

TUGAS AKHIR

**ANALISIS KAPASITAS TAMPUNGAN SABO DAM
GE-C13 KALI GENDOL**

*(Analysis Reservoir Capacity of The Sabo Dam GE-C13
Gendol River)*

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



**Muhammad Reyhan Hanif
18511136**

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

TUGAS AKHIR
ANALISIS KAPASITAS TAMPUNGAN SABO DAM
GE-C13 KALI GENDOL

Disusun oleh

Muhammad Reyhan Hanif
18511136

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

Diuji pada tanggal 30 Desember 2022

Oleh Dewan Penguji:

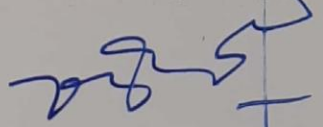
Pembimbing I



Dinia A, S.T., M.Eng.

NIK:165110105

Pembimbing II/Penguji I



Ir. Pradipta N.W, S.T., M.Eng.

NIK:135111102

Penguji II

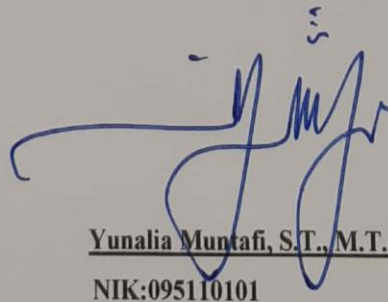


Dr.Ir. Sri Amini Y.A, M.T.

NIK:885110101

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil


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



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir yang saya susun untuk memenuhi syarat memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil 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 tulis ilmiah. Apabila kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau ada plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 3 Januari 2023

Yang membuat pernyataan



Muhammad Reyhan Hanif

(18511136)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillahirabbil'alamiin, puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayah-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Analisis Kapasitas Tampungan Sabo DAM GE-C13 KALI GENDOL*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

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

1. Bapak dan Ibu penulis yang telah berkorban begitu banyak baik material maupun spiritual hingga selesainya Tugas Akhir ini,
2. Ibu Dinia Anggraheni, S.T., M.Eng. dan Bapak Ir. Pradipta Nandi Wardhana, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing, atas bimbingan dan nasehat yang diberikan kepada penulis selama menyusun Tugas Akhir ini,
3. Ibu Dr.Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T., selaku Dosen Penguji Tugas Akhir atas saran, masukan, dan nasihat yang telah dibeerikan kepada penulis,
4. Ibu Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.Eng., selaku ketua Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
5. Bapak Indra yang membantu penulis dalam mencari data-data yang dibutuhkan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini,
6. Sahabat - sahabat saya Afid, Dilla, Fariza, Hauzan, Anita, Fakhri, Rizkita, Dena, Akhsan, Widya, Allam, Zahra, Naufal Hanif, Ryo Maulana, Naufal Sipit, Elvina dan semua orang yang membantu dan menemani saya selama melakukan penelitian ini,

7. Teman – teman Marcomm saya Dyah, Sekar, Taufik, Farid, Wahyu, Gita, Ilham, dan adek – adek saya di kepengerusan Marcomm yang memotivasi saya untuk segera menyelesaikan Tugas Akhir ini, dan juga
8. Difa Marissa Mulya yang setia membantu dan menemani saya dalam suka dan duka selama melakukan penelitian ini

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

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 3 Januari 2022
Penulis,

Muhammad Reyhan Hanif
18511136

الجامعة الإسلامية
الاستدراكية

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR SIMBOL	xi
DAFTAR PERSAMAAN	xv
ABSTRAK	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Analisis Kapasitas Tampungan Sabo DAM	4
2.2 Analisis Curah Hujan Dengan Metode Nakayasu	6
2.3 Perhitungan Debit Banjir Lahar Dingin	6
2.4 Analisis Stabilitas Sabo Dam GE-C13	7
2.5 Perbedaan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Sekarang	8
2.6 Keaslian Penelitian	18
BAB III LANDASAN TEORI	19
3.1 Aliran Debris	19
3.2 Sedimen	21
3.3 Daerah Aliran Sungai	22

3.4 Pengaruh Curah Hujan Dalam Terbentuknya Aliran Debris	22
3.5 Curah Hujan	23
3.6 Analisis Hujan Rancangan	24
3.7 Prosedur Uji Kesuaian Data Distribusi	28
3.8 Analisis Debit Banjir Rancangan	29
3.9 Bangunan Sabo Dam	31
3.10 Analisis Volume Sedimen Debris Dalam Sekali Banjir Akibat Hujan Rencana	33
3.10.1 Tipe Aliran	33
3.10.2 Perhitungan Konsentrasi Sedimen Debris	34
3.10.3 Koefisien Koreksi Aliran Debris	34
3.10.4 Estimasi Volume Aliran Sedimen Sekali Banjir	35
3.11 Kapasitas Tampung Sedimen	35
3.12 Analisis Kontrol Aliran Massa Sedimen Debris	36
3.13 Analisis Data Sedimen	37
BAB IV METODE PENELITIAN	39
4.1 Umum	39
4.2 Pengumpulan Data	39
4.2.1 Data Primer	39
4.2.2 Data Sekunder	39
4.3 Pemeriksaan Data Sedimen	40
4.4 Bagan Alir	44
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	47
5.1 Analisis Perhitungan	47
5.1.1 Analisis Daerah Tangkapan Air Sabo Dam GE-C13	47
5.1.2 Analisis Curah Hujan Maksimum	48
5.1.3 Analisis Curah Hujan Rencana	48
5.1.4 Analisis Hidrograf Satuan Nakayasu	54
5.1.5 Analisis Distribusi Hujan Rencana	56
5.1.6 Analisis Hidrograf Banjir Nakayasu	58
5.1.7 Data Pemeriksaan Sedimen	59

5.1.8 Analisis Volume Sedimen Debris Dalam Sekali Banjir Akibat Hujan Rencana (Vs)	63
5.1.9 Analisis Keseimbangan Sedimen	65
5.1.10 Analisis Kontrol Aliran Massa Sedimen	67
5.1.11 Kapasitas Tampung Sabo Dam GE-C13	68
5.2 Pembahasan	68
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	70
6.1 Kesimpulan	70
6.2 Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	72
LAMPIRAN	74



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Sekarang	9
Tabel 5.1 Curah Hujan Maksimum Tiap Tahun Stasiun Sorasan	48
Tabel 5.2 Hasil Analisis Statistik Data Hujan	49
Tabel 5.3 Hasil Perhitungan Distribusi Statistik	50
Tabel 5.4 Kelas Distribusi	51
Tabel 5.5 Nilai I_7 Uji Chi Kuadrat Metode Log Pearson III	52
Tabel 5.6 Hasil Uji Chi Kuadrat Metode Log Pearson III	53
Tabel 5.7 Nilai Curah Hujan Rencana	53
Tabel 5.8 Hidrograf Satuan Nakayasu	55
Tabel 5.9 Distribusi Hujan Durasi 7 Jam Kala Ulang 100 Tahun	57
Tabel 5.10 Hasil Perhitungan Debit Banjir Metode Nakayasu	58
Tabel 5.11 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Sampel Sedimen	61
Tabel 5.12 Hasil Pemeriksaan Kadar Air Sampel Sedimen	62
Tabel 5.13 Hasil Pemeriksaan Kuat Geser Langsung	62
Tabel 5.14 Potensi Sedimen Kali Gendol	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Ilustrasi Proses Terbentuknya Aliran Debris	20
Gambar 3.2 Fenomena Aliran Debris	21
Gambar 3.3 Bentuk DAS	22
Gambar 3.4 Poligon Thiessen	24
Gambar 3.5 Hidrograf Satuan Sintesis Nakayasu	30
Gambar 3.6 Sabo Dam Tipe Terbuka	32
Gambar 3.7 Sabo Dam Tipe Tertutup	33
Gambar 3.8 Sketsa Kapasitas Tampungan Sabo Dam	36
Gambar 3.9 Angkutan Sedimen Saat Banjir	37
Gambar 4.1 Bagan Alir Penelitian	46
Gambar 5.1 Peta Daerah Tangkapan Air Sabo Dam GE-C13	47
Gambar 5.2 Grafik Perhitungan Debit Banjir Metode Nakayasu	59
Gambar 5.3 Lokasi Pengambilan Sampel Sedimen	60
Gambar 5.4 Grafik Kuat Geser Langsung	63
Gambar 5.5 Sketsa Hasil Analisis Kapasitas Tampungan Sabo Dam GE-C13	66

DAFTAR SIMBOL

A	Luas DAS (km ²)
Ab	Luas bidang (cm ²)
Ai	Luas wilayah stasiun hujan (km ²)
Ak	Angka koreksi untuk hidrometer 152 H terhadap berat jenis butir
B	Lebar sedimen rencana (m)
B1	Lebar pelimpah atas (m)
B2	Lebar pelimpah bawah (m)
b	Lebar celah (m)
C	Koefisien pelimpah
Cd	Konsentrasi sedimen
CH	Curah hujan rata-rata (mm)
Ck	Koefisien kurtois
Cs	Koefisien skewness
Cv	Koefisien variasi
C*	Konsentrasi butiran dasar statis
DK	Derajat kebebasan
f_r	Nilai koreksi run off
Gs	Berat jenis tanah
g	Percepatan gravitasi (m/s ²)
H	Tinggi bangunan sabo dam (m)
h	Tinggi air di pelimpah (m)
Id	Kemiringan dinamis (Id = 2/3 s.d 3/4 Io)
Io	Kemiringan dasar sungai
Is	Kemiringan statis (Is = 1/2 Io)
K	Banyak kelas
Ke	Konstanta eksperimen

