan setinggi 1,16 m. Setelah ada groundsill terdapat kenaikan muka air sebesar 2,43 % dan penurunan kecepatan aliran sebesar 27,83 %.

6.2 Saran

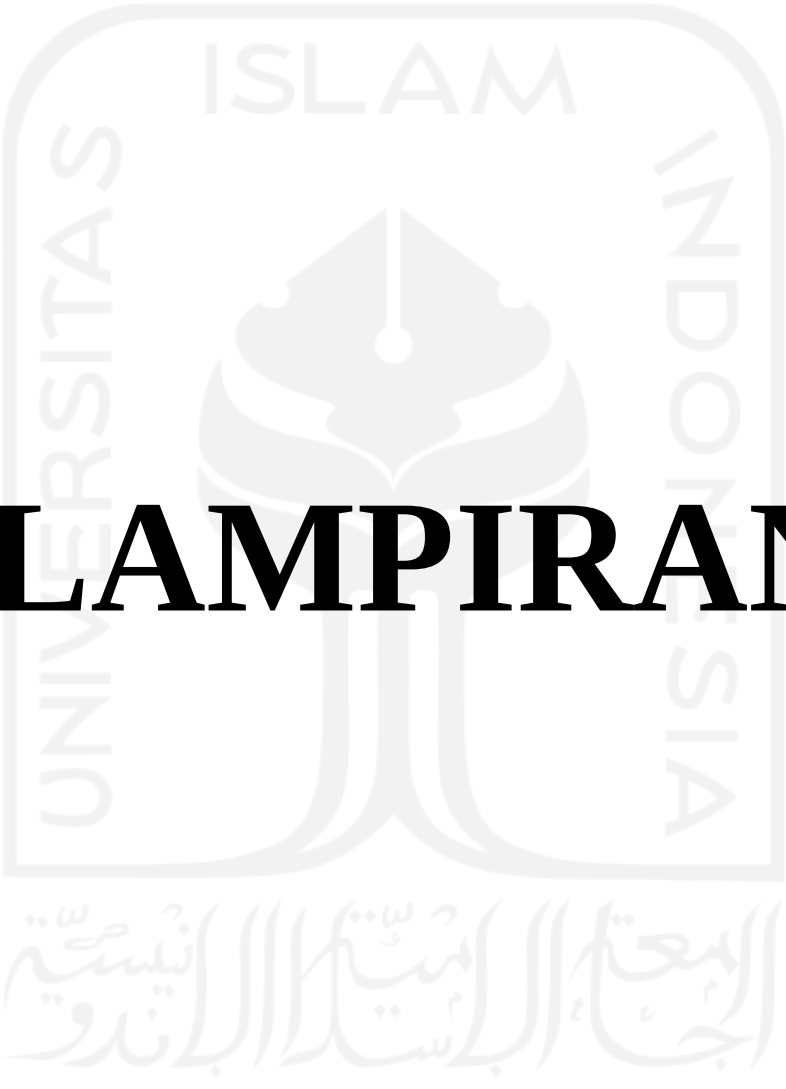
Adapun saran untuk penelitian adalah sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan analisis hidrologi dengan jenis data yang berbeda, yaitu data debit di sekitar lokasi penelitian untuk mendapatkan debit rencana yang mendekati kondisi sebenarnya di lapangan.
2. Perlu dilakukan pengukuran langsung beberapa *cross section* di bagian hulu dan hilir Jembatan Kebon Agung II untuk mendapatkan elevasi dasar sungai yang sebenarnya.
3. Perlunya analisis dimensi groundsill secara matang yang aman terhadap bahaya guling, geser, dan rembesan, sehingga tidak terjadi pemborosan.
4. Perencanaan tanggul perlu dilakukan di bagian hulu yang mengalami peningkatan elevasi muka air setelah adanya bangunan groundsill.
5. Perlu dilakukan penelitian berat jenis sedimen di sekitar lokasi penelitian untuk tambahan analisis stabilitas groundsill.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C. 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2015. *Desain Bangunan Pengendali Sedimen*. SNI 2851:2015. Badan Standardisasi Nasional.
- Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah. 2004. *Perencanaan Teknis Bendung Pengendali Dasar Sungai*. Pd T-12-2004-A. Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah.
- Direktorat Jendral Sumber Daya Air, 2013. *Standar Perencanaan Irigasi*. KP-06. Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat.
- Gustoro, D. 2018. *Analisis Pola Distribusi Hujan Jam-Jaman Di Daerah Aliran Sungai Progo*. Naskah Publikasi. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Hanif, M.R. 2023. *Analisis Kapasitas Tampung Sabo Dam GE-C13 Kali Gendol*. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia.
- Istiarto, 2011. *Jembatan Kebon Agung, Sleman, Yogyakarta*. <https://istiarto.staff.ugm.ac.id/index.php/2011/05/jembatan-kebonagung-sleman-yogyakarta/>.
- Istiarto, 2011. *Jembatan Srandakan, Kulon Progo, Yogyakarta*. <https://istiarto.staff.ugm.ac.id/index.php/2011/05/jembatan-srandakan-kulonprogo-yogyakarta/>.
- Istiarto, 2011. *Problematika Jembatan Sungai*. <https://istiarto.staff.ugm.ac.id/index.php/2011/05/jembatan-srandakan-kulonprogo-yogyakarta/>.
- Jarwoto dan Hakim, E.A. 2021. *Analisa Desain Bangunan Pengendali Sedimen Jembatan Plapar, Slahung, Ponorogo*. Seminar Keinsinyuran 2021. Malang.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2018. *Modul Pelatihan Perencanaan Bangunan Sabo*. Modul 5. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Maulana, N.K. 2020. *Dimensi Groundsill Pada Hilir Jembatan Tinjomoyo Semarang*. Skripsi. Universitas Negeri Semarang. Semarang.

- Nugraha, A.S. 2019. Analisis Debit Banjir Rencana Bendung Kamijoro Dengan Metode Nakayasu. Tugas Akhir. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.
- Pangestu, A.D. 2018. Studi Gerusan Di Hilir Bendung Kolam Olak Tipe Vlughter Dengan Perlindungan *Groundsill*. *Jurnal Teknisia*. Vol.XXIII No.1:463-473. Yogyakarta.
- Ragilia, P.S. dan Susarman. 2021. Efektifitas Struktur *Groundsill* Dalam Mengurangi Gerusan Di Dasar Sungai: Kajian Literatur. *Jurnal of Infrastructure in Civil Engineering (JICE)*. Vol.02 No.01:8-15. Bandar Lampung.
- Rahardian, H. 2017. Perencanaan *Groundsill* Di Sungai Galeh Kabupaten Temanggung. Tugas Akhir. Universitas Semarang. Semarang.
- Sarsin. 2012. Kontrol Stabilitas *Groundsill* Bantar Di Kali Progo Kabupaten Bantul. Tugas Akhir. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Sriyono, E. 2016. Analisis Debit Banjir Rancangan Bangunan Penampung Air Kayangan Untuk Suplesi Kebutuhan Air Bandara Kulon Progo DIY. Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2016 Fakultas Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta. Yogyakarta.
- Sugito. 2015. Perencanaan Check DAM Way Rarem Di Kabupaten Lampung Utara. *Jurnal Teknik Sipil UBL*. Vol.6 No.2:795-817. Lampung.
- Sumarno, W. 2016. Evaluasi Bangunan Pengendali Sedimen Pada Sungai Ciliung Dengan Dua Alternatif Debit Banjir. *Jurnal Media Teknologi*. Vol.03 No.1:1-12. Ciamis.
- Suma, M.S. 2018. Analisis Gerusan Lokal Pada Pilar Jembatan Kuwil Kabupaten Minahasa Utara Menggunakan Metode Empiris. *Jurnal Sipil Statik*. Vol.6 No.11:1017-1028. Manado.
- Suripin. 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Andi Offset. Yogyakarta.
- Triatmodjo, B. 1993. *Hidraulika II*. Cetakan Keduabelas. Beta Offset. Yogyakarta.
- Triatmodjo, B. 2008. *Hidrologi Terapan*. Cetakan Keenam. Beta Offset. Yogyakarta.



LAMPIRAN

ISLAM

	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
0	0	0	0	0	35
0	0	0	0	0	15
20	0	0	0	0	0
46	0	0	0	0	40
16	0	0	0	0	10
0	0	0		0	0
0	0	0	0	0	20
0	0	0	0	0	30
0	0	0	0	0	5
0	0	0	0	0	6
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	40
29	0	0	0	0	15
0	0	0	0	0	20
13	0	0	0	0	5
0	0	0	0	0	30
0	0	0	0	0	18
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	10	0
0	0	0	0	30	35
0	0	0	0	20	0
0	0	0	0	0	10
0	0	0	0	30	0
0	0	0	0	0	15
0	0	0	0	40	30
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	10	30
0	0	0	0	30	12
0	0	0	0	10	10
0	0	0	0	40	0
0	0		0		0

Nama Stasiun	Caturanom	Elevasi	+ m
No Stasiun		Tipe alat	manual
No In Database	-7.29320792	Pemilik	
Lintang Selatan	110.0830839	Operator	
Bujur Timur			
Tahun	2005		

Tanggal	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei
1	30	0	39	14	4
2	10	10	12	12	0
3	20	0	13	10	0
4	0	0	0	11	0
5	0	0	15	6	0
6	70	0	25	0	0
7	70	0	20	10	0
8	0	22	15	5	0
9	0	15	0	7	0
10	0	20	0	0	19
11	0	0	0	0	0
12	0	19	30	12	20
13	0	21	42	13	0
14	0	60	22	10	0
15	0	0	0	0	67
16	10	0	0	0	0
17	7	0	0	10	0
18	40	0	0	50	0
19	24	9	0	0	0
20	0	0	0	0	0
21	30	0	0	0	0
22	0	10	0	0	7
23	0	20	0	0	0
24	0	0	10	0	0
25	3	0	0	2	0
26	0	15	0	15	0
27	8	20	0	0	0
28	20	0	40	2	0
29	0		21	0	4
30	0		5	4	0
31	0		9		20

Bulan						
Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	5	0
0	0	0	0	0	0	15
0	0	0	0	0	10	16
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	10	0	4
6	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	5
0	0	0	0	15	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	9
9	0	0	0	15	0	4
31	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	4
9	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	22	15	15
0	0	0	0	0	5	16
19	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	2
0	0	0	0	0	0	20
0	0	0	0	25	0	17
0	0	0	0	0	0	16
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	12	0
0	0	0	0	0	5	16
0	0	0	0	6	16	18
0	0	0	0	5	6	40
0	0	0	0	8	7	43
0	0	0	0	0	87	11
	0	0		0		25

[illegible][illegible]