K	Konstanta yang besarnya dipengaruhi oleh temperatur (t°) C suspense dan berat jenis butir tanah (GS)
L	Kedalaman efektif
L	Panjang sungai utama (km)
Li	Jarak dari stasiun acuan ke stasiun data hujan rusak/hilang (km)
M	Jumlah celah pada bangunan sabo
m	Nomor urut
N	Beban moral
N	Jumlah data
Pr	Probabilitas
P	Gaya geser
Pi	Data hujan stasiun yang menjadi acuan (mm)
Px	Data hujan yang rusak/hilang (mm)
Q	Debit yang melalui pelimpah ($m^3/detik$)
Q	Debit aliran (m^3)
Qd	Debit desain ($m^3/detik$)
Qp	Debit banjir puncak
R	Pembacaan hidrometer terkoreksi
R	Banyak keterikatan untuk uji chi kuadrat
Re	Curah hujan efektif (mm)
R_{24}	Curah hujan harian maksimum (mm)
S	Simpangan baku
Sx	Standar deviasi
T	Periode ulang
Ti	Saat pembacaan pada menit ke T
t_g	Waktu konsentrasi (jam)

T_p	Waktu dari permulaan banjir sampai puncak hidrograf (jam)
T_r	Satuan waktu dari curah hujan (jam)
$T_{0,3}$	Waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak (jam)
V_c	Volume control (m ³)
V_{ds}	Volume tampungan mati (<i>dead storage</i>) (m ³)
V_e	Volume sedimen yang melimpas alami (m ³)
V_E	Volume sedimen yang melimpas akibat pengaruh erosi lereng dan sungai (m ³)
V_s	
V_{tot}	Volume sedimen input (m ³)
W	Volume total (m ³)
W_a	Berat benda uji
W_s	Kadar air (%)
W_f	Berat sampel total (gr)
W_1	Berat sampel lolos saringan (gr)
W_2	Berat picknometer kosong (gr)
W_3	Berat picknometer + tanah kering (gr)
W_4	Berat picknometer + tanah basah (gr)
W_c	Berat picknometer + air (gr)
W_{ck}	Berat cawan + tanah kering (gr)
W_{ctb}	Berat cawan kosong (gr)
X	Berat cawan + tanah basah (gr)
X_i	Curah hujan rata-rata (mm)
X_T	Curah hujan di stasiun hujan ke 1 (mm)
	Debit banjir maksimum kala ulang T tahun
Y	
Y_n	<i>Reduced variate</i>
	Mean dari <i>reduced variate</i>

α	Koefisien karakteristik DAS
λ	Void ratio
ρ	Berat jenis air (g/cm ³)
σ	
ϕ	Berat jenis sedimen (g/cm ³)
μ	Sudut gesek dalam statis
Σd	Perbandingan lebar celah dan pelimpah
σ_n	Berat sampel tertahan saringan (gr)
	Simpangan baku <i>reduced variate</i>



DAFTAR PERSAMAAN

3.1 Perhitungan Data Hujan Rusak/Hilang	23
3.2 Perhitungan Curah Hujan Rata-Rata Harian (mm)	23
3.3 Perhitungan Curah Hujan Rata-Rata	24
3.4 Perhitungan Standar Deviasi	25
3.5 Perhitungan Koefisien Skewness	25
3.6 Perhitungan Koefisien Kurtois	25
3.7 Perhitungan Koefisien Variasi	26
3.8 Perhitungan Debit Banjir Kala Ulang T Tahun Distribusi Log Normal	26
3.9 Perhitungan Debit Banjir Kala Ulang T Tahun Distribusi Gumbel	27
3.10 Perhitungan Debit Banjir Kala Ulang T Tahun Distribusi Log Pearson III	27
3.11 Perhitungan Derajat Kebebasan Uji Chi Kuadrat	28
3.12 Perhitungan Probabilitas Uji Smirnov Kolmogorov	29
3.13 Perhitungan Periode Ulang Uji Smirnov Kolmogorov	29
3.14 Perhitungan Debit Banjir Puncak Metode Nakayasu	30
3.15 Perhitungan Waktu Dari Permulaan Banjir Sampai Puncak Hidrograf	30
3.16 Perhitungan Waktu Konsentrasi Untuk $L > 15$ km	30
3.17 Perhitungan Waktu Konsentrasi Untuk $L < 15$ km	30
3.18 Perhitungan Waktu Dari Puncak Banjir Sampai 0,3 Kali Debit Puncak	30
3.19 Perhitungan Tipe Aliran	33
3.20 Perhitungan Konsentrasi Sedimen Metode Takahashi	34
3.21 Perhitungan Konsentrasi Sedimen Metode Mizuyama	34
3.22 Perhitungan Koefisien Koreksi Aliran Debris	34
3.23 Perhitungan Estimasi Volume Aliran Sedimen Sekali Banjir	35
3.24 Perhitungan Tampung Tetap/Mati (<i>dead storage</i>)	35
3.25 Perhitungan Volume Total	35
3.26 Perhitungan Volume Kontrol	36

3.27 Perhitungan Debit Puncak Aliran Debris	36
3.28 Perhitungan Volume Aliran Debris	36
3.29 Perhitungan Berat Jenis Sedimen	37
3.30 Perhitungan Kadar Air	38
3.31 Perhitungan Tegangan Normal	38



ABSTRAK

Gunung Merapi yang berada di perbatasan antara Daerah Istimewa Yogyakarta dengan Provinsi Jawa Tengah merupakan salah satu gunung berapi paling aktif di Indonesia. Salah satu erupsi besar yang terjadi yaitu pada tahun 2010 yang menyebabkan banyak korban jiwa dan materi. Dampak setelah erupsi salah satunya yaitu adanya aliran debris atau lahar dingin yang mengalir di Kali Gendol. Untuk menanggulangi dampak tersebut dibangun bangunan pengendali sedimen yaitu sabo dam. Sabo dam GE-C13 adalah salah satu sabo dam yang dibangun di daerah aliran sungai (DAS) Kali Gendol yang diharapkan dapat mengendalikan sedimen yang mengalir akibat aktivitas vulkanik Gunung Merapi. Oleh karena itu, diperlukan analisis kapasitas tampungan sabo untuk mengetahui apakah bangunan sabo dam dapat mengendalikan aliran sedimen yang terjadi.

Analisis kapasitas tampungan sabo dam dilakukan dengan cara memperhitungkan curah hujan harian maksimum dan intensitas hujan kala ulang 100 tahun dengan persamaan Monnonabe dan juga imbalan sedimen yang masuk dan keluar dengan persamaan Shimoda. Untuk mengetahui karakteristik dan volume potensi sedimen digunakan persamaan Takahashi dan Mizuyama yang disesuaikan dengan kondisi yang terjadi. Analisis yang dilakukan hanya di Sabo Dam GE-C13 tanpa mempertimbangkan kapasitas bangunan sabo dam lain yang berada di aliran Kali Gendol.

Hasil perhitungan debit banjir rancangan kala ulang 100 tahun didapat curah hujan sebesar 131,789 mm dengan intensitas hujan 109,826 mm/jam yang berpotensi menimbulkan aliran debris. Volume potensi masukan sedimen yang terjadi sebesar 82.942,98 m³. Dalam perhitungan imbalan sedimen dengan persamaan Shimoda dapat disimpulkan bahwa tidak ada sedimen yang melimpas alami. Jika memperhitungkan adanya sedimen dari erosi lereng dan sungai di Kali Gendol karena pengaruh kemiringan lereng yang mencapai 4.627.000 m³, maka akan terdapat sedimen yang melimpas sebesar 4.278.541,98 m³. Hasil tersebut terjadi akibat tidak memperhitungkan kapasitas tampungan sedimen dari enam sabo dam yang berada di atas Sabo Dam GE-C13.

Kata Kunci : debris, sabo dam, imbalan sedimen, kapasitas tampungan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gunung Merapi yang berada di perbatasan antara Daerah Istimewa Yogyakarta dengan Provinsi Jawa Tengah merupakan salah satu gunung teraktif di dunia. Berdasarkan data dari Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG) tercatat pada periode sejarah modern selama 7 dekade Gunung Merapi terus mengalami erupsi secara berkala pada periode pendek setiap 4-5 tahun dan periode panjang 10-15 tahun. Aktivitas erupsi Gunung Merapi yang terus berlangsung sampai sekarang, menyebabkan endapan material vulkanik pada alur sungai yang mengancam kestabilan infrastruktur eksisting sungai. Pasca bencana lahar dingin tahun 2010 Kali Gendol adalah salah satu yang terdampak dan menerima kerugian yang cukup besar dalam bencana tersebut. Kerusakan meliputi pemukiman warga, daerah pertanian, sarana transportasi, dan kenaikan dasar sungai yang cukup tinggi serta rusaknya bangunan sabo dam eksisting yang telah dibangun.

Berdasarkan data *Study on Additional Sabo Facility in Gendol River & Putih River after The 2010 Mt. Merapi Eruption from Yachiyo Engineering Consultant*, selama masa kejadian erupsi Gunung Merapi Tahun 2010 beberapa bangunan sabo dam di Kali Gendol terkubur dan kapasitasnya sudah terisi penuh. Dari total 19 bangunan sabo dam di Kali Gendol, 1 bangunan sabo dam paling atas hilang terkubur hingga saat ini, 9 bangunan sabo dam dibawahnya (GE-D7 sampai GE-C10) hilang terkubur, dan bangunan sabo dam sisanya sudah penuh dengan sedimen. 12 tahun berlalu, sudah ada beberapa sabo dam yang diperbaiki dan ditambah. Sabo Dam GE-C13 adalah salah satu bangunan sabo dam yang dulunya terkubur sedimen namun sudah diperbaiki dan berfungsi kembali. Dilihat dari letak bangunannya, Sabo Dam GE-C13 termasuk bangunan sabo awal yang diharapkan dapat menahan laju sedimen yang mengalir saat terjadi erupsi di Kali

Gendol. Hal tersebut menjadi dasar dipilihnya Sabo Dam GE-C13 untuk dianalisis kapasitas tampungnya. Diharapkan dari penelitian ini dapat diketahui kondisi tampungan Sabo Dam GE-C13 dan dapat dilakukan evaluasi lebih lanjut terhadap pengendalian sedimen yang terjadi untuk menjaga kelestarian bangunan sabo dam dan disekitar Gunung Merapi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian di atas, maka dapat dirumuskan beberapa sebagai berikut.

1. Berapa volume sedimen yang tertampung dan pengaruhnya bagi bangunan Sabo Dam GE-C13 ?
2. Bagaimana kondisi kapasitas tampungan Sabo Dam GE-C13 berdasarkan keseimbangan sedimen yang terjadi pada tahun 2022 ?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui besarnya volume sedimen yang tertampung dan pengaruhnya bagi bangunan Sabo Dam GE-C13,
2. Mengetahui kondisi kapasitas tampungan Sabo Dam GE-C13 berdasarkan keseimbangan sedimen yang terjadi pada tahun 2022.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Diharapkan dapat diperoleh hasil analisis mengenai kapasitas tampungan bangunan Sabo Dam GE-C13.
2. Dapat mengetahui jumlah volume sedimen yang tertampung dan pengaruhnya bagi bangunan Sabo Dam GE-C13
3. Diharapkan hasil analisis ini dapat dimanfaatkan oleh pihak terkait sebagai referensi dalam pengawasan dan perawatan sabo dam dan juga penelitian lain

dalam menganalisis kapasitas tampungan dan sedimentasi pada sabo dam di area Kali Gendol.

1.5 Batasan Penelitian

Untuk menghasilkan pemahaman dalam masalah ini maka diperlukan adanya batasan-batasan masalah. Adapun batasan-batasan masalah dalam hal ini adalah sebagai berikut ini.

1. Tempat yang diambil dan digunakan dalam penelitian ini adalah Sabo DAM GE-C13 yang terletak di Cangkringan, Sleman, DIY,
2. Data teknis Sabo DAM GE-C13 diambil dari Balai Teknik Sabo,
3. Tidak memperhitungkan kestabilan bangunan atas gaya geser dan guling,
4. Tidak memperhitungkan pengaruh kapasitas tampungan bangunan sabo dam di bagian hulu dan hilir Sabo DAM GE-C13.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Kapasitas Tampung Sabo DAM

Vianey, M.R. (2019) melakukan penelitian tentang analisis kapasitas tampungan Sabo Dam GE-C12 di Kali Gendol, Yogyakarta. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan analisis data dengan program *ArcGIS 10.5* dan *Microsoft Excel* diketahui bahwa daerah tangkapan air dari bangunan Sabo Dam GE-C12 adalah sebesar 13.316 km² dengan panjang sungai 11.745,54 km. Dari hasil perhitungan curah hujan harian maksimum dengan kala ulang 100 tahun diperoleh curah hujan sebesar 163,60 mm dengan intensitas 51,21 mm/jam dan debit banjir 142,18 m³/detik. Dari hasil perhitungan tersebut, disimpulkan bahwa terdapat potensi terjadinya aliran debris karena intensitas hujan yang terjadi lebih besar dari 50 mm/jam.
2. Dari hasil pemeriksaan sedimen di Laboratorium Penyelidikan Tanah, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, diperoleh data berat jenis sedimen sebesar 2,74 gram/cm³, kadar airnya sebesar 10,77% untuk bagian hulu serta 11,51% untuk bagian hilir. Sedangkan untuk hasil pemeriksaan kuat geser langsung, diperoleh nilai sudut geseknya sebesar 51,795°. Hasil pemeriksaan gradasi butiran sedimen di bagian hulu dan hilir bangunan Sabo Dam GE-C12 menunjukkan bahwa sedimen di 2 lokasi tersebut digolongkan sebagai tanah berbutir kasar. Apabila dilihat langsung di lapangan, sedimen dari erupsi Gunung Merapi memiliki karakteristik bervariasi yang terdiri dari tanah, pasir, kerikil, hingga batu kecil maupun besar.
3. Tipe aliran yang terjadi adalah aliran hiperkonsentrasi dengan nilai konsentrasi sedimen (Cd) sebesar 0,048. Volume potensi input aliran sedimen pada kala ulang 100 tahun adalah 35.321,53 m³/tahun.

4. Sebagai perbandingan dengan kondisi asli di lapangan, apabila memperhitungkan besarnya potensi sedimen karena pengaruh erosi lereng dan sungai, hasil keseimbangan sedimen menunjukkan bahwa akan terdapat volume yang melimpas alami maupun akibat penambangan sebesar 4.034.020,09 m³. Hal tersebut mungkin terjadi karena perhitungan hanya meninjau kapasitas tampungan di Sabo Dam GE-C12 tanpa kapasitas bangunan sabo di atasnya. Apabila dilihat secara visual di lapangan pun, sampai saat ini sedimen yang tersisa di tujuh bangunan sabo bagian hulu masih sangat layak.
5. Berdasarkan hasil perhitungan keseimbangan sedimen dengan persamaan Shimoda diperoleh nilai volume *dead storage* (V_{ds}) sebesar 67.689,53 m³, volume kontrol (V_c) sebesar 33.844,77 m³, dan volume sedimen tertahan (V_H) sebesar 50.797,148 m³. Karena volume sedimen yang masuk lebih kecil daripada besarnya volume *dead storage*, volume kontrol, dan volume sedimen tertahan maka nilai volume sedimen yang melimpas alami bernilai negative sebesar -116.979,91 m³ dan -592.979,91 m³ karena penambangan. Dapat disimpulkan bahwa imbangan sedimen dapat tercapai dan tidak ada sedimen yang melimpah ke hilir karena adanya bangunan Sabo Dam GE-C12. Dari hasil perhitungan imbangan sedimen juga dapat disimpulkan bahwa hingga kala ulang 100 tahun, bangunan Sabo Dam GE-C12 masih mampu mengendalikan aliran sedimen yang mungkin terjadi.
6. Berdasarkan data dari *Draft Review Masterplan Merapi 2017*, volume kapasitas bangunan Sabo Dam GE-C12 saat ini adalah 53.400 m³ dan volume sedimen yang tersisa saat ini di bangunan sabo adalah 2.100 m³. Sehingga dapat disimpulkan bahwa bangunan Sabo Dam GE-C12 baru terisi sebesar 4% sedimen dari total kapasitasnya.
7. Dari hasil perhitungan yang didasarkan pada tipe bangunan sabo, diestimasikan bahwa debit aliran sedimen atau debris yang terjadi di bangunan Sabo Dam GE-C12 bisa mencapai 823,32 m³/detik. Hal tersebut sangat mungkin terjadi mengingat aliran debris adalah aliran dengan kecepatan yang tinggi dan daya rusak yang tinggi.

2.2 Analisis Curah Hujan Dengan Metode HSS Nakayasu

Abdunnafi, G. (2000) melakukan penelitian tentang analisa curah hujan dengan metode hidrograf satuan sintetik nakayasu terhadap terjadinya migrasi *debris flow* Kali Putih Gunung Merapi. Dari data yang diperoleh melalui eksperimen, hasil analisa berdasarkan grafik dan pembahasan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Intensitas hujan maksimum lebih besar dari 36 mm/jam akan menyebabkan terjadinya aliran debris,
2. Persentase estimasi mendasar terjadinya aliran debris terhadap persamaan Takahashi tiap titik pada Kali Putih adalah : PU – D2.2 sebesar 0,16%, PU – D2.1 sebesar 8,31%, PU – D1.3 sebesar -14,1%, PU – D1.2 sebesar 1,77%, PU – D1.1 sebesar 0,16%, PU – C10.3 sebesar 42,06%, PU – C10.2 sebesar 8,56%, PU – C10.1 sebesar 3,34%,
3. Parameter yang dominan mempengaruhi terjadinya aliran debris dari persamaan Takahashi adalah kemiringan dasar sungai (θ) dan ketinggian air (h_0). Pada alur Kali Putih Gunung Merapi kejadian aliran debris terjadi pada kemiringan dasar minimum 8,5 derajat dan kedalaman air minimum 0,032 m,
4. Curah hujan anteseden memiliki pengaruh dominan terhadap terjadinya aliran debris, sehingga dapat digunakan sebagai parameter untuk memprediksi kejadian aliran debris,
5. Persamaan Takahashi diturunkan dalam kondisi ideal di laboratorium. Untuk penerapan persamaan *Takahashi* dengan kondisi yang nyata di lapangan perlu kecermatan dan ketelitian dalam pengambilan sampel di lapangan, khususnya dalam menetapkan daerah yang diasumsikan sebagai tempat dimulainya aliran debris.

2.3 Perhitungan Debit Banjir Lahar Dingin

Gunawan, R, dkk. (2015) melakukan penelitian tentang studi kasus imbalanced angkutan sedimen di Kali Putih. Dari hasil perhitungan debit banjir

rencana Kali Putih dengan menggunakan metode rasional, metode *Weduwen*, dan metode *Hasper* dipilih metode *Rasional*. Debit banjir rencana diperoleh sebesar $233,94 \text{ m}^3/\text{det}$ untuk periode ulang 5 tahun dan dari hasil perhitungan transport sedimen di Kali Putih menggunakan metode Meyer-Peter-Muller diperoleh timbunan bahan dasar selama 1 jam sebesar 16.776 m^3 . Dari hasil penambangan yang dilakukan di daerah Srumbung didapatkan pengangkutan sebesar 492.750 m^3 (dalam 1 tahun). Sehingga banyaknya pengangkutan sedimen yang dilakukan oleh para penambang dalam 1 tahun (492.750 m^3) dapat diimbangi dengan lama banjir selama 29,4 jam yang menghasilkan timbunan dasar sebesar $493.214,4 \text{ m}^3$.