Nama Stasiun	Caturanom											
No Stasiun		Elevasi										
No In Database		Tipe alat	Manual									
Lintang Selatan	-7.29320792	Pemilik	Dinas PSDA									
Bujur Timur	110.0830839	Operator	Djumar									
Tahun	2010											
Tanggal	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
1	0											
2	0											
3	1											
4	2											
5	8											
6	65											
7	7											
8	2											
9	8											
10	1											
11	0											
12	0											
13	20											
14	0											
15	0											
16	0											
17	0											
18	0											
19	15											
20	40											
21	16											
22	42											
23	8											
24	12											
25	10											
26	0											
27	19											
28	0											
29	0											
30	0											
31	0											

Nama Stasiun	Caturanom											
No Stasiun		Elevasi										
No In Database		Tipe alat	Manual									
Lintang Selatan	-7.29320792	Pemilik	Dinas PSDA									
Bujur Timur	110.0830839	Operator	Djumar									
Tahun	2011											
Tanggal	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
1		2,8	25	10	26,5	0	0	0	0	0	0	0
2		20	11	30	26	0	0	0	0	0	45	0
3		32	4,5	0	10	0	0	0	0	0	10	0
4		0	0	9	40	0	0	0	0	0	32	12
5		15	5,9	10,5	26	0	0	0	0	0	10	0
6		0	8,5	0	4,5	0	0	0	0	0	0	0
7		0	0	0	0	0	0	0	0	0	43	0
8		0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	10
9		0	24	11,3	21,8	0	0	0	0	0	70	0
10		5,4	6,5	3,6	0	0	0	0	0	0	16,5	0
11		1,6	8,6	0	0	0	0	0	0	20	0	0
12		0	8,3	10	0	0	0	0	0	0	16	0
13		30,7	17,5	8	0	0	0	0	0	0	0	0
14		9	0	3,3	0	0	0	0	0	0	0	23
15		25,5	4	20	0	0	0	0	0	0	0	0
16		2,8	0	32,5	38	0	44	0	0	0	0	55
17		2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
18		0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	24,5
19		0	0	0	0	0	9	0	0	17	0	15
20		0	0	42,5	5,4	0	2	0	0	0	24	62
21		0	40	0	0	0	0	0	5	10	0	0
22		0	0	48,4	25,5	0	0	0	0	4,5	0	0
23		0	33	15	0	0	18	0	0	0	0	0
24		15,5	0	1,2	0	0	0	0	0	14	0	24
25		3,5	32,7	0	0	0	0	0	0	0	8	0
26		0	22	0	0	0	0	0	0	0	10	13,6
27		14,5	18,5	5,5	0	0	0	0	0	17	0	12,1
28		22	14,5	0	0	0	0	0	0	10	0	0
29			43	0	0	0	0	0	0	30	18	2
30			12	0	0	0	0	0	0	4,5	12	27
31			8,7		0		0	0		2,1		11

[illegible]

Bulan							
Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des	
0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	57,7
9,1	0	0	0	0	0	1,7	6,4
4,1	7,3	0	0	0	0	3,8	0
0	10,2	0	0	0	0	5,9	3,4
7,6	0	0	0	0	0	26,9	4,1
9	0	0	0	0	0	0	0
23,3	0	0	0	0	0	0	34,2
40	0	0	0	0	0	0	0
7,3	4,2	0	0	0	0	0	5,3
0	2,7	0	0	0	0	17,8	5,1
35,4	21,7	0	1,7	0	0	30,7	0
2,7	16,7	0	0	0	0	10,1	16,7
0	0,4	0	0	0	0	39	8
0	0	0	0	0	0	1,6	28,3
0	0	1,8	0	0	0	8,3	23,7
5,4	0	0	0	0	7,8	0	26,3
28,1	0	0	0	0	0	20,1	0
0	0	0	0	0	9,5	1,6	15,5
0	0	0	0	0	33,2	1,5	0
31,1	0	0	0	0	0	0	20,4
0	111	0	0	0	0	0	7,4
0	7	0	0	0	0	0	20,5
0	0	0	0	0	0	0	24
0	0	0	0	0	0	5,1	4,3
0	8,7	0	0	0	0	5,9	0
0	0	0	0	0	9,5	23	0
4	0	0	0	0	1,2	0	0
4,2	0	2	0	0	4,6	0	0
0	0	1	5,5	25	0	0	0

[illegible]

Nama Stasiun	Caturanom			
No Stasiun		Elevasi		
No In Database		Tipe alat	Manual	
Lintang Selatan	-7.29320792	Pemilik	Dinas PSDA	
Bujur Timur	110.0830839	Operator	Kadiyono	
Tahun	2015			
Tanggal				
	Jan	Feb	Mar	Apr
1	7	0	34	43
2	2	15	37	117
3	0	0	54	6
4	0	5	16	8
5	33	22	0	6
6	0	17	0	0
7	5	2	0	0
8	0	8	18	16
9	0	3	0	7
10	0	0	2	0
11	3	8	0	5
12	17	21	7	9
13	15	25	9	8
14	27	9	22	3
15	6	8	0	56
16	0	10	8	14
17	16	2	0	0
18	0	25	0	0
19	8	21	40	2
20	50	40	5	37
21	12	0	40	13
22	10	0	35	4
23	3	7	25	45
24	9	0	0	22
25	1	11	0	14
26	56	0	0	15
27	0	2	0	7
28	19	13	11	60
29	2		22	0
30	15		0	6

[illegible]

Nama Stasiun	Caturanom			
No Stasiun		Elevasi		
No In Database		Tipe alat	Manual	
Lintang Selatan	-7.29320792	Pemilik	Dinas PSDA	
Bujur Timur	110.0830839	Operator	Djumar	
Tahun	2017			
Tanggal				
	Jan	Feb	Mar	Apr
1	23	11	10	2
2	0	32	41	0
3	0	3	5	0
4	0	12	0	14
5	31	4	0	10
6	27	3	0	65
7	0	4	3	19
8	12	0	40	3
9	12	7	4	0
10	3	0	0	49
11	8	0	3	13
12	24	0	28	0
13	42	15	2	0
14	15	20	3	0
15	16	46	0	5
16	7	32	39	0
17	34	8	0	1
18	67	2	8	0
19	7	3	7	24
20	0	30	0	25
21	7	23	4	0
22	4	8	0	15
23	0	8	0	0
24	3	0	0	7
25	10	72	5	0
26	14	22	31	0
27	0	52	4	4
28	4	7	2	5
29	7		0	62
30	16		0	0

[illegible]

Lampiran 2 Data Hujan Stasiun Badran

Nama Stasiun	Badran											
No Stasiun	K.87		Elevasi	+ 430 m								
No In Database			Tipe alat	manual								
Lintang Selatan	7,3671		Pemilik	Dinas PSDA								
Bujur Timur	110,21		Operator									
Tahun	2004											
Tanggal	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
1	0	7	0	0	0	3	1	0	0	0	0	5
2	0	13	3	0	0	0	3	0	0	0	3	9
3	0	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	15
4	0	3	0	4	0	11	0	0	0	0	0	7
5	19	0	10	0	0	0	0	0	0	0	4	0
6	5	14	19	9	0	0	0	0	0	0	0	3
7	7	11	0	3	1	4	0	0	0	0	4	0
8	0	5	6	7	27	0	0	0	0	0	3	0
9	19	7	9	0	19	2	0	0	0	0	9	0
10	7	0	23	17	5	0	0	0	0	0	0	0
11	12	0	10	0	0	5	0	0	0	0	14	0
12	0	0	5	7	0	0	0	0	0	0	0	7
13	5	0	48	0	0	0	0	0	2	0	0	2
14	0	0	0	3	0	2	9	0	0	0	0	0
15	16	0	0	2	0	0	3	0	0	0	0	9
16	4	3	13	0	0	0	0	0	0	0	7	0
17	6	5	7	0	6	0	0	0	0	0	0	15
18	7	7	6	0	0	0	0	0	1	0	5	23
19	16	9	17	0	0	0	0	0	0	0	4	0
20	3	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
21	0	0	29	9	0	0	0	0	3	0	0	11
22	9	0	0	11	4	2	0	0	0	0	13	17
23	7	37	9	0	9	6	0	0	0	3	9	0
24	15	21	3	0	0	0	0	0	0	0	11	7
25	21	2	11	6	3	0	0	0	0	0	1	9
26	14	0	4	0	7	4	0	0	0	0	7	7
27	0	6	0	0	0	0	0	0	0	2	5	0
28	0	3	0	3	4	0	0	0	0	0	0	0
29	9	2	0	4	3	2	0	0	0	0	15	9
30	0		9	9	6	0	0	0	0	7	21	31
31	0		0		0		0	0		0		11

Nama Stasiun	Badran											
No Stasiun	K.87		Elevasi	+ 430 m								
No In Database			Tipe alat	manual								
Lintang Selatan	-7.373835		Pemilik									
Bujur Timur	110.217834		Operator									
Tahun	2005											
Tanggal	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
1	11	0	5	13	20	0	0	0	0	0	0	40
2	14	9	0	32	15	0	9	0	0	0	0	35
3	7	7	5	9	0	20	0	0	0	0	0	7
4	9	0	7	2	0	0	0	0	0	0	0	25
5	0	0	21	31	86	0	0	0	0	0	0	0
6	19	7	27	21	0	0	0	0	0	0	0	3
7	21	5	5	3	0	8	31	0	0	0	0	0
8	5	11	35	8	0	0	0	0	0	0	0	20
9	0	13	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	29	15	2	5	0	0	0	0	0	0	0
12	0	19	10	50	15	0	0	0	0	0	0	0
13	0	21	9	20	8	0	2	0	0	17	0	8
14	5	33	3	0	0	10	0	0	0	0	0	0
15	0	21	1	6	0	6	2	0	0	1	0	5
16	7	0	0	5	0	3	0	0	15	0	0	10
17	9	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
18	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
19	0	9	23	44	0	0	0	0	0	19	10	6
20	19	14	0	0	0	44	0	0	0	0	5	34
21	27	0	6	0	0	23	0	0	0	0	25	42
22	15	0	0	3	1	2	0	0	0	0	4	9
23	0	35	1	1	0	15	0	0	0	17	0	0
24	0	19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	27
25	5	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	7	21	0	0	0	0	0	0	0	3	0	5
27	9	29	0	0	0	0	0	0	0	0	3	13
28	11	31	8	0	0	12	0	0	0	0	2	18
29	9		19	0	0	9	0	0	0	0	8	27
30	17		20	0	0	7	0	0	5	0	25	41
31	21		9		0		0	0		0		8

[illegible]

Bulan						
Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
0	0	0	0	0	3,4	0
0	0	0	0	0	2,1	20,2
10	0	0	0	0	7	30,5
2	0	0	0	0	0,7	9,8
0	0	0	0	0	3,3	22,1
1,4	0	0	0	0	9,6	1,8
7,3	0	0	0	0	48,6	32,3
0	0	0	0	0	5,6	0
0	0	0	0	25	2,6	29,5
0	0	0	0	0	0	41,3
0	0	0	0	0	7	23,3
0	0	0	0	0	0,6	0
0	24	0	0	0	40,1	23
0	0	0	0	0	34,1	7,7
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	4,1	14,1
0	8	0	0	0	0	0
0	1,5	0	0	0	0	13,7
10,5	0	0	0	0	0	27,4
21,9	0	0	0	0	0	21,9
0	0	0	0	0	0	18,5
0	0	0	0	0	0	0,8
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	102,6
0	0	0	0	0	0	1,5
0,6	0	0	0	0	3,6	3,8
0	0	0	0	0	4,8	10,6
54,4	0	0	0	17,5	5,8	0,7
3,7	0	0	0	0	0	22,6