Rahayu, N, dkk. (2014) melakukan analisis potensi sedimen debris di DAS Konto Pasca Erupsi Gunung Kelud pada tahun 2014. Analisa perhitungan debit rancangan pada studi ini dilakukan dengan beberapa metode pendekatan empiris diantaranya dengan metode *Rasional*, metode *Weduwen*, metode *Hasper* dan metode *Nakayasu*. Dari hasil perhitungan yang diperoleh disesuaikan dengan debit pengamatan di lapangan saat terjadi banjir. Berdasarkan analisa tersebut hasil yang mendekati kondisi di lapangan adalah analisa dengan pendekatan metode rasional, untuk kemudian digunakan dalam analisa lebih lanjut.

Besar volume total potensi sedimen masing – masing outlet di DAS Konto yaitu pada titik outlet Siman (DAS_CD1) sebesar $997737,13 \text{ m}^3$, titik outlet Lemurung (DAS_CD2) sebesar $1052645,33 \text{ m}^3$ dan pada titik outlet Damarwulan (DAS_CD3) sebesar $1255616,35 \text{ m}^3$.

2.4 Analisis Stabilitas Sabo Dam GE-C13

Madiastuti, S. (2020) melakukan penelitian tentang analisis stabilitas bangunan pengendali sedimen Gunung Merapi (studi kasus Sabo Dam GE-C13, Kali Gendol). Hasil analisis pembahasan yang dilakukan sebelumnya menghasilkan beberapa kesimpulan antara lain :

1. Besaran debit banjir rancangan untuk periode ulang 50 tahunan di Kali Gendol dengan luas DAS 10 km^2 sesuai dengan hidrograf satuan sintetik metode nakayasu sebesar $51,401 \text{ m}^3/\text{detik}$,
2. Karakteristik tanah pada lokasi penelitian di Sabo Dam GE-C13 memiliki

kadar air sebesar 5,35%, berat jenis tanah dengan nilai G_s sebesar 2,65 dengan jenis tanah silty sand, nilai kohesi tanah sebesar $0,291 \text{ kg/cm}^2$ dan sudut geser sebesar $35,32^\circ$, nilai permeabilitas tanah sebesar 1×10^{-3} ,

3. Analisis stabilitas bangunan pengendali sedimen Sabo Dam GE-C13 di dapatkan stabilitas main dam saat kondisi normal dengan nilai stabilitas guling sebesar $8,39 > 2$ (aman), stabilitas terhadap geser sebesar $2,99 > 1,5$ (aman) dan stabilitas terhadap penurunan tanah sebesar $F_{kmax} 24,85 > 1,5$ (aman), dan $F_{kmin} 6,07$ (aman). Stabilitas main dam saat kondisi banjir dengan nilai stabilitas guling sebesar $6,39 > 2$ (aman), stabilitas terhadap geser sebesar $2,21 > 1,5$ (aman) dan stabilitas terhadap penurunan tanah sebesar $F_{kmax} 14,5 > 1,5$, dan F_{kmin} (aman) $6,71 > 1,5$ (aman), stabilitas main dam saat kondisi gempa dengan nilai stabilitas guling sebesar $5,08 > 2$ (aman), stabilitas terhadap geser sebesar $3,58 > 1,5$ (aman) dan stabilitas terhadap penurunan tanah sebesar $F_{kmax} 24,11 > 1,5$ (aman), dan $F_{kmin} 5,66 > 1,5$ (aman),
4. Analisis stabilitas terhadap rembesan dengan nilai $CL = 31,149 < 73,01$ (tidak aman), stabilitas ketebalan lantai terjun dengan nilai stabilitas guling sebesar $2,98 > 2$ (aman), stabilitas terhadap geser sebesar $2,99 > 1,5$ (aman),
5. Analisa stabilitas terhadap dinding tepi dengan nilai stabilitas guling sebesar $4,9 > 2$ (aman), stabilitas terhadap geser sebesar $2,7 > 1,5$ (aman) dan stabilitas terhadap penurunan tanah sebesar $F_{kmax} 109,83 > 1,5$ (aman), dan $F_{kmin} 6,35$ (aman).

2.5 Perbedaan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Sekarang

Perbandingan dari semua penelitian terdahulu dengan penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Judul	Tujuan	Metode	Lokasi	Hasil
Abdunnafi, G, (2016)	Analisis curah hujan dengan metode hidrograf satuan sintetik nakayasu terhadap terjadinya migrasi <i>debris flow</i> Kali Putih Gunung Merapi	Penelitian ini untuk menganalisa curah hujan yang menyebabkan terjadinya aliran debris, mencari nilai persentase terjadinya aliran debris dengan persamaan Takahashi pada Kali Putih Gunung Merapi, mengetahui ketebalan muka air minimum dan kemiringan sungai yang menyebabkan terjadinya aliran	Metode yang digunakan yaitu persamaan Takahashi untuk menentukan nilai kedalaman air yang menyebabkan aliran debris, analisis curah hujan, dan analisis sensitifitas persamaan Takahashi.	Lokasi yang ditinjau DAS Kali Putih, Yogyakarta.	Hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa data yang menyebabkan aliran debris ataupun yang tidak menyebabkan aliran debris ternyata belum sesuai yang diharapkan, untuk itu ada beberapa hal yang perlu diperhatikan diantara lain : parameter yang dominan mempengaruhi perbedaan hasil analisa sensitifitas persamaan Takahashi yaitu kemiringan dasar sungai (θ) dan perhitungan ketinggian air (h_0) lalu pada alur Kali

		<p>debris pada Kali Putih Gunung Merapi, Menganalisa pengaruh curah hujan anteseden terhadap terjadinya aliran debris, menjabarkan hasil penelitian sebagai masukan pengembangan sistem peringatan dini bencana sekunder Gunung Merapi.</p>		<p>Putih kejadian aliran debris terjadi pada kemiringan dasar minimum 8,5 derajat dan kedalaman air minimum 0,032 m selain itu proses perhitungan untuk mendapatkan nilai kedalaman air (ho) dari persamaan Takahashi masih mempunyai kelemahan selain itu sampel yang diambil pada saat tidak terjadi aliran debris, sedangkan kondisi yang ideal sampel diambil pada saat akan terjadi aliran debris tapi hal ini sulit dilakukan karena disamping sulit memprediksi kapan</p>
--	--	---	--	--

					<p>terjadinya aliran debris juga faktor keamanan dan juga persamaan Takahashi diturunkan dalam kondisi ideal di laboratorium untuk bisa mendapatkan nilai sesuai (diandalkan) dengan kondisi yang nyata di lapangan perlu kecermatan dan ketelitian dalam pengambilan sampel di lapangan.</p>
Vianey, M.R (2019)	Analisis kapasitas tampungan Sabo Dam GE-C12 di Kali Gendol, Yogyakarta Analisis kapasitas tampungan Sabo	Metode yang digunakan dengan cara mengambil data primer dan sekunder kemudian dilakukan analisis data untuk mendapatkan kondisi kapasitas tampungan serta volume dan	Metode yang dilakukan dengan cara melakukan studi Pustaka terhadap fenomena banjir lahar akibat banjir lahar, melakukan	Lokasi yang ditinjau yaitu Sabo Dam GE-C12 di Kali Gendol, Yogyakarta.	Hasil perhitungan menunjukkan adanya volume sedimen yang melimpas baik secara alami maupun karena penambangan. Hasil perhitungan pun menunjukkan bahwa

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian

	<p>Dam GE-C12 di Kali Gendol, Yogyakarta</p>	<p>di</p> <p>pengaruh penambangan sekitar sabo.</p>	<p>di</p> <p>pengecekan terhadap kondisi eksisting sungai pasca erupsi, mengidentifikasi data sekunder yang digunakan lalu dilakukan analisis data geometri sungai, perilaku dan karakteristik banjir lahar/aliran debris, intensitas hujan, dan rekaman kejadian banjir lahar.</p>	<p>volume sedimen yang melimpas hingga 4 juta meter kubik. Namun, hal tersebut mungkin terjadi karena data potensi sedimen akibat erosi lereng maupun erosi sungai mencakup satu ruas wilayah Kali Gendol serta data volume <i>dead storage</i>, volume control, dan volume tertahan hanya dititikberatkan pada bangunan Sabo Dam GE-C12. Artinya perhitungan ini tidak memperhatikan volume kapasitas tampungan tujuh bangunan sabo di bagian hulu (di atas Sabo Dam GE-C12). Jika bangunan sabo di atasnya diperhitungkan, besarnya sedimen yang melimpas alami maupun karena penambangan akan bernilai lebih kecil dari hasil</p>
--	--	---	---	--

					<p>perhitungan di atas. Apabila dilihat secara langsung di lapangan, sampai saat ini sedimen yang tersisa di bangunan sabo dari puncak Merapi hingga bangunan Sabo Dam GE-C12 masih sangat banyak. Sehingga hasil perhitungan di atas membuktikan bahwa Sehingga hasil perhitungan di atas membuktikan bahwa kemungkinan besar masih akan terdapat sedimen yang melimpas ke bagian hilir. Oleh karena itu, tentu saja harus diperhitungkan lebih lanjut untuk mengantisipasi dan mengontrol jumlah sedimen yang melimpas ke bagian hilir.</p>
Fitra, F.S. (2019)	Penelitian ini bertujuan untuk	Studi keandalan tumpungan sedimen Sabo Dam Sehati Pulau Seram Maluku	Metode yang dilakukan dengan mengambil data	Lokasi yang ditinjau yaitu Sabo Dam Sehati Pulau Seram Maluku	Hasil yang didapat dari perhitungan sedimentasi menggunakan Meyer Petter

	<p>menganalisis angkutan sedimen sungai, kapasitas tampungan Sabo Dam Sehati, durasi tampungan penuh Sabo Dam pada debit andal sungai</p>	<p>Tengah</p>	<p>primer dan sekunder seperti pengukuran topografi, pengukuran kecepatan aliran, pengambilan sampel sedimen dan data curah hujan lalu dilakukan analisis curah hujan rancangan, konsentrasi sedimen, debit aliran sungai, debit banjir rancangan dan kapasitas</p>	<p>Tengah.</p>	<p>Muller yaitu hasil <i>suspended load</i> sebesar 0,0176 ton/hari untuk debit normal, 0,055 ton/hari untuk debit banjir periode ulang 10 tahun, dan 0,061 ton/hari untuk debit banjir periode ulang 25 tahun. <i>Bed load</i> sebesar 2,22 ton/hari untuk debit normal 3,07 ton/hari untuk debit banjir periode ulang 10 tahun, dan 3,07 ton/hari untuk debit banjir periode ulang 25 tahun. Disimpulkan Sabo Dam Sehati dapat menampung sedimen sebanyak 9.140,62 m³ dan memerlukan waktu</p>
--	---	---------------	---	----------------	---

			tampungan sabo dam		27 tahun penuh jika debit normal, 1,12 tahun jika debit banjir periode ulang 10 tahun, dan 1,019 tahun jika debit banjir periode ulang 25 tahun.
Madiastuti, S (2020)	Analisis stabilitas bangunan pengendali sedimen Gunung Merapi (studi kasus Sabo Dam GE-C13, Kali Gendol)	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hidrograf banjir rencana 50 tahunan di Kali Gendol, parameter tanah di lokasi penelitian sabo dam, stabilitas bangunan pengendali sedimen GE-C13 di Kali Gendol meliputi stabilitas guling, stabilitas terhadap geser, stabilitas terhadap daya dukung tanah pada main dam atau bendung utama dan dinding tepi	Metode yang digunakan berupa pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dengan melakukan survey dilokasi penelitian untuk mengetahui kondisi lingkungan yang akan diteliti secara langsung dan pengujian tanah yang ada dilokasi kemudian di uji di	Lokasi yang ditinjau yaitu Sabo Dam GE-C13 Kali Gendol, Yogyakarta.	Hasil yang diperoleh dari penelitian yaitu besaran debit banjir rancangan untuk periode ulang 50 tahun di Kali Gendol dengan luas DAS 9,6229 km ² sesuai dengan hidrograf satuan sintetik metode <i>Nakayasu</i> sebesar 51,401 m ³ /detik. Selain itu, analisis stabilitas bangunan pengendali sedimen Sabo Dam GE-C13 didapatkan stabilitas main dam saat kondisi banjir dengan nilai stabilitas guling sebesar $6,39 > 2$ (aman), stabilitas

		<p>meliputi stabilitas terhadap rembesan dan lantai terjun terhadap gaya angkat.</p>	<p>laboratorium. Data sekunder diperoleh dengan mengumpulkan data berupa data hujan tahunan, peta topografi wilayah yang diteliti dan gambar sabo dam gec13 di dinas terkait. Kemudian dari data yang sudah diperoleh dibuatlah peta DAS sebagai acuan Batasan wilayah yang akan diteliti. Penelitian ini dilakukan di lokasi sabo dam GE-C13, Cangkringan, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.</p>	<p>terhadap geser sebesar $2,21 > 1,5$ (aman) dan stabilitas terhadap penurunan tanah sebesar $F_{kmax} 43,94 > 1,5$ F_{kmin} (aman) $10,74 > 1,5$ (aman)</p>
--	--	--	---	--

<p>Hanif, M.R (2022)</p>	<p>Analisis Kapasitas Tampungan Sabo Dam GE-C13 Kali Gendol</p>	<p>Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya volume sedimen yang tertampung dan pengaruhnya bagi bangunan Sabo Dam GE-C13, mengetahui kondisi kapasitas tampungan Sabo Dam GE-C13 berdasarkan keseimbangan sedimen yang terjadi pada tahun 2022</p>	<p>Metode yang digunakan berupa pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer berupa data sedimen dari pengujian laboratorium sedangkan data sekunder berupa data teknis sabo dam, data kemiringan lahan, data sedimen eksisting, dan data curah hujan. Dilakukan analisis hidrologi dan pemeriksaan data sedimen di laboratorium untuk mengetahui kondisi kapasitas tampungan dan volume potensi sedimen di Sabo Dam GE-C13.</p>	<p>Lokasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu pada Bangunan Sabo Dam GE-C13, Cangkringan, DIY.</p>	
------------------------------	---	--	---	---	--

2.6 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 penulis adalah sebagai berikut.

1. DAS yang ditinjau adalah DAS Gendol, daerah hulu hingga bangunan pengendali sedimen GE-C13,
2. Data curah hujan menggunakan 1 stasiun hujan yang terletak di sekitar lokasi penelitian yaitu stasiun Sorasan dengan panjang data 11 tahun dari tahun 2010-2020,
3. Perhitungan debit banjir rancangan menggunakan metode HSS *Nakayasu*,
4. Pustaka yang dijadikan sebagai referensi utama pada tugas akhir ini adalah SNI Pd-T-18-2004-A, buku Pengantar Teknologi Sabo (Cahyono, J, 2000), dan SNI 2851-2015,
5. Perhitungan uji kecocokan data menggunakan *Chi Square Test*,
6. Analisis kontrol aliran massa sedimen, data sedimen dan kapasitas tampungan sabo dam yang tersisa diambil pada tahun 2022 dari BBWS Serayu Opak.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Aliran Debris

Aliran debris adalah aliran air sungai dengan konsentrasi sedimen tinggi pada sungai dengan kemiringan sangat curam. Aliran sungai ini seringkali membawa batu-batu besar dan batang-batang pohon. Aliran debris meluncur dengan kecepatan tinggi memiliki kemampuan daya rusak yang besar, sehingga mengancam kehidupan manusia, menimbulkan kerugian harta dan benda serta merusak lingkungan. Material sedimen yang dibawa aliran debris bisa berasal dari letusan gunung berapi maupun material longsoran bukit atau tebing di bagian hulu (Sulistyono, B. 2013). Aliran lahar dingin merupakan salah satu jenis aliran debris di daerah vulkanik (gunung berapi) yang terbentuk dari campuran air dan sedimen.

Sejalan dengan aliran air mengalir ke hilir energi juga akan bergerak mengikuti transport air, material di dalam palung sungai dan dataran banjir. Schumm (1977) membagi 3 zona interaksi air dan lahan dalam sistem fluvial sebagai berikut.

1. Zona Produksi/Zona Pemasok Sedimen

Merupakan bagian hulu DAS memiliki lembah berbentuk v dengan kemiringan kurang dari 15 derajat yang langsung merupakan tebing sungai. Sungai memiliki kemiringan memanjang yang curam serta butiran sedimen yang besar. Aliran air mengalir deras dengan kecepatan tinggi. Banyak terjadi aktivitas erosi dari tebing dan dasar sungai.

2. Zona Transportasi

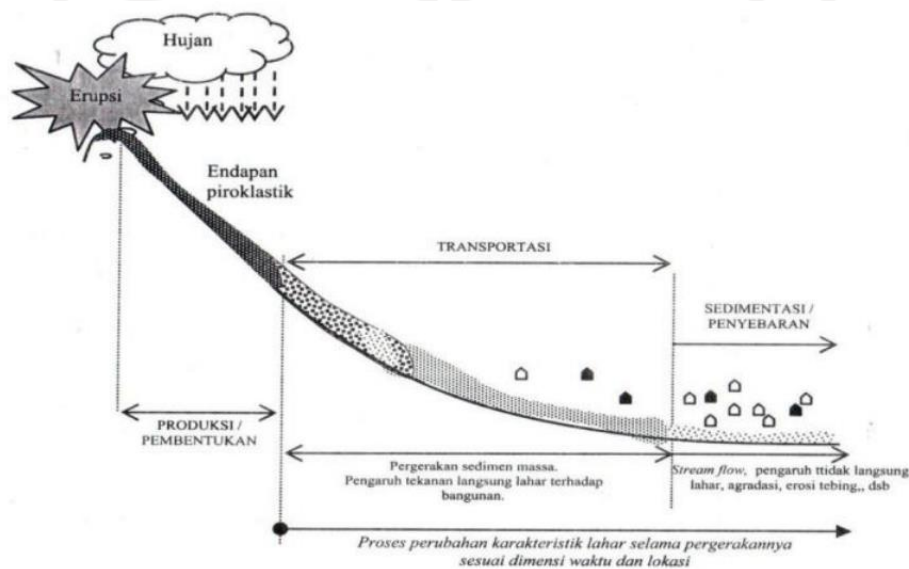
Letaknya di hilir zona 1 sungai dengan kemiringan 8 sampai 15 derajat yang mulai membentuk dataran banjir. Di zona ini sedimen dari hulu yang berasal dari hasil erosi tebing dan dasar sungai didistribusi ke hilir. Sedimen bervariasi dari batu kerikil di bagian hulu sampai lumpur dan lempung di bagian hilir

semua bergerak ke bawah. Meander mulai bergerak lateral, setelah banjir sedimen halus mengisi dataran banjir.