[illegible][illegible]

[illegible][illegible]

[illegible]

Bulan	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
,5	0	0	0	0	0	0
,6	4	0	0	0	0	2,5
3	1,6	0	0	0	46,5	2
5	4,2	0	0	0	0	2,6
0	0	0	0	0	5	31,4
5	0	0	0	0	9,5	9,5
0	0	0	0	0	0	4,7
2	0	0	0	0	46,5	0
,3	35,5	0	0	0	0	6,2
0	15	0	0	0	1	26
2	35,5	0	0	0	27,7	0
3	26	0	0	0	9,5	8,7
,5	0	0	0	0	3,7	0
0	0	0	0	0	0	3,8
0	0,8	0	0	0	14	18
8	0	0	0	9	0	41
,5	0	0	0	0	91	8,5
,6	0	0	0	0	0	10,5

[illegible]

Bulan						
Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
0	0	0	0	0	0	12
0	0	0	0	0	0	21
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	20	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	5
0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	3
4	0	0	0	0	1	7.5
0	0	0	0	0	0	51
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	26
0	0	0	0	0	0	12
0	0	0	0	0	0	59
0	0	0	0	0	0	3
0	0	0	0	0	0	10
0	0	0	0	0	0	4
0	0	0	0	0	0	0

[illegible]

Nama Stasiun	Badran			
No Stasiun	K.87		Elevasi	+ 430 m
No In Database			Tipe alat	manual
Lintang Selatan	-7,373835		Pemilik	Dinas PSDA
Bujur Timur	110,22		Operator	
Tahun	2017			
Tanggal				
	Jan	Feb	Mar	Apr
1	0	47	1	2
2	0	7	19	6
3	2	10	7	13
4	0	0	7	0
5	37	2	3	0
6	0	165	5	40
7	22	5	0	13
8	0	4	14	4
9	0	0	0	9
10	0	0	0	10
11	7	0	4	42
12	34	35	3	0
13	12	0	3	0
14	35	22	6	0
15	4	59	0	0
16	4	0	0	0
17	28	11	0	0
18	4	0	5	0
19	0	5	16	0
20	7	4	0	0
21	44	17	15	20
22	0	28	0	0
23	2	59	0	40
24	0	19	15	0
25	3	9	0	0
26	0	18	6	18
27	21	0	2	0
28	19	4	0	0

[illegible]

[illegible]

Bulan						
Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
0	0	0	0	0	0	20
0	0	1	0	0	0	8
0	0	0	0	0	0	7
0	0	0	0	0	0	3
0	0	0	0	0	0	38,5
0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	2
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	44
0	9	0	0	0	0	0
0	0	0	0	33	33	5
0	0	0	0	5	5	6
0	0	0	0	10	19	6
0	7	0	0	1	1	6
1	0	2	0	6	26	10
0	0	0	0	1	1	38
0	0	0	0	2	32	9
5	0	0	0	4	0	5
11	0	0	6	0	0	14
0	0	0	0	0	0	11
0	0	0	13	0	0	13
0	0	0	0	37	37	5
0	0	0	0	2	2	3
0	0	0	0	4	4	1
0	0	0	0	0	0	21
9	0	0	0	24	24	5
0	0	0	0	0	0	29
1	0	0	4	5	5	13
0	0	0	0	1	1	28
	0	0		0		0

[illegible]

Stasiun : KALIBAWANG			Stasiun : KALIBAWANG			Stasiun : KALIBAWANG			Stasiun : KALIBAWANG			Stasiun : KALIBAWANG		
Bulan : Desember			Bulan : April			Bulan : Januari			Bulan : April			Bulan : Nopember		
Tahun : 2009			Tahun : 2009			Tahun : 2009			Tahun : 2010			Tahun : 2010		
No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :		
Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O
1	0	0	1	5	0,5	1	2	0,5	1	0	6,6	1	13	0
2	0	0	2	3	6	2	14	59,5	2	10	4,6	2	0	9,8
3	0	0	3	0	8,5	3	53	0	3	7	0,4	3	0	0
4	0	8,5	4	3	6,5	4	0	0	4	0	0,1	4	18	10,4
5	23	11	5	8	1,5	5	0	0	5	0	0,2	5	6	4,9
6	4	0	6	0	0	6	0	0	6	0	0	6	0	26,6
7	30	5	7	0	1,5	7	1	42	7	13	0,2	7	36	8,8
8	15	14,7	8	0	0	8	8	42	8	95	0,8	8	8	0
9	59	0	9	0	0	9	3	2,8	9	0	9,2	9	7	9,5
10	1	0	10	0	0	10	1	0	10	42	0	10	25	0
11	0	0	11	0	0	11	1	1	11	17	0	11	0	0
12	0	0	12	1	0	12	1	0	12	1	5,2	12	0	0
13	0	0	13	0	0	13	22	30,5	13	3	0,8	13	0	0
14	0	0	14	0	0	14	37	37,8	14	1	0	14	0	0
15	0	0	15	0	0	15	24	1,5	15	0	0	15	11	0
16	0	0	16	0	0	16	1	5,5	16	2	2	16	0	0
17	0	0	17	0	0	17	0	9	17	10	1,8	17	0	0
18	0	0	18	0	0	18	0	0	18	0	0	18	0	0
19	0	0	19	25	0	19	15	1,5	19	4	0	19	0	0
20	100	0	20	48	0	20	0	0	20	0	12,5	20	0	0
21	0	0	21	4	0	21	0	0	21	0	0	21	0	0
22	0	0	22	0	0	22	37	0	22	0	0	22	0	0
23	0	0	23	0	19	23	0	3,5	23	6	4,3	23	0	0
24	0	0	24	8	1,5	24	28	1,5	23	2	5,4	23	0	0
25	0	0	25	8	8	25	4	9	24	10	16,3	24	43	13,8
26	12	0	26	15	8	26	1	0	25	16	16,4	25	32	6,9
27	100	0	27	8	3,5	27	6	7	26	3	0	26	0	5,7
28	70	0	28	0	0	28	33	18	27	0	1,4	27	0	27,6
29	0	0	29	16	0	29	42	0	28	8	0	28	62	5,3
30	4	0	30	0	0	30	10	23	29	6	0	29	23	7,3
31	23	0	30	0	9	31	55	0	30	0	0	30	6	3,7

Stasiun : KALIBAWANG			Stasiun : KALIBAWANG			Stasiun : KALIBAWANG			Stasiun : KALIBAWANG					
Bulan : September			Bulan : Januari			Bulan : Januari			Bulan : Nopember					
Tahun : 2010			Tahun : 2010			Tahun : 2011			Tahun : 2011					
No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :					
Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O
1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	50	2,2	1	3	14,9
2	0	0	2	0	0	2	53	0	2	14	5	2	21	39,2
3	0	0	3	16	0	3	30	0	3	15	1,7	3	25	0
4	0	0	4	0	0	4	24	6,2	4	2	39,4	4	0	0
5	0	4,4	5	0	0	5	4	1,6	5	42	0	5	0	17,8
6	38	8,8	6	20	0	6	0	2,9	6	0	48,3	6	17	0
7	23	4,5	7	0	9,3	7	28	2,4	7	63	0	7	0	2,1
8	23	16,5	8	0	0	8	30	1	8	3	0	8	0	0
9	26	0,2	9	87	7,5	9	0	1,7	9	49	8,9	9	0	0
10	0	12,2	10	0	2,2	10	38	5,1	10	4	0	10	0	0
11	11	50,5	11	7	10	11	24	0,7	11	11	11,7	11	0	1,6
12	59	3	12	8	9,5	12	0	0	12	2	1,6	12	0	12,2
13	0	11,5	13	22	0	13	0	0	13	0	1,3	13	0	0
14	11	1,4	14	1	0	14	0	10,6	14	16	0	14	0	0
15	12	10,9	15	23	0	15	12	9,2	15	1	2,4	15	0	5,9
16	8	8	16	0	0	16	5	2,9	16	2	0,9	16	4	2,8
17	6	6,5	17	3	0	17	3	15,3	17	0	60,3	17	11	9,7
18	0	0	18	28	1,5	18	31	12,1	18	7	0,6	18	0	0
19	6	5,7	19	11	7,5	19	19	2,5	19	30	43,5	19	0	9
20	0	0,1	20	41	0	20	2	13,2	20	44	71,3	20	56	6,1
21	0	16,1	21	6	0	21	37	3,4	21	71	0	21	14	2
22	34	36,5	22	13	0	22	0	12,6	22	42	0,4	22	2	0
23	36	72,4	23	22	0	23	3	0	23	31	4,4	23	0	0,3
24	46	13,4	24	0	28,8	24	13	0	24	0	0	24	0	1,5
25	13	5,8	25	52	0	25	17	7,8	25	0	0	25	2	9
26	5	0,4	26	48	7,1	26	7	0	26	0	0	26	0	0
27	0	0,6	27	75	0	27	0	2,4	27	0	0	27	0	2,5
28	0	0,7	28	0	7,1	28	2	0,4	28	0	0	28	2	3
29	0	5,4	29	0	5	29	0	0,4	29	12	13,5	29	26	13,3
30	0	0	30	17	0	30	0	3,6	30	0	7,5	30	4	18,4
30	0	0	31	45	9,7	31	4	0,6	30	28	2,6	31	19	0