3. Zona Sedimentasi

Zona ini terletak paling bawah dekat dengan muara dengan kemiringan lebih besar dari 8 derajat. Semua yang berasal dari zona 1 dan 2 terkumpul di sini. Di sungai alami, zona ini merupakan daerah kehidupan satwa liar yang amat potensial.

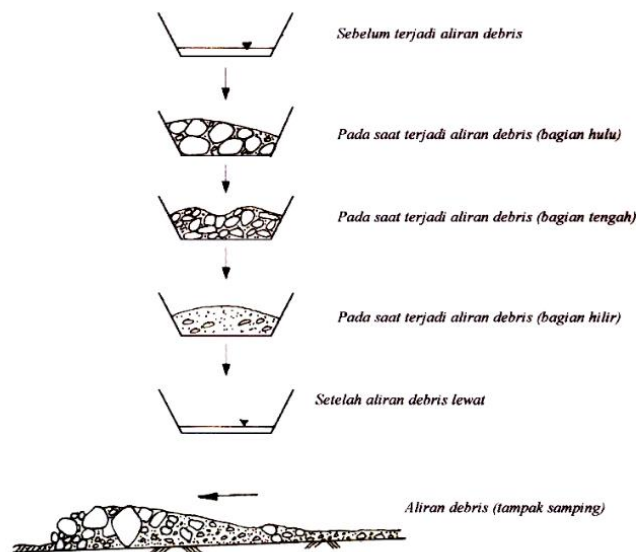
Ilustrasi proses terbentuknya aliran lahar di wilayah vulkanik dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Ilustrasi Proses Terbentuknya Aliran Debris

(Sumber H. Kusumosubroto, 2013)

Pada gerakan kolektif, batu-batu besar berada di bagian depan, diikuti batu-batu kecil di belakangnya, kemudian kerikil dan seterusnya sampai butiran terkecil berupa pasir di bagian ujung belakang. Massa sedimen banyak dan bergerak akibat gaya gravitasi sehingga arah aliran debris cenderung lurus sekalipun pada bagian sungai yang membelok. Oleh karena itu, aliran debris sering mendaki tebing sungai atau cekdam, di samping itu tenaganya yang besar mampu meruntuhkan tanggul maupun cekdam. Selain berupa sedimen, material yang terangkut pada saat terjadi aliran debris adalah sisa-sisa pohon yang tumbang dalam berbagai ukuran.



Gambar 3.2 Fenomena Aliran Debris

3.2 Sedimen

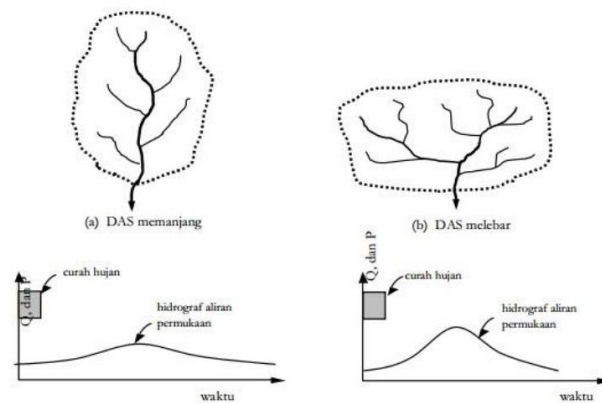
Sedimen adalah material atau pecahan dari batuan, mineral dan material organik yang dipindahkan dari berbagai sumber air darat maupun laut dan didepositkan oleh udara, angin, es, dan air. (Rizki, 2018) dalam (Ramadhan, H. 2020)

Menurut (Istiarto, 2014) transpor sedimen oleh aliran air adalah transport seluruh butir padat (*Solid*) yang melewati tampang lintang suatu aliran air.

1. Transpor sedimen dasar (*Bed Load*) adalah gerak butir sedimen yang bergerak di dasar saluran sungai.
2. Transpor sedimen layang (*Suspended Load*) adalah gerak butir sedimen yang bergerak melayang atau melompat jauh dan terkadang bersinggungan dengan sedimen dasar (*Bed Load*). Ukuran sedimen relatif kecil.
3. Transpor sedimen (*Washload*) adalah gerak butir sedimen yang bergerak sangat cepat dan jarang bersentuhan dengan sedimen dasar (*Bed Load*). Ukuran sedimen sangat kecil dan halus.

3.3 Daerah Aliran Sungai

Menurut (Triatmodjo, B. 2008) daerah Aliran Sungai (DAS) (*catchment, basin, watershed*) adalah daerah yang dibatasi oleh punggung-punggungan gunung/pegunungan di mana air hujan yang jatuh di daerah tersebut akan mengalir menuju sungai utama pada suatu titik/stasiun yang ditinjau. DAS ditentukan dengan menggunakan peta topografi dengan skala 1:50.000 yang dilengkapi dengan garis-garis kontur.. Garis-garis kontur dipelajari untuk menentukan arah dari limpasan permukaan. Ilustrasi bentuk daerah aliran sungai (DAS) dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Bentuk DAS

(Sumber Suripin, 2004)

3.4 Pengaruh Curah Hujan Dalam Terbentuknya Aliran Debris

Menurut (Watanabe dalam Mukhlisin. 1998) faktor yang menyebabkan terbentuknya aliran debris adalah adanya curah hujan yang tinggi dengan durasi yang cukup lama. Untuk memprediksi terjadinya aliran debris dapat diketahui beberapa metode, antara lain :

1. Memperkirakan hujan deras yang dapat menjadi penyebab terjadinya aliran debris,
2. Analisis statistik untuk mengetahui hubungan antara intensitas hujan dengan aliran debris,
3. Memperkirakan deposit sedimen yang tersisa dalam sungai.

3.5 Curah Hujan

Perhitungan curah hujan dapat dilakukan dengan berbagai metode. Salah satu metode analisis curah hujan yang dapat digunakan untuk menghitung curah hujan adalah metode *Polygon Thiessen* dengan memperhitungkan pembagian masing-masing stasiun yang mewakili luasan daerah disekitarnya. Dalam perhitungan curah hujan seringkali terdapat data yang hilang atau rusak (Mukhlisin, 1998). Untuk melengkapi data hujan harian yang hilang dapat digunakan metode resiprokal (*reciprocal method*) dengan persamaan (3.1)

$$P_X = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{p_i}{L_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{L_i^2}} \quad (3.1)$$

Keterangan :

P_X = data hujan yang rusak/hilang (mm)

p_i = data hujan stasiun yang menjadi acuan (mm)

L_i = jarak dari stasiun acuan ke stasiun yang data hujannya rusak/hilang (km)

Apabila data hujan harian yang rusak atau hilang sudah diperoleh, curah hujan rata-rata dan maksimum dapat diperhitungkan. Curah hujan rancangan dihitung dengan mempertimbangkan luas DAS yang dibagi ke setiap stasiun berdasarkan hasil penggambaran *Polygon Thiessen*. Untuk mengetahui nilai curah hujan rata-rata harian digunakan persamaan (3.2)

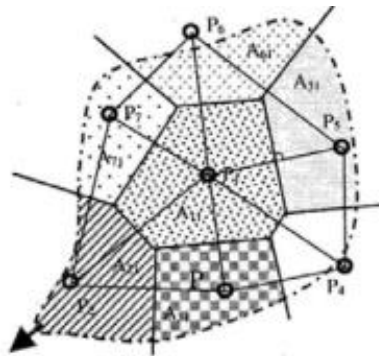
$$CH = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i \times A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (3.2)$$

Keterangan :

CH = curah hujan rata-rata harian (mm)

p_i = data hujan harian (mm)

A_i = luas wilayah stasiun hujan (km²)



Gambar 3.4 Poligon Thiessen

(Sumber Suripin, 2004)

3.6 Analisis Hujan Rancangan

Analisis hujan rancangan dilakukan melalui analisis frekuensi data hujan harian maksimum kemudian data hidrologi kemudian dikumpulkan, dihitung, disajikan dan ditafsirkan dengan menggunakan prosedur tertentu, yaitu metode mononobe. Pada kenyataannya, tidak semua varian dari suatu variable hidrologi terletak atau sama dengan nilai rata-ratanya. Variasi atau disperse adalah besarnya derajat atau besaran varian di sekitar nilai rata-ratanya. Cara mengukur besarnya disperse disebut pengukuran disperse (Soewarno, 1995). Adapun rumus yang digunakan untuk pengukuran disperse antara lain :

1. Harga Rata-Rata (X)

$$X = \frac{\sum_i^n X_i}{n} \quad (3.3)$$

dengan :

X = Curah Hujan rata-rata (mm)

X_i = Curah Hujan di stasiun hujan ke 1 (mm)

n = Jumlah data

2. Standar Deviasi (S_x)

Umumnya ukuran disperse yang paling banyak digunakan adalah deviasi standar (*standard deviation*) dan varian (*variance*). Varian dihitung sebagai nilai kuadrat dari deviasi standar. Apabila penyebaran data sangat besar terhadap nilai rata-rata maka nilai standar deviasi akan besar, akan tetapi apabila penyebaran data sangat kecil terhadap nilai rata-rata maka standar deviasi akan kecil dengan persamaan sebagai berikut :

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2}{n-1}} \quad (3.4)$$

dengan :

S_x = Standar deviasi

X = Curah hujan rata-rata (mm)

X_i = Curah hujan di stasiun hujan ke 1 (mm)

n = Jumlah data

3. Koefisien Skewness (C_s)

Kemencengan (*skewness*) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan (*assymetry*) dari suatu bentuk distribusi. Umumnya ukuran kemencengan dinyatakan dengan besarnya koefisien kemencengan (*coefficient of skewness*) dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - X)^3}{(n-1)(n-2)S_x^3} \quad (3.5)$$

dengan :

C_s = Koefisien skewness

X = Curah hujan rata-rata (mm)

X_i = Curah hujan di stasiun hujan ke 1 (mm)

n = Jumlah data

4. Koefisien Kurtosis (C_k)

Pengukuran kurtosis dimaksudkan untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi, yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (X_i - X)^4}{(N-1)(N-2)(N-3)S_x^4} \quad (3.6)$$

dengan :

C_k = Koefisien kurtosis

X = Curah hujan rata-rata (mm)

X_i = Curah hujan di stasiun hujan ke 1 (mm)

n = Jumlah data

S_x = Standar deviasi

5. Koefisien Variasi (C_v)

Koefisien variasi (varianion coefficient) adalah nilai perbandingan antara deviasi standar dengan nilai rata-rata hitung dari suatu distribusi dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_v = \frac{S_x}{x} \quad (3.7)$$

dengan :

C_v = Koefisien variasi

X = Curah hujan rata-rata (mm)

S_x = Standar deviasi

6. Analisis frekuensi yang telah dilakukan bertujuan untuk mengetahui jenis distribusi. Terdapat beberapa jenis distribusi sesuai dengan sifat-sifat yang diambil dari perhitungan analisis frekuensi yang telah dilakukan.