Stasiun : KALIBAWANG	Stasiun : KALIBAWANG		Stasiun : KALIBAWANG		Stasiun : KALIBAWANG		Stasiun : KALIBAWANG							
Bulan : Nopember	Bulan : Desember		Bulan : Januari		Bulan : Febuari		Bulan : Januari							
Tahun : 2012	Tahun : 2012		Tahun : 2012		Tahun : 2012		Tahun : 2013							
No.Kad. :	No.Kad. :		No.Kad. :		No.Kad. :		No.Kad. :							
Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O
1	5	4,9	1	38	37,2	1	115	177,7	1	0	4,1	1	20	18,9
2	1	0	2	150	121,6	2	17	28,8	2	1,9	2,9	2	44	42,6
3	23	1,5	3	23	22,1	3	3	2,9	3	0	0	3	0	1,3
4	1	0	4	12	11,9	4	2	1,7	4	39	30	4	10	9,9
5	0	0	5	4	4,4	5	0	1,9	5	1	0	5	19	18,7
6	24	1,4	6	30	29,5	6	0	12,4	6	0	0	6	93	93,5
7	0	0	7	10	9,9	7	10	0	7	0	0	7	2	7,3
8	0	0	8	74	72,2	8	12	13,7	8	0	0	8	17	8,7
9	35	0	9	64	60,8	9	49	35,2	9	0	0	9	0	8,2
10	0	12,9	10	3	3,2	10	29	13,2	10	0	0	10	0	0
11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0,1
12	0	0	12	8	24,5	12	14	14,4	12	0	0	12	2	2,1
13	0	0,5	13	2	1,4	13	36	30,9	13	39	0	13	43	31,6
14	33	21,9	14	3	2,7	14	12	0	14	0	0	14	1	0,9
15	4	3,5	15	18	16,6	15	18	10	15	22	10	15	14	13,1
16	33	19,2	16	16	6,3	16	7	0	16	30	19	16	19	7,4
17	41	39,4	17	18	28,5	17	0	0	17	0	0	17	5	5,3
18	83	56,6	18	16	15,4	18	3	0	18	0	4,3	18	12	0,3
19	22	19,9	19	0	9,2	19	0	3,9	19	6	0,6	19	29	35,3
20	1	15,3	20	0	0	20	0	2,8	20	60	44,8	20	2	5,1
21	3	2,6	21	27	15,8	21	17	11,6	21	9	12,5	21	23	22,4
22	16	11	22	2	1,4	22	0	10,4	22	71	9,9	22	5	8,9
23	50	50,5	23	15	14,4	23	0	4	23	0	3	23	27	0
24	84	68,3	24	0	0	24	0	0	24	6	16,9	24	1	0,4
25	14	25	25	0	0	25	0	0	25	17	0	25	89	16,6
26	17	6,9	26	14	0,7	26	0	0	26	38	42,5	26	2	1,6
27	15	11,6	27	0	0	27	0	0,7	27	0	4	27	14	5,2
28	1	3,6	28	0	12,2	28	0	3,3	28	0	4,9	28	0	0
29	10	8,9	29	1	0,4	29	6	1,8	29	4	4,4	29	0	0
30	13	12,1	30	8	5,4	30	0	1,9	30	4	0	30	0	0
			31	8	0	31	0	0,1	31	0	0	31	0	0

Stasiun : KALIBAWANG			Stasiun : KALIBAWANG			Stasiun : KALIBAWANG			Stasiun : KALIBAWANG			Stasiun : KALIBAWANG		
Bulan : Mei			Bulan : Maret			Bulan : Febuari			Bulan : Maret			Bulan : Juni		
Tahun : 2013			Tahun : 2013			Tahun : 2014			Tahun : 2014			Tahun : 2014		
No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :		
Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O
1	0	0	1	1	0,8	1	0	0	1	0	1	1	0	0
2	0	0	2	0	0	2	12	0	2	34	28,1	2	0	0
3	0	0	3	47	55,8	3	10	9,9	3	16	5	3	0	0
4	0	0	4	7	4,1	4	7	10	4	44	24,7	4	0	0
5	0	0	5	30	19,8	5	7	7,6	5	40	34,8	5	0	0
6	0	0	6	0	0	6	7	32,5	6	0	0	6	0	0
7	0	0	7	0	0	7	39	15,8	7	0	0	7	0	0
8	0	0	8	0	0	8	18	14,3	8	0	0	8	0	0
9	0	0	9	0	0	9	18	0	9	0	0	9	0	0
10	0	0	10	4	5,9	10	3	0	10	0	0	10	0	0
11	13	6,5	11	12	0	11	4	0	11	0	0	11	0	0
12	0	6,8	12	0	0,3	12	0	0	12	0	0	12	0	0
13	0	0	13	0	0	13	0	0	13	0	0	13	0	0
14	0	13,7	14	0	0,1	14	0	0,1	14	0	0	14	0	0
15	0	0	15	0	0	15	0	0	15	0	0	15	0	0
16	0	0	16	18	4,9	16	0	0	16	0	0	16	8	0
17	7	0	17	1	1	17	0	0	17	0	0	17	0	0
18	35	0	18	17	0	18	2	9,9	18	53	35,1	18	4	0,2
19	55	49,4	19	30	10	19	0	0	19	0	0,2	19	6	0
20	1	0,8	20	0	0	20	5	0	20	0	0	20	15	0
21	0	0	21	0	0	21	0	0	21	0	0	21	5	4,4
22	5	0	22	0	0	22	0	0	22	0	0	22	0	0,9
23	0	0	23	0	1,4	23	0	0	23	0	0	23	0	0
24	0	0	24	0	0	24	75	52,2	24	4	3	24	0	0
25	70	0	25	0	0	25	11	11,3	25	0	1,6	25	0	1,8
26	0	0	26	0	0	26	3	0	26	0	0	26	0	0,2
27	0	0	27	0	27,2	27	3	6,6	27	37	0	27	55	34,6
28	3	0	28	0	0	28	10	5,2	28	1	0	28	0	0
29	0	0	29	34	0	29	2	2,4	29	0	0	29	12	11
30	26	0	30	0	0	30	18	7,4	30	29	0	30	0	0
31	0	0	31	0	0	31	1	0,1	31	0	0	31	0	0

Stasiun : KALIBAWANG			Stasiun : KALIBAWANG			Stasiun : KALIBAWANG			Stasiun : KALIBAWANG			Stasiun : KALIBAWANG		
Bulan : Desember			Bulan : Maret			Bulan : April			Bulan : Nopember			Bulan : Desember		
Tahun : 2014			Tahun : 2015			Tahun : 2015			Tahun : 2015			Tahun : 2015		
No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :		
Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O
1	0	0	1	22	20,4	1	15	14,3	1	0	0	1	14	12,3
2	0	1	2	48	56,8	2	81	77,4	2	0	0	2	7	6,2
3	31	17,9	3	7	5,7	3	25	24,7	3	0	0	3	25	9,8
4	5	4	4	7	7,5	4	1	0,7	4	0	0	4	3	0
5	0	0	5	4	3,9	5	1	1,1	5	0	0	5	7	9,8
6	5	4,6	6	16	15,1	6	11	10,4	6	0	0	6	0	0
7	0	0	7	83	89	7	42	49,9	7	39	36,2	7	24	9,8
8	5	0	8	0	0	8	0	2,6	8	6	6	8	30	18
9	1	0,2	9	76	69,4	9	3	0,1	9	0	0	9	2	1,4
10	16	3,4	10	5	5,7	10	0	0,3	10	19	0	10	34	40,7
11	61	94,4	11	13	12	11	0	0,3	11	20	0	11	23	10,1
12	0	19,7	12	47	38,7	12	0	0	12	12	0	12	12	2,6
13	0	2,5	13	2	0	13	11	9,9	13	23	0	13	0	8,1
14	10	7,1	14	29	25,8	14	0	0	14	0	0	14	93	0
15	13	12,7	15	0	2	15	13	13	15	0	0	15	26	23,3
16	43	39,1	16	0	0	16	0	0	16	0	0	16	2	1,7
17	0	2,1	17	0	0	17	3	3,2	17	0	0,9	17	43	4,7
18	13	12,3	18	0	0	18	0	0	18	0	0	18	36	0
19	85	86,8	19	0	0	19	0	0	19	0	0	19	4	0
20	24	23,4	20	0	0,3	20	0	0	19	19	5,4	20	53	40
21	24	33,1	21	86	50,1	20	22	23,5	20	1	1,7	21	12	0
22	18	15,2	22	15	12,4	21	7	5,7	21	20	18	22	48	43,9
23	23	24,9	23	7	3,7	22	38	44,3	22	0	0,4	23	8	7,3
24	0	0,2	24	19	26,1	23	9	1,6	23	0	0	24	0	0
25	0	0	25	10	12,5	24	16	14,7	24	0	0	25	0	0
26	42	44	26	26	16,7	25	1	1,4	25	70	81,4	26	0	0
27	54	77	27	0	10,3	26	44	40,4	26	44	49,7	27	0	0
28	29	18,4	28	45	28,2	27	5	5	27	0	0	28	0	0
29	6	0	29	0	15,4	28	0	0	28	0	0	29	0	0
30	8	0	30	10	9,2	29	4	4,4	29	37	60,2	30	0	0
31	0	0	31	0	0,1	30	38	35,5	30	7	9,8	31	0	4,5

Stasiun : KALIBAWANG			Stasiun : KALIBAWANG			Stasiun : KALIBAWANG			Stasiun : KALIBAWANG			Stasiun : KALIBAWANG		
Bulan : Febuari			Bulan : Maret			Bulan : Juni			Bulan : Desember			Bulan : Febuari		
Tahun : 2016			Tahun : 2016			Tahun : 2016			Tahun : 2016			Tahun : 2017		
No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :		
Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O
1	16	17,2	1	0	0,1	1	0	0,1	1	53	13,4	1	44	44,4
2	19	0	2	4	4,2	2	18	14,9	2	3	34,7	2	9	2,6
3	3	0	3	46	29,4	3	0	1,4	3	25	23	3	5	11
4	0	0,4	4	1	5,5	4	0	0	4	0	0	4	7	6,9
5	35	0	5	56	43,1	5	2	2,3	5	0	0	5	0	0,2
6	9	10	6	18	6,5	6	83	94,6	6	10	9	6	18	17,1
7	4	0	7	1	1,2	7	4	3,4	7	0	0,1	7	0	0,1
8	0	12,5	8	64	59,9	8	0	0,7	8	3	1,7	8	13	11,6
9	0	1,9	9	1	1,2	9	30	25,2	9	0	2	9	18	10
10	33	39	10	3	3,5	10	0	0	10	0	0	10	16	0
11	12	10,3	11	0	0,4	11	0	0	11	0	0,2	11	0	0
12	1	1,1	12	15	11,8	12	0	0	12	0	0,7	12	14	5,1
13	0	0	13	0	0	13	2	2	13	0	0,3	13	13	12,1
14	0	0,1	14	0	0	14	0	0	14	0	1,2	14	80	80,7
15	0	8,9	15	0	0	15	0	0	15	7	0,2	15	5	7,4
16	13	10,3	16	0	0,3	16	3	3,7	16	8	12,1	16	0	0
17	4	4,4	17	2	2,2	17	1	1,3	17	7	6,5	17	0	0
18	0	0,1	18	1	1,3	18	98	96,2	18	1	1,2	18	0	0,6
19	0	0,2	19	1	0,5	19	2	6,6	19	2	1,5	19	25	25
20	0	0,4	20	2	1,4	20	0	0,1	20	1	0,4	20	10	2,7
21	0	0,1	21	2	2,4	21	0	0	21	0	0,5	21	7	8,1
22	4	3,1	22	1	0,8	22	0	0	22	0	0,1	22	19	10,1
23	0	0	23	9	9,1	23	13	7,9	23	1	1	23	0	6,2
24	0	0,2	24	29	26,9	24	0	4,4	24	0	0	24	18	7,8
25	9	9,3	25	81	87	25	0	0	25	0	0	25	93	90,6
26	0	0,2	26	16	14,9	26	3	0	26	23	0	26	2	6
27	9	9,3	27	100	94,1	27	0	0	27	0	0	27	24	20,7
28	2	0,8	28	83	83,4	28	10	9	28	2	0	28	6	5,8
29	8	8,6	29	0	2	29	0	1,4	29	84	0			
30	48	55,5	30	10	8,1	30	0	4,6	30	4	0			
31	19	18,3	31	0	0,3	31	0	0	31	-	0			

Stasiun : **KALIBAWANG**
 Bulan : Nopember
 Tahun : 2017
 No.Kad. :

Tanggal	H.B	H.O
1	0	0
2	0	0
3	0	0,2
4	19	13,3
5	10	11,5
6	28	0,9
7	0	0,2
8	33	48,6
9	22	35,2
10	0	0,6
11	2	3
12	14	39,7
13	14	18,3
14	5	8,7
15	0	0
16	17	32,7
17	25	39,2
18	6	0
19	7	24,1
20	18	39,2
21	8	8,6
22	4	1,5
23	4	11
24	90	23,7
25	5	0,1
26	0	8,5
27	33	22
28	56	95,6
29	22	93,6
30	1	3,2

Stasiun : **KALIBAWANG**
 Bulan : Febuari
 Tahun : 2018
 No.Kad. :

Tanggal	H.B	H.O
1	20	25,7
2	6	4
3	19	15,4
4	41	10,2
5	9	30,5
6	2	0,3
7	17	31,5
8	5	8,6
9	1	1,7
10	0	0
11	56	96,1
12	33	42,3
13	1	1,6
14	6	12,4
15	24	35,3
16	1	2,9
17	0	0,7
18	0	0
19	10	9,3
20	0	0,1
21	0	0,1
22	4	14,1
23	18	35,1
24	4	7,1
25	0	2,1
26	10	8
27	0	0
28	0	0

Stasiun : **KALIBAWANG**
 Bulan : Desember
 Tahun : 2018
 No.Kad. :

Tanggal	H.B	H.O
1	0	1
2	0	0
3	7	5,2
4	54	52,9
5	18	16,2
6	90	88,7
7	78	22,3
8	9	56,9
9	0	0
10	34	0
11	0	0
12	0	0
13	0	4,5
14	4	2,7
15	2	2,4
16	2	0,3
17	0	4,1
18	0	0
19	0	0
20	5	7,7
21	16	0
22	1	29,4
23	5	3,1
24	3	8,3
25	22	43,5
26	0	0,6
27	0	0
28	0	0
29	0	0,3
30	4	5,8
31	0	0

Tahun 2005					
Tanggal	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei
1	0	0	0	3,5	
2	0	0	0	21,5	
3	0	10,5	0,8	15	
4	6,2	3	0	0	0,
5	2,5	0	13	0	
6	0	0	1,2	0	0,
7	6	0	0,2	0	
8	0	0	1,5	0	
9	0	6,3	0,2	0	
10	0	71,8	0	0	
11	0	0,8	2	6,5	
12	27,5	18	0,5	38,5	
13	18	0	15	13	
14	0	4	5,8	0	
15	0	31	0	3	
16	0	46,5	1,3	15	
17	21,5	2,2	0	0	
18	10,3	16,5	0	0	
19	0,5	1	0	0	
20	0	29	0	2	
21	43,3	4	0	0	
22	14	0	2	0	
23	22,5	36	1,5	0	
24	2	0	0,5	0	
25	5,3	0	2,4	0	
26	23	0	6	0	
27	0	0	1,2	0	
28	3,2	60	7,3	0	
29	0		29	0,5	
30	27		19,5	0	0,
31	11,5		22		

Tahun	2005												
Tanggal	Bulan												
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des	
1	0	0	0	3,5	0	0	0	0	0	0	1,5	15,5	
2	0	0	0	21,5	0	0	0	10	0	0	0	5,5	
3	0	10,5	0,8	15	0	0	0	0	0	2	45	14	
4	6,2	3	0	0	0,5	0	0	0	0	0	7	2,7	
5	2,5	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	28	
6	0	0	1,2	0	0,5	0	43,5	0	0	0,5	3,5	0	
7	6	0	0,2	0	0	0	8	0	0	0	0	0	
8	0	0	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7	
9	0	6,3	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5	
10	0	71,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	
11	0	0,8	2	6,5	0	0	8,5	0	0	0,5	0	28,5	
12	27,5	18	0,5	38,5	0	0	6	0	0	25	0	9,5	
13	18	0	15	13	0	0	0	0	0	0	0	12	
14	0	4	5,8	0	0	0,5	0	0	0	0	0	11	
15	0	31	0	3	0	0	2,5	0	0	0	0	23,5	
16	0	46,5	1,3	15	0	0	0	0	0	0	0	10	
17	21,5	2,2	0	0	0	1	1	21,5	0	2	11	50	
18	10,3	16,5	0	0	0	0	0	0	0	18,5	5,5	14	
19	0,5	1	0	0	0	1	0	0	0	0	5	0	
20	0	29	0	2	0	4,5	0	0	1	0	0	16	
21	43,3	4	0	0	0	0,5	0	1	0	0	0	30	
22	14	0	2	0	0	2,5	0	0	2	0	0	7	
23	22,5	36	1,5	0	0	0	0	0	0	28,5	0	7,5	
24	2	0	0,5	0	0	0	0	0	0	5,5	3,5	4,5	
25	5,3	0	2,4	0	0	0	0	0	0,5	17	0	0	
26	23	0	6	0	0	0	0	0	0	10	18	32,8	
27	0	0	1,2	0	0	0	0	0	0	0	6	0	
28	3,2	60	7,3	0	0	5	0	0	0	0	0	8,5	
29	0		29	0,5	0	0	0	0	0	0,7	0	30	
30	27		19,5	0	0,5	0	0	0	4	3	0	24,5	
31	11,5		22		0		0	0		0		21	

[illegible]

Tanggal	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
1	18	40,5	0	21,5	0	0	0	0	0	0	67	4
2	0	3,5	0	10,5	0	0	0	0	0	0	10	24,5
3	0	50	0	9,5	0	0	0	0	0	0	30	1
4	0	15,5	0	4	0	0	0	0	0	0	5	18,5
5	1	51,5	0	0	0	0	0	0	0	0	10	20
6	0	3	19	11	0	27,5	0	0	0	0	24	21,5
7	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	26
8	0	0	1	11,5	0	15	0	0	0	0	0	15
9	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	4,5	12
10	0	0	0,5	23	1	0	0	0	0	0	21	0
11	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	1	51,5
12	0	0	0	6,5	0	0	0	0	0	0	21	23,5
13	0	0	8	2,5	0	0	0	0	0	0	25	67,5
14	1	0	20	91	0	0	0	0	0	0	0	4,5
15	0	11	0	38	0	0	0,5	2	0	0	0	11
16	0	11,5	0	0	0	0	0	0	0	0	2	42
17	0	11	0	0	8,5	0	0	0	0	0	0	0
18	0	28	0	50	0	0	0	0	0	0	1	1,5
19	0	25	36	43	0	0	0	0	0	0	0	24,5
20	26	7	0	26	0	6,5	0	0	0	0	0	0,5
21	0	17	56	0	0	0	0	0	0	0	0	71
22	0	14	18	0	0	0	0	0	0	0	0	8,5
23	18	15	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	1	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	7,5	0	28,5	0	0	0	0	0	0	0	20
26	0	5,5	0	24	0	0	0	0	0	0	0	4
27	0	0	2	0	0	4	0	0	0	0	0	59
28	0	4	24	0	0	0	0	0	0	0	5,5	0,5
29	0		19,5	0	26	0	0	0	0	0	5,5	28,5
30	0		0	0	15,2	0	0	0	0	0	15	38
31	0		0		0		0	0		0		43

Stasiun : SEYEGAN			Stasiun : SEYEGAN			Stasiun : SEYEGAN			Stasiun : SEYEGAN			Stasiun : SEYEGAN					
Bulan : April			Bulan : Desember			Bulan : Januari			Bulan : April			Bulan : September			Bulan : Nopember		
Tahun : 2009			Tahun : 2009			Tahun : 2010			Tahun : 2010			Tahun : 2010			Tahun : 2010		
No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :		
Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O
1	2,5	2,5	1	0	0	1	15	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	13	12,1
3	10	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	35	43,5
4	4	4	4	0	0	4	0	0	4	0	0	4	0	0	4	12	6,8
5	2	2	5	0	0	5	0	0	5	10	8,7	5	0	0	5	6	6
6	9	9	6	0	0	6	11	11,1	6	10	0	6	0	0	6	12	0
7	0	0	7	0	0	7	0	0	7	18	17,2	7	0	0	7	0	0
8	0	0	8	0	0	8	17,5	17,3	8	0	0	8	0	0	8	0	0
9	0	0	9	0	0	9	42	42	9	5	14,6	9	0	0	9	0	0
10	0	0	10	0	0	10	0	0	10	41	38,2	10	0	0	10	0	0
11	0,5	0,5	11	0	0	11	17	16,3	11	0	0,2	11	0	0	11	0	0
12	21	20,5	12	0	0	12	33	23,6	12	0	0	12	0	0	12	0	0
13	0	0	13	0	0	13	0,5	0,4	13	0	0	13	0	0	13	0	0
14	0	0	14	0	0	14	38	34,1	14	8,5	8,2	14	0	0	14	0	0
15	2	2	15	0	0	15	15	12,5	15	8	17,9	15	0	0	15	0	0
16	1	1,5	16	0	0	16	5	4,6	16	5	4,7	16	0	0	16	74	57,9
17	0	0	17	0	0	17	22,5	22,4	17	0	0	17	0	0	17	0	0
18	0	0	18	0	0	18	13	12,2	18	0	0	18	0	0	18	0	3,8
19	32,5	32,5	19	0	0	19	32	41,7	19	0	0	19	0	0	19	0	0
20	27	37,5	20	0	0	20	15	14,7	20	0	0	20	0	0	20	0	0
21	0	0	21	0	0	21	9	9,1	21	0	0	21	0	0	21	0	0
22	7	6,5	22	0	0	22	14	13,6	22	0	0	22	61	56,7	22	0	0,2
23	2	1,5	23	0	0	23	0	0	23	0	0	23	13	11,9	23	0	0,9
24	15	14,5	24	0	0	24	40	50,6	24	0	0	24	10	10	24	0	0
25	11	10,5	25	0	0	25	24	32,3	24	15	13,7	24	3	2,7	24	0	0
26	21,5	21,5	26	0	0	26	28	36	25	0	0,1	25	37	6,7	25	0	0
27	0	0	27	0	0	27	0	0	26	4	3,1	26	23	3,4	26	0	0
28	0	0	28	0	0	28	24	23,8	27	8	7,5	27	15	0	27	0	0
29	0	0	29	0	0	29	11	10,7	28	0	0	28	0	13,1	28	0	0
30	0	0	30	0	0	30	0	0,2	29	2	2,3	29	0	0	29	0	0
30	0	0	31	0	0	31	11	10,3	30	0	0	30	0	0	30	0	0