Distribusi *Normal*

- a. Sifat distribusi Normal antara lain :

$$C_s \cong 0,00$$

$$C_k = 3,00$$

$$Prob X \leq (X - \bar{S}) = 15,87\%$$

$$Prob X \leq \bar{X} = 50,00 \%$$

$$Prob X \leq (X + \bar{S}) = 84,14\%$$

- b. Distribusi *Log Normal*

Sifat distribusi Log Normal antara lain :

$$C_s \cong 3 C_v$$

$$C_s > 0$$

Persamaan garis teoritik probabilitas :

$$Y_T = Y \text{ rerata} + K_T \times S_Y \quad (3.8)$$

$$Y = \text{Log } X$$

dengan :

Y_T = nilai logaritmis hujan rencana dengan periode ulang T,

$Y \text{ rerata}$ = nilai rata-rata dari Log X = $\frac{\sum_{i=1}^n \log x_i}{n}$

K_T = faktor frekuensi yang nilainya bergantung pada T di tabel,

$$S_Y = \text{deviasi standar Log X} = \frac{\sum_{i=1}^n (\log x - \log x \text{ rerata})^2}{n-1}^{0,5}$$

c. Distribusi *Gumbel*

Sifat distribusi Gumbel antara lain :

$$C_s \cong 1,396$$

$$C_k \cong 5,4002$$

Persamaan garis teoritik probabilitasnya adalah :

$$X_T = \overline{X} + S / \sigma_n (Y - Y_n) \quad (3.9)$$

dengan :

Y = *reduced variate*,

Y_n = *mean dari reduced variate*,

σ_n = simpangan baku *reduced variate*,

n = banyaknya data

d. Distribusi *Log Pearson III*

Sifat distribusi Log Pearson III antara lain :

- jika tidak menunjukkan sifat-sifat seperti pada ketiga distribusi di atas,

- garis teoritik probabilitasnya berupa garis lengkung.

Persamaan garis teoritik probabilitasnya adalah :

$$Y_T = Y \text{ rerata} + K_T \times S_Y \quad (3.10)$$

$$Y = \text{Log } X$$

dengan :

Y_T = nilai logaritmis hujan rencana dengan periode ulang T,

$Y \text{ rerata}$ = nilai rata-rata dari Log X = $\frac{\sum_{i=1}^n \log x_i}{n}$

K_T = faktor frekuensi yang nilainya bergantung pada T di tabel,

S_Y = deviasi standar Log X = $\frac{\sum_{i=1}^n (\log x - \log x \text{ rerata})^2}{n-1}^{0,5}$.

3.7 Prosedur Uji Kesesuaian Data Distribusi

Tujuan dari uji distribusi probabilitas yaitu untuk mengetahui apakah persamaan distribusi yang dipilih dapat mewakili distribusi statistic sampel data yang dianalisis. Ada 2 metode pengujian yaitu metode pengujian Chi-Kuadrat dan Smirnov Kolmogorov (Kamiana, 2011).

1. Uji *Chi Kuadrat (Chi-Square)*

Uji *Chi Kuadrat* adalah salah satu jenis uji komparatif non parametris yang dilakukan pada dua variabel, di mana skala data kedua variabel adalah nominal. (Apabila dari 2 variabel, ada 1 variabel dengan skala nominal maka dilakukan uji chi square dengan merujuk bahwa harus digunakan uji pada derajat yang terendah). Uji *Chi Square* berguna untuk menguji hubungan atau pengaruh dua buah variable dan mengukur kuatnya hubungan antara variable yang satu dengan variable lainnya (Obe, L.F. 2021). Prosedur perhitungan uji *Chi Kuadrat* adalah sebagai berikut:

1. Urutkan data pengamatan dari besar ke kecil
2. Menghitung jumlah kelas yang ada $(K) = 1 + 3,322 \log n$
3. Dalam pembagian kelas disarankan agar setiap kelas terdapat minimal tiga buah pengamatan
4. Hitungan nilai $E_f = \left[\frac{\sum n}{\sum k} \right]$
5. Hitung banyaknya O_f untuk masing-masing kelas

Hitung nilai X_2C_r untuk setiap kelas kemudian hitung total X_2C_r dari tabel untuk derajat nyata tertentu yang sering diambil sebesar 5% dengan parameter

6. Derajat kebebasan

Rumus derajat kebebasan adalah :

$$DK = K - (R + 1) \quad (3.11)$$

dengan :

DK = Derajat kebebasan

K = Banyaknya kelas

R = Banyaknya keterikatan untuk uji *Chi-Kuadrat* adalah 2

2. Uji *Smirnov Kolmogorov*

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov juga disebut uji kecocokan non parametrik karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu, tetapi dengan memperhatikan kurva dan penggambaran data pada kertas probabilitas (Triatmodjo, B. 2008) Dari gambar dapat diketahui jarak penyimpangan setiap titik data terhadap kurva. Jarak penyimpangan terbesar merupakan nilai Δ_{maks} dengan kemungkinan didapat nilai lebih kecil dari nilai Δ_{kritis} , maka jenis distribusi yang dipilih dapat digunakan. Nilai Δ_{kritis} dapat dilihat pada lampiran empat. Berikut adalah persamaan yang dipakai untuk mencari probabilitas data :

$$P = \frac{m}{n+1} \quad (3.12)$$

$$\frac{1}{T} = P \quad (3.13)$$

Keterangan :

P = Probabilitas,

T = Periode ulang,

m = Nomor urut, dan

n = Jumlah data.

Kertas yang dipakai untuk setiap distribusi berbeda-beda. Kertas tersebut dibedakan menjadi kertas probabilitas distribusi normal, kertas probabilitas distribusi *Log Normal*, kertas probabilitas distribusi *Log Pearson III*, dan kertas probabilitas distribusi *Gumbel*. Dari gambar pada kertas probabilitas dicari jarak penyimpangan setiap titik data terhadap kurva teoritis. Jarak penyimpangan terbesar merupakan Δ_{maks} . Nilai Δ_{maks} harus lebih kecil dari Δ_{kritis} . Nilai dari Δ_{kritis} uji *Smirnov Kolmogorov* (Triatmodjo, B. 2008)

3.8 Analisis Debit Banjir Rancangan

Debit banjir rencana merupakan debit maksimum rencana di sungai atau saluran alamiah dengan periode ulang tertentu yang dapat dialirkan tanpa membahayakan lingkungan sekitar dan stabilitas sungai (Sarminingsih, A. 2018). Di daerah dimana data hidrologi tidak tersedia untuk menurunkan

hidrograf satuan, maka dibuat hidrograf satuan sintesis yang didasarkan pada karakteristik fisik dari DAS. Dalam perhitungan ini digunakan hidrograf satuan sintesis Nakayasu untuk menentukan debit banjir kala ulang T tahun, dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_p = \frac{1}{6} + \left(\frac{AR_e}{0,3T_p + T_{0,3}} \right) \quad (3.14)$$

$$T_p = T_g + 0,8 T_r \quad (3.15)$$

$$t_g = 0,4 + 0,058 L \text{ untuk } L > 15 \text{ km} \quad (3.16)$$

$$t_g = 0,21 L^{0,7} \text{ untuk } L < 15 \text{ km} \quad (3.17)$$

$$T_{0,3} = \alpha t_g \quad (3.18)$$

Dengan :

Q_p : debit banjir puncak

A : luas DAS (km²)

Re : curah hujan efektif (mm)

T_p : waktu dari permulaan banjir sampai puncak hidrograf (jam)

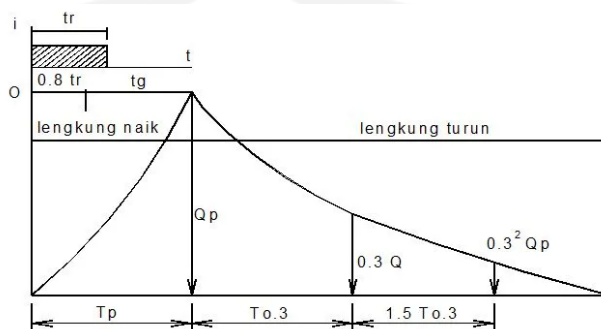
$T_{0,3}$: waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak (jam)

t_g : waktu konsentrasi (jam)

T_r : satuan waktu dari curah hujan (jam)

α : koefisien karakteristik DAS

L : Panjang sungai utama (km)



Gambar 3.5 Hidrograf Satuan Sintesis Nakayasu

(Sumber Triatmodjo, B. 2008)

3.9 Bangunan Sabo Dam

Menurut (Eka. 2011) sabo berasal dari Bahasa Jepang yang berarti pertahanan terhadap aktivitas bumi. Diperkenalkan pertama kali oleh Tamoaki Yokota. Sabo (shabo) berarti penahan ketika terjadi tanah longsor, baik itu disebabkan oleh air hujan, gempa bumi, maupun letusan gunung berapi, sehingga tanah longsor tersebut tidak akan merusakkan pemukiman penduduk dan prasarana kehidupan lainnya, serta mengganggu aktivitas manusia. Berbagai fungsi sabo diantaranya:

1. Melindungi manusia dan tempat tinggal beserta harta kekayaan mereka dari gangguan bencana alam yang diakibatkan oleh erosi dan aliran sedimen.
2. Memelihara kelestarian alam dan lingkungannya.
3. Melindungi daerah perkotaan, pedesaan serta bangunan-bangunan dan fasilitas umum dari bencana yang diakibatkan oleh aliran sedimen.
4. Membantu pengembangan daerah melalui pemanfaatan bangunan sabo secara serba guna.