Stasiun : SEYEGAN			Stasiun : SEYEGAN			Stasiun : SEYEGAN			Stasiun : SEYEGAN			Stasiun : SEYEGAN			Stasiun : SEYEGAN					
Bulan : Januari			Bulan : Nopember			Bulan : Desember			Bulan : Januari			Bulan : Febuari			Bulan : Nopember			Bulan : Desember		
Tahun : 2011			Tahun : 2011			Tahun : 2011			Tahun : 2012			Tahun : 2012			Tahun : 2012			Tahun : 2012		
No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :		
Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O
1	30	25	1	40	37,3	1	11	9,8	1	133	141,2	1	0	0	1	0	0	1	0	0,4
2	18	17,2	2	19	19,2	2	46	51,3	2	21	21,5	2	6	2,7	2	0	0	2	30	33,6
3	48	37,1	3	0,5	0	3	0	0	3	8	7,4	3	17	19,5	3	0	0	3	0	8,3
4	24	14,9	4	75	51,7	4	0	0	4	0	0,4	4	40	39,3	4	0	0	4	3	2,8
5	4	1,5	5	3.6.5	2,1	5	0	0,8	5	3	3,1	5	0	0	5	0	0	5	45	22,9
6	13	1,9	6	0	0,8	6	1	0,2	6	6	5,1	6	1	0,8	6	0	0	6	15	14,7
7	0	0	7	14	0	7	0	0	7	12	1,9	7	0	0	7	30	0	7	1	1
8	25	14,8	8	0	4,2	8	7	6,7	8	10	10,3	8	0	0	8	0	0	8	5	5,1
9	39,5	17,7	9	0	0	9	0	0	9	10	10,2	9	0	0	9	0	0	9	0	0
10	18	1,5	10	0	0	10	0	0	10	8	17	10	110	0	10	0	0	10	25	20,9
11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	3	3,7	11	0	0	11	0	0	11	0	0
12	0	0,1	12	0	0	12	4	0	12	9	8,3	12	2,5	2,6	12	0	0	12	3	2,4
13	0	0	13	0	0	13	30	31,1	13	42	42,9	13	39	29,4	13	0	0	13	5	4,2
14	0	0,5	14	0	0	14	0	0,2	14	13	11,8	14	0	0	14	0	0	14	0	0,2
15	18	13,6	15	0	0	15	60	60,4	15	33	14,5	15	0	0	15	50	0	15	24	24,1
16	9	0	16	1,5	1,2	16	19	19	16	21	20,7	16	0	0	16	65	0	16	6	5,7
17	61	45	17	0,5	0,5	17	23	19,5	17	3	3,1	17	23	23,1	17	0	0	17	0	0
18	3	2,8	17	5,5	5	18	4	7,4	18	23	23,2	18	23	23,1	17	25	0	18	10	8
19	0	0	18	17	15,7	19	0	0	19	13	12,1	19	3	3	18	0	0	19	0	0
20	36	12,4	19	51	50	20	27	26,8	20	3	3,3	20	0	0,2	19	6	6	20	0	0
21	5	1,4	20	71	61,7	21	1	0,9	21	25	25,3	21	98	102,6	20	0	0,4	21	7	6,8
22	0	1,7	21	23	32,6	22	0	0	22	26	25,5	22	15	15,3	21	13	11,9	22	2	2
23	28	6,9	22	1	1	23	1	1	23	0	0	23	101	88,2	22	23	23,3	23	1	1
24	12	0	23	25	24,1	24	0,5	0,6	24	3,5	3,6	24	21	18,2	23	48	49,3	24	0	0
25	6	0	24	1,5	1,3	25	4,5	4,2	25	0	0	25	0	0,3	24	59	58,5	25	0	0
26	4	0	25	0	0	26	0	0	26	0	0	26	5	3,4	25	20	0	26	1	0,9
27	15	0	26	0	0	27	8	7,4	27	0	0	27	36	54,9	26	6	5,7	27	1	0,4
28	0	0	27	0	7,3	28	17	16,9	28	2	2	28	6	5	27	41	31,5	28	25	34,8
29	5	0	28	36	22,5	29	18	17,8	29	2,5	1,5	29	0	0,4	28	22	8,3	29	2	1,6
30	0	0	29	2	2,1	30	29	17,4	30	1	1,3	30	6	5,6	29	25	3,1	30	20	20,2
31	0	0	30	6	6,5	31	2	1,7	31	0	0,2	31	2	1,4	30	22	0,4	31	81	0

Stasiun : SEYEGAN			Stasiun : SEYEGAN			Stasiun : SEYEGAN			Stasiun : SEYEGAN			Stasiun : SEYEGAN			Stasiun : SEYEGAN					
Bulan : Januari			Bulan : Maret			Bulan : Mei			Bulan : Febuari			Bulan : Maret			Bulan : Juni			Bulan : Desember		
Tahun : 2013			Tahun : 2013			Tahun : 2013			Tahun : 2014			Tahun : 2014			Tahun : 2014			Tahun : 2014		
No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :		
Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	HB	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	HB	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O
1	9	5	1	0	0	1	0	0	1	0	0,3	1	1	1,1	1	0	0	1	0	0
2	53	52,1	2	3	3	2	0	0	2	8	9,9	2	15	14	2	0	0	2	1	0,5
3	1	0,8	3	27	27,3	3	0	0	3	18	19,2	3	20	19,7	3	0	0	3	7	6,4
4	27	27	4	0	0	4	0	0	4	3,5	3	4	1	1,8	4	0	0	4	16	17,6
5	8	7,2	5	0	0	5	0	0	5	30	29,8	5	6	6,2	5	0	0	5	8	6
6	72	67	6	0	0	6	0	0	6	19	18,5	6	1	0,2	6	0	0	6	1	0,8
7	9	18,3	7	0	0	7	0	0	7	31	30,2	7	11,5	12,1	7	0	0	7	1	2,2
8	26	25,3	8	0	0	8	0	0	8	17	14,9	8	7	6,7	8	0	0	8	3	2,6
9	30	31,4	9	35	0	9	0	0	9	10	11,6	9	2,5	2	9	0	0	9	2	1,6
10	0	0	10	21	0	10	0	0	10	9	9,7	10	0,5	0,6	10	0	0	10	6	9,3
11	23	23,3	11	9	9,1	11	0	0	11	2,5	2,4	11	0	0	11	0	0	11	65	60,3
12	0	0,5	12	0	0	12	0	0	12	0	0	12	0	0	12	0	0	12	5	3,8
13	8	7,8	13	0	0	13	0	0	13	0	0	13	20	19,6	13	0	0	13	8	8,6
14	1	0,7	14	12	12,3	14	0	0	14	0	0	14	0	0	14	0	0	14	0	0,2
15	22	21,1	15	3	2,6	15	0	0	15	0	0	15	21	20,8	15	0	0	15	35	35,7
16	17	17,3	16	2	1,9	16	0	0	16	3	2,8	16	0	0	16	0	0	16	76	72,7
17	7	7,3	17	0	0	17	0	0	17	5	5,5	17	0	0,3	17	0	0	17	0	2,4
18	0	0	18	6	6,2	18	38	33,8	18	0	0	18	55	0	18	0	0	18	20	21,4
19	80	66,9	19	16	16,2	19	2	2	19	3,5	3	19	0	0	19	0	0	19	115	113,4
20	0	2,3	20	3	1,4	20	22	22	20	1,5	1,4	20	0	0	20	0	0	20	69	88
21	16	17,2	21	0	0	21	0	0	21	0	0	21	0	0	21	0	0	21	11	11
22	2	1	22	0	0	22	0	0	22	74	84,8	22	0	0	22	0	0	22	33	33,5
23	32	28,3	23	0	0	23	0	0	23	119	149,4	23	0	0	23	0	0	23	41	40,4
24	0	0,5	24	0	0	24	0	0	24	9	7,3	24	11	10,6	24	0	0	24	0	0
25	92	91,5	25	0	0	25	95	0	25	0	4,7	25	2,5	2,9	25	0	0	25	0	0
26	0	0	26	0	0	26	0	0	26	47	61,9	26	0	0	26	0	0	26	21	11
27	12	12,1	27	0	0	27	0	0	27	2	2,1	27	3,5	3,5	27	0	0	27	56	53,6
28	1	2,3	28	0	0	28	2	1,7	28	25	25,3	28	14	13,5	28	0	0	28	18	18,5
29	0	0	29	8	7,2	29	0	0,2	29	0	0	29	0	0,2	29	0	0	29	0	0
30	0	0	30	0	0	30	3	3,1	30	20	19,9	30	20	19,9	30	0	0	30	33	32
31	2	1,6	31	0	0	31	13	13	31	0	0	31	0	0	31	0	0	31	0	0

Stasiun : SEYEGAN			Stasiun : SEYEGAN			Stasiun : SEYEGAN			Stasiun : SEYEGAN			Stasiun : SEYEGAN			Stasiun : SEYEGAN			Stasiun : SEYEGAN		
Bulan : Maret			Bulan : April			Bulan : Nopember			Bulan : Desember			Bulan : Februari			Bulan : Maret			Bulan : Juni		
Tahun : 2015			Tahun : 2015			Tahun : 2015			Tahun : 2015			Tahun : 2016			Tahun : 2016			Tahun : 2016		
No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :		
Tanggal	HB	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	HB	H.O	Tanggal	H.B	H.O
1	0	0	1	48	25,5	1	0	0	1	13	12	1	0	22,9	1	0	0,1	1	0	0
2	30	24,5	2	6	4,9	2	0	0	2	20	29,2	2	13	12,6	2	13	12,6	2	2	0
3	34	32,6	3	55	33,2	3	0	0	3	8	8,6	3	22	26,2	3	24	22,7	3	0	0
4	54	6,3	4	3	2,4	4	0	0	4	12	12,2	4	28	6,7	4	2	2,7	4	0	0
5	0	0	5	47	7,6	5	0	0	5	8	7,5	5	5	0,2	5	5	4,7	5	5	0
6	23	0	6	15	7	6	0	0	6	7	22,4	6	0	105,8	6	6	4,9	6	10	10,4
7	0	0	7	4	1,3	7	21	20,8	7	22	3,6	7	117	1	7	2	1,7	7	11	10,1
8	29	0	8	0	0	8	0	0,4	8	14	0	8	0	8,5	8	59	59,1	8	2	2,4
9	30	20,6	9	0	0	9	25	35,9	9	6	0	9	8	1,1	9	7	6,5	9	5	4,6
10	7	9,8	10	0	0	10	13	12,2	10	12	1,3	10	0	0,5	10	2	1,8	10	0	0
11	17	5,3	11	0	0	11	4	4	11	13	3,5	11	69	63,8	11	9	9	11	0	0
12	20	21	12	0	0	12	17	6,6	12	28	6,1	12	14	15,9	12	13	12,7	12	0	0
13	3	2,4	13	0	2,8	13	13	13	13	0	0	13	6	4,5	13	15	15,9	13	0	0
14	7	2,4	14	21	19,1	14	0	0	14	51	6,3	14	0	0,2	14	0	0	14	0	0
15	17	16,4	15	0	0	15	0	0	15	39	5,7	15	0	0	15	0	0	15	0	0
16	0	0	16	0	0	16	0	0	16	3	2,6	16	3	3,3	16	0	0	16	2	1,2
17	0	0	17	2	1,1	17	0	0	17	37	2,2	17	6	6,2	17	1	2	17	42	48,2
18	0	0	18	0	0	18	0	0	18	17	0,2	18	0	0	18	0	0	18	38	2
19	0	0	19	43	21	19	6	15,6	19	22	2,8	19	1	2,4	19	1	1,1	19	65	47,3
20	4	3	20	0	0,2	20	0	0	20	0	0,4	20	0	0	20	0	0	20	0	5,3
21	26	31,8	21	2	23,8	21	0	0	21	33	8,8	21	0	0	21	5	5,3	21	0	0,2
22	28	18,1	22	13	1,7	22	5	6,4	22	2	1,9	22	1	1,3	22	0	0	22	0	0
23	16	7,5	23	75	43	23	12	11,5	23	7	6,8	23	0	0	23	1	0,9	23	15	15,5
24	8	7,8	24	16	5	24	0	0	24	8	8,5	24	28	28,1	24	39	39,7	24	19	18,8
25	45	5,2	25	0	0	25	0	0	25	0	0	25	2	2,4	25	37	37,1	25	0	0
26	32	21,3	26	12	11,5	26	0	0	26	5	5,6	26	0	0	26	37	37,1	26	0	0
27	22	1,4	27	14	0,4	27	117	100,1	27	0	0	27	42	41,4	27	42	41,4	27	0	0
28	1	0,7	28	61	39,2	28	10	10,2	28	0	0	28	38	52,7	28	38	52,7	28	0	0
29	4	1,5	29	4	1,5	29	6	15,9	29	0	0	29	80	59,8	29	80	59,8	29	0	14,3
30	0	0,3	30	0	0	30	1	1,5	30	11	8,2	30	9	9,4	30	9	9,4	30	0	2,6
31	34	24,3	31	13	1	31	23	21,7	31	54	46,7	31	25	23,3	31	25	23,3	31	0	46,2
32	2	1,9	32	0	0	32	0	0	32	0	0	32	0	0	32	0	0	32	1	0,2
33	0	0	33	31	12	33	0	17,6	33	3	3,1	33	30	31,4	33	0	0,1	33	0	0

Stasiun : SEYEGAN			Stasiun : SEYEGAN			Stasiun : SEYEGAN			Stasiun : SEYEGAN			Stasiun : SEYEGAN		
Bulan : Desember			Bulan : Febuari			Bulan : Nopember			Bulan : Febuari			Bulan : Desember		
Tahun : 2016			Tahun : 2017			Tahun : 2017			Tahun : 2018			Tahun : 2018		
No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :			No.Kad. :		
Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O	Tanggal	H.B	H.O
1	65	14,9				1	0	0				1	0	0
2	25	37,3	1	49	47,8	2	0	0	1	55	52,5	2	13	0
3	56	26,1	2	22	17,9	3	0	0	2	3	6	3	115	3,2
4	1	1,1	3	5	22,7	4	12	12,5	3	49	42	4	58	49,1
5	0	0,3	4	9	9	5	3	3	4	21	22	5	48	9,2
6	16	14,9	5	0	0,3	6	23	23,5	5	0	2	6	21	1,5
7	0	0	6	4	13	7	0	0	6	0	0	7	48	20
8	6	5,7	7	12	12,3	8	31	29	7	41	37	8	0	13
9	2	2	8	19	8,4	9	6	6	8	4	6	9	0	0
10	0	0	9	25	13,4	10	13	12,5	9	0	2	10	0	5,4
11	1	0,5	10	14	18,6	11	49	47	10	0	0	11	0	0
12	0	0,6	11	1	1,1	12	31	32	11	92	90	12	0	0
13	1	1,1	12	26	23,2	13	1	1	12	16	8	13	0	0
14	3	3	13	4	2,2	14	1	7	13	0	4,5	14	16	9,8
15	3	3,4	14	23	22,3	15	4	0	14	14	19,5	15	13	10
16	11	10,9	15	4	6	16	17	17	15	59	60,5	16	0	0
17	39	25,4	16	0	0,5	17	34	27	16	5	2	17	0	0
18	1	0,6	17	0	0	18	1	4	17	0	2	18	1	1,4
19	1	1,3	18	0	0	19	11	11	18	0	0	19	3	2,4
20	0	0,1	19	23	22,5	20	30	30	19	5	8	20	9	9,4
21	0	0,1	20	3	3,6	21	0	-	20	0	0	21	0	0
22	0	0	21	12	12,2	22	1	-	21	0	0	22	2	1,7
23	3	3,3	22	7	6,5	23	11	-	22	14	14,5	23	0	0
24	0	0	23	0	1,2	24	22	-	23	34	32,5	24	2	1,7
25	0	0	24	47	51,8	25	1	-	24	6	6	25	13	14,5
26	4	4	25	48	47,3	26	12	-	25	0	0	26	0	0,3
27	20	20,1	26	4	3,3	27	29	31	26	0	0	27	1	0,5
28	0	0,6	27	14	15,5	28	169	166	27	26	29	28	0	0
29	128	14,1	28	2	1,8	29	59	57	28	0	0	29	1	0,8
30	6	104,8				30	5	0	30	8	6,6			
31	0	0,8							31	2	2,5			

Lampiran 5 Dokumentasi Survey Lokasi dan Pengukuran Lebar Sungai

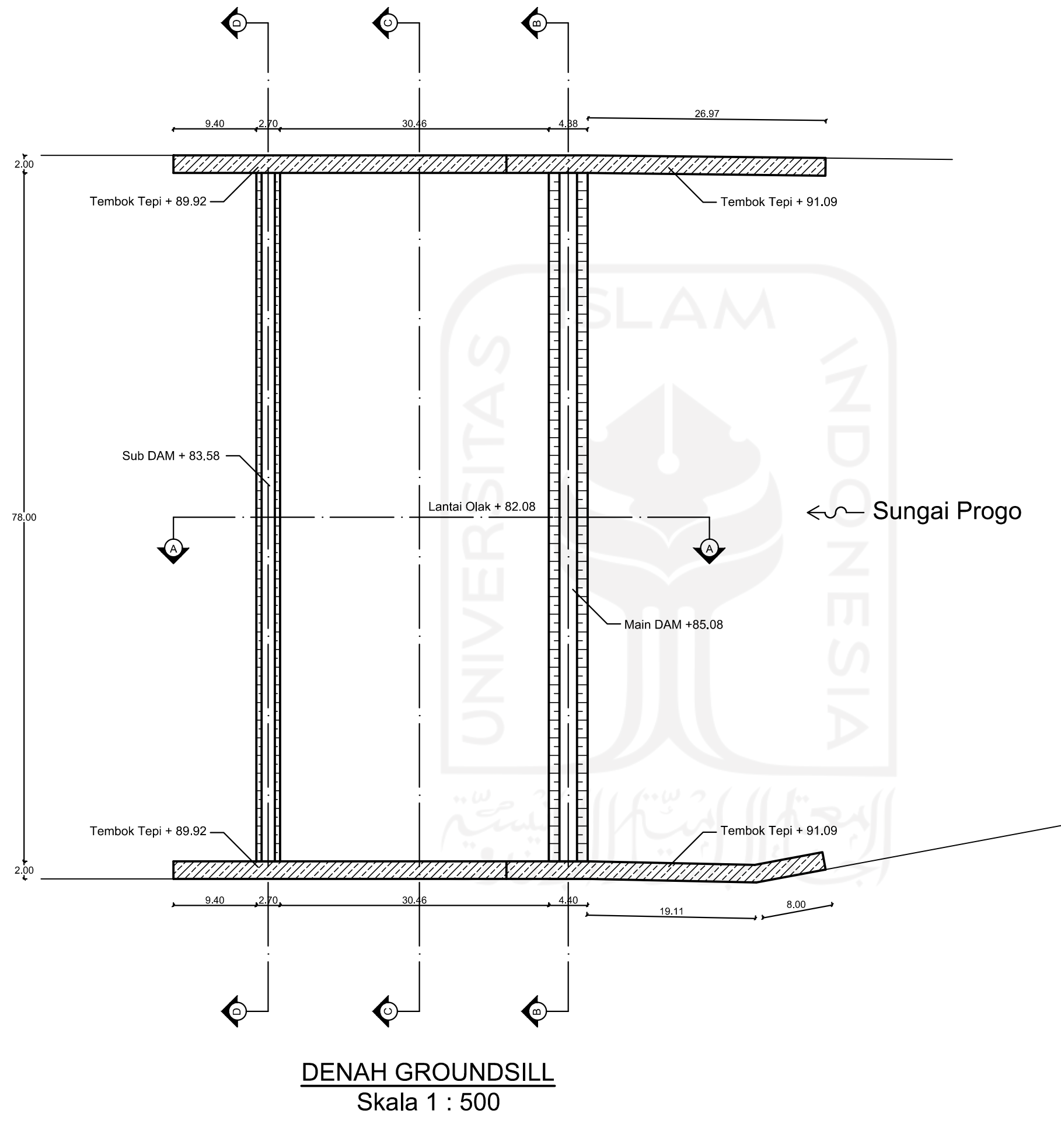




The background of the page features a large, light gray watermark of the Universitas Islam Indonesia logo. The logo is a shield-shaped emblem. At the top, the word "ISLAM" is written in a serif font. Below it is a stylized graphic of a mosque dome and minaret. The words "UNIVERSITAS" and "INDONESIA" are written vertically on the left and right sides of the shield, respectively. At the bottom of the shield is a stylized graphic of a tree or plant. Below the shield, the name of the university is written in Arabic calligraphy: "الجامعة الإسلامية الإندونيسية".

Lampiran 6

Gambar Dimensi Groundsill



TUGAS MATA KULIAH

TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA

Muhammad Raihan Wardhana

NIM 18511111

JUDUL GAMBAR

DENAH GROUND SILL

TELAH DISETUJUI OLEH

DOSEN PEMBIMBING

Dinia Anggraheni, S.T., M.Eng.

DOSEN PENGUJI 1

Dwi Astuti Wahyu Wulan P, S.T., M.T.

DOSEN PENGUJI 2

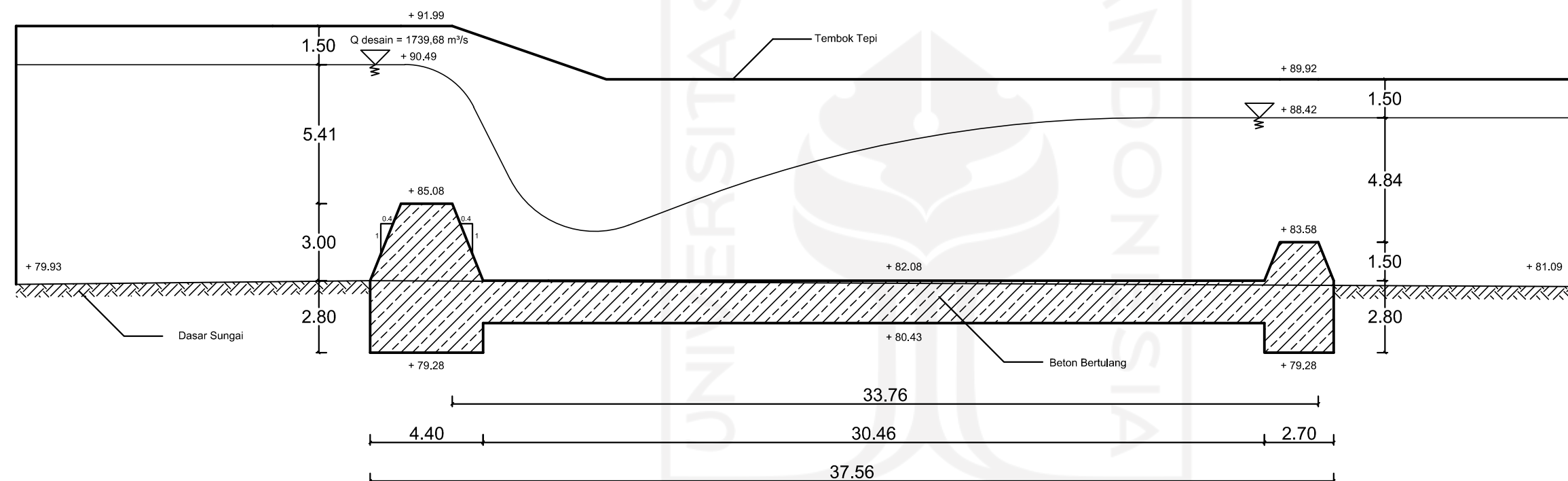
Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.

No. Lembar Jmlh Lembar

1 6

Skala TGL/BL/TH

1 : 500 14/03/2023



POTONGAN A-A
Skala 1 : 200



TUGAS MATA KULIAH

TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA

Muhammad Raihan Wardhana

NIM 18511111

JUDUL GAMBAR

POTONGAN A-A

TELAH DISETUJUI OLEH

DOSEN PEMBIMBING

Dinia Anggraheni, S.T., M.Eng.

DOSEN PENGUJI 1

Dwi Astuti Wahyu Wulan P, S.T., M.T.

DOSEN PENGUJI 2

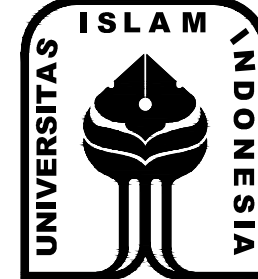
Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.

No. Lembar Jmlh Lembar

2 6

Skala TGL/BL/TH

1 : 200 14/03/2023



TUGAS MATA KULIAH

TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA

Muhammad Raihan Wardhana

NIM	18511111
-----	----------

JUDUL GAMBAR

POTONGAN B-B

TELAH DISETUJUI OLEH

DOSEN PEMBIMBING

Dinia Anggraheni, S.T., M.Eng.

DOSEN PENGUJI 1

Dwi Astuti Wahyu Wulan P, S.T., M.T.

DOSEN PENGUJI 2

Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.

No. Lembar

Jmlh Lembar

3

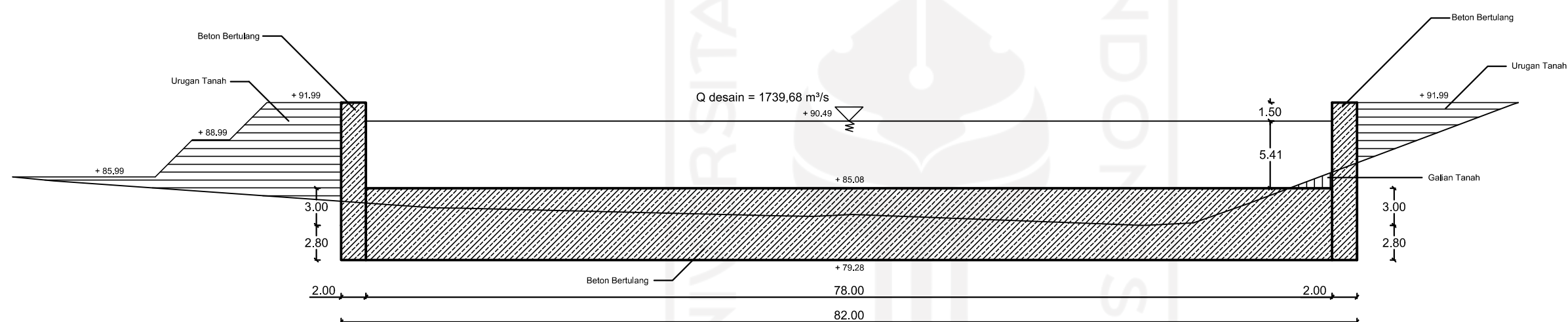
6

Skala

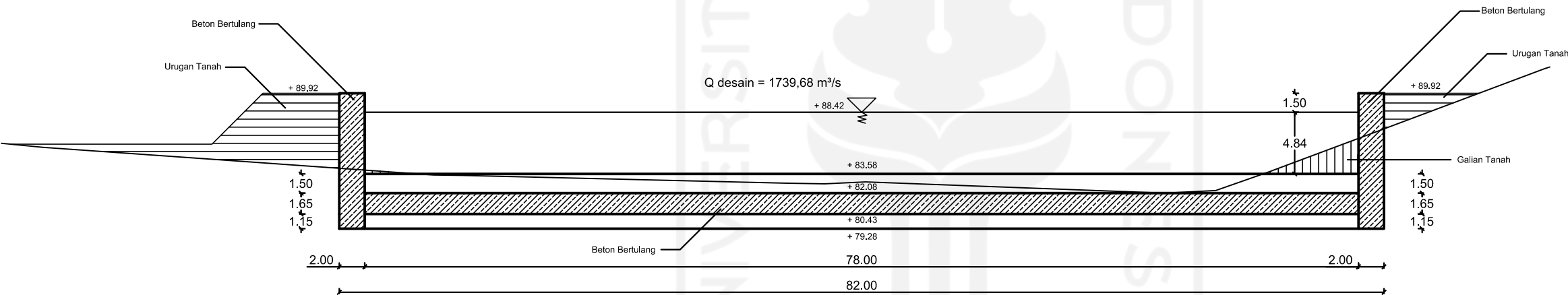
TGL/BL/TH

1 : 400

14/03/2023



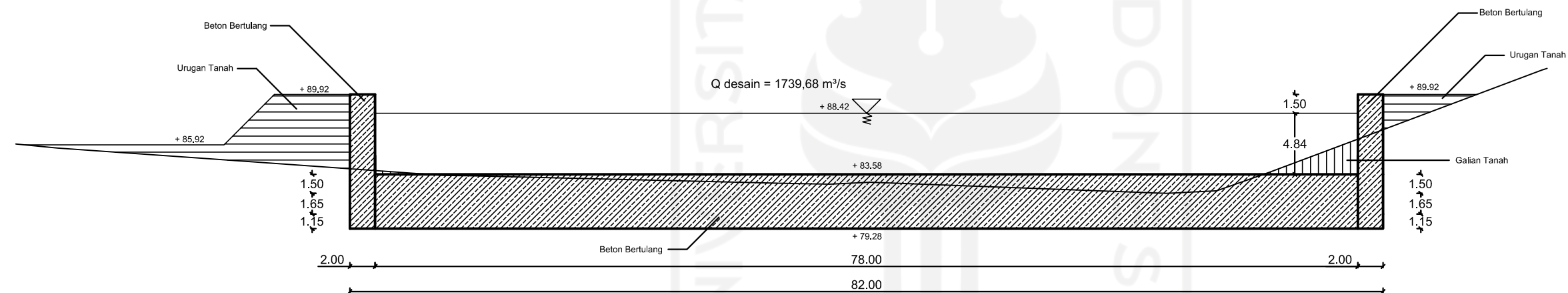
POTONGAN B-B
Skala 1 : 400



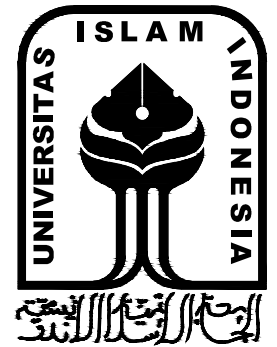
POTONGAN C-C
Skala 1 : 400



TUGAS MATA KULIAH	
TUGAS AKHIR	
NAMA MAHASISWA	
Muhammad Raihan Wardhana	
NIM	18511111
JUDUL GAMBAR	
POTONGAN C-C	
TELAH DISETUJUI OLEH	
DOSEN PEMBIMBING	
Dinia Anggraheni, S.T., M.Eng.	
DOSEN PENGUJI 1	
Dwi Astuti Wahyu Wulan P, S.T., M.T.	
DOSEN PENGUJI 2	
Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.	
No. Lembar	Jmlh Lembar
4	6
Skala	TGL/BL/TH
1 : 400	14/03/2023



POTONGAN D-D
Skala 1 : 400



TUGAS MATA KULIAH

TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA

Muhammad Raihan Wardhana

NIM 18511111

JUDUL GAMBAR

POTONGAN D-D

TELAH DISETUJUI OLEH

DOSEN PEMBIMBING

Dinia Anggraheni, S.T., M.Eng.

DOSEN PENGUJI 1

Dwi Astuti Wahyu Wulan P, S.T., M.T.

DOSEN PENGUJI 2

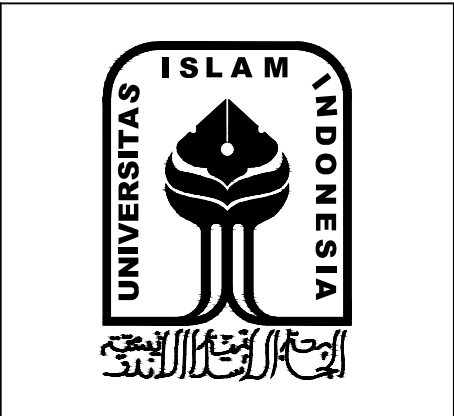
Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.

No. Lembar Jmlh Lembar

5 6

Skala TGL/BL/TH

1 : 400 14/03/2023



TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA

Muhammad Raihan Wardhana

NIM	18511111
-----	----------

18511111

CREEP LINE

TELAH DISETUJUI OLEH

DOSEN PEMBIMBING

Dinia Anggraheni, S.T., M.Eng.

DOSEN PENGUJI 1

Dwi Astuti Wahyu Wulan P, S.T., M.T.

DOSEN PENGUJI 2

Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.

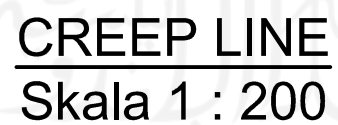
No. Lembar	Jmlh Lembar

Jmlh Lembar

6

TGL/BL/TH

14/03/2023



CREEP LINE
Skala 1 : 200