Sabo dam biasanya dibangun pada daerah-daerah yang membutuhkan pengendalian pergerakan sedimen seperti aliran debris. Tak hanya di daerah vulkanis, sabo dam juga sering kali dibangun di daerah yang rawan akan tanah longsor (*landslide*) maupun runtuh bukit (*rock avalanches*). Bangunan sabo dam berfungsi mengubah energi kinetik yang cukup tinggi dari aliran debris menjadi energi potensial. Saat aliran debris menghantam tubuh sabo dam, energinya akan tereduksi sehingga kecepatan alirannya akan berkurang hingga ke hilir sungai. Tak hanya itu, sabo dam juga berfungsi untuk mengarahkan aliran debris agar alirannya tetap mengikuti arah alur sungai.

Bangunan sabo dam di suatu aliran sungai berjumlah lebih dari satu. Dalam proses pergerakan aliran debris, terdapat 3 daerah utama yang akan terlewati, yaitu daerah produksi, daerah transportasi, dan daerah sedimentasi (pengendapan) (Munir, M.D dalam Vianey, M.R. 2020). Di setiap daerah utama tersebut, akan dibangun sabo dam sesuai dengan fungsi dan kebutuhannya. Secara umum, terdapat 2 jenis sabo dam yang dibangun, yaitu tipe tertutup dan tipe terbuka. Sabo dam tipe tertutup efektif untuk menahan dan menampung sedimen.

Namun ketika sedimen di sabo telah penuh, fungsi sabo tertutup hanya menahan dan mengurangi kecepatan aliran. Sabo dam tipe tertutup biasanya dibangun di daerah transportasi dan daerah pengendapan sedimentasi. Di beberapa lokasi, sabo dam tertutup juga dilengkapi dengan kantong lahar yang sekaligus berfungsi untuk menampung sedimen di bagian hilir sungai.

Sabo dam tipe kedua adalah sabo dam terbuka yang dilengkapi dengan celah berbentuk *silt* atau *grid* di bagian tubuh *main dam*. Sabo dam terbuka berfungsi untuk melewatkan aliran debris agar volume sedimen dapat mengalir ke hilir dan berkurang sedikit demi sedikit. Bangunan sabo dam terbuka biasanya akan diletakkan di daerah produksi sedimen dengan intensitas volume dan kecepatan aliran yang tinggi. Beberapa material debris yang melewati sabo dam terbuka akan tertahan, namun sisanya akan terlewatkan dan bergerak menuju sabo dam tertutup dibawahnya. Di sana, material-material besar seperti batu akan tertahan dan kecepatannya akan semakin rendah. Pada akhirnya, aliran debris akan terhenti dan tertahan di daerah pengendapan yang biasanya dilengkapi dengan kantong lahar.

Bangunan sabo dam tipe terbuka dapat dilihat pada Gambar 3.6 dan bangunan sabo dam tipe tertutup dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.6 Sabo Dam Tipe Terbuka

(Sumber www.spiritkita.com diambil pada tanggal 13 Oktober 2022)



Gambar 3.7 Sabo Dam Tipe Tertutup

(Sumber *www.repository.umy.ac.id* diambil pada tanggal 13 oktober 2022)

3.10 Analisis Volume Sedimen Debris Dalam Sekali Banjir Akibat Hujan Rencana

3.10.1 Tipe Aliran

Untuk mengetahui tipe aliran debris atau aliran hiperkonsentrasi yang ada pada alur sungai dapat dibedakan berdasarkan kemiringan dasar sungai dan tinggi aliran relatif (Pd-T-18-2004-A).

1. Aliran debris terjadi apabila kemiringan dasar sungai lebih besar atau sama dengan kemiringan dasar kritis ($\text{tg } \theta \geq \text{tg } \theta_d$) sedangkan aliran sedimen hiperkonsentrasi terjadi pada kondisi kemiringan dasar sungai lebih kecil atau sama dengan kemiringan dasar kritis ($\text{tg } \theta \leq \text{tg } \theta_d$) dapat dihitung menggunakan rumus Takahashi (1988).

$$\text{Tg } \theta_d = \frac{C^*(\sigma - \rho)}{(C^*(\sigma - \rho)) + \left(\rho \left(1 + \frac{1}{k}\right)\right)} \tan \theta \quad (3.19)$$

Keterangan :

C^* = konsentrasi sedimen pada dasar sungai (= 0,6)

σ = berat jenis sedimen (g/cm^3)

ρ = berat jenis air (g/cm^3)

k = nilai koefisien eksperimen (0,85-1)

θ = sudut geser dalam statis ($^\circ$)

3.10.2 Perhitungan Konsentrasi Sedimen Debris

Pada aliran debris, gerakan kolektif partikel dianggap memenuhi seluruh kedalaman aliran, sehingga konsentrasi sedimen (C_d) dianggap sama untuk seluruh kedalaman. Konsentrasi sedimen aliran debris dapat dihitung menggunakan rumus Takahashi (1988).

$$C_d = \frac{\rho \times \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \phi - \tan \theta)} \quad (3.20)$$

Keterangan :

C_d = konsentrasi sedimen aliran debris

$\tan \theta$ = kemiringan alur ($^\circ$)

Jika $C_d > 0,9 C^*$ maka $C_d = 0,9 C^*$ dan jika $C_d < 0,3$ maka $C_d = 0,3$

Pada aliran hiperkonsentrasi gerakan kolektif partikel tidak terjadi pada seluruh kedalaman aliran, melainkan terjadi hanya pada sebagian kedalaman aliran sehingga konsentrasi sedimen (C_d) akan berbeda pada tiap kedalaman aliran. Besarnya konsentrasi sedimen dipengaruhi oleh kemiringan dasar sungai ($\tan \theta$). Konsentrasi sedimen dapat dihitung menggunakan rumus Mizuyama (1988).

$$C_d = \frac{11,85 \times \tan^2 \theta}{1 + 11,85 \tan^2 \theta} \quad (3.21)$$

Keterangan :

C_d = konsentrasi sedimen aliran debris

$\tan \theta$ = kemiringan alur ($^\circ$)

3.10.3 Koefisien Koreksi Aliran Debris

Jika $A < 0,1 \text{ km}^2$ maka $F_r = 0,5$, jika $A > 10 \text{ km}^2$ maka $F_r = 0,1$, jika $0,1 < A < 10$ maka $F_r = 0,05 (\log A - 2)^2 + 0,05$ artinya nilai terendah $F_r = 0,1$ dan tertinggi $F_r = 0,5$ (Rifai, M. 2015).

$$F_r = 0,05 (\log A - 2)^2 + 0,05 \quad (3.22)$$

Keterangan :

A = luas daerah aliran sungai (km^2)

F_r = koefisien koreksi aliran debris

3.10.4 Estimasi Volume Aliran Sedimen Sekali Banjir

Volume sedimen yang dapat diangkut dalam satu kali banjir debris maupun aliran hiperkonsentrasi dapat diprediksi dengan mempergunakan rumus empiris dari Mizuyama (1988).

$$V_s = \frac{R_{24} \times A \times 10^3}{1-\lambda} \times \frac{C_d}{1-C_d} \times F_r \quad (3.23)$$

Keterangan :

- λ = void ratio ($\pm 0,4$)
- F_r = koefisien koreksi aliran debris
- A = luas daerah aliran sungai (km^2)
- C_d = konsentrasi sedimen aliran debris
- R_{24} = curah hujan harian maksimum (mm)

3.11 Kapasitas Tampungan Sedimen

Cara pendekatan yang digunakan dalam perhitungan volume sedimen yang diamankan, berdasarkan metode yang dipakai dalam perencanaan bangunan pengendali sedimen (Vianey, M.R, 2019), yaitu sebagai berikut.

1. Tampungan tetap/mati (*dead storage*)

$$V_{ds} = 0,5 \times B \times H_{efektif} \times L1 \quad (3.24)$$

Keterangan :

$H_{efektif}$ = tinggi efektif dan tanpa pondasi

B = lebar bangunan pengendali sedimen

$L1$ = panjang aliran terkendali sedimen 1 (m) = $\frac{H_{efektif}}{I_0 - I_s}$

I_0 = kemiringan dasar sungai asli = $\tan \theta$

I_s = kemiringan statis = $(0,5 \times I_0)$

I_d = kemiringan dinamis = $(0,75 \times I_0)$

2. Tampungan total

$$V_{tot} = (A1 + A2) \times B \quad (3.25)$$

Keterangan :

$A1$ = luas daerah terkendali sedimen 1 (m^2) = $0,5 \times H \times L1$

$A2$ = luas daerah terkendali sedimen 2 (m^2) = $(0,5 \times H \times L2) - A1$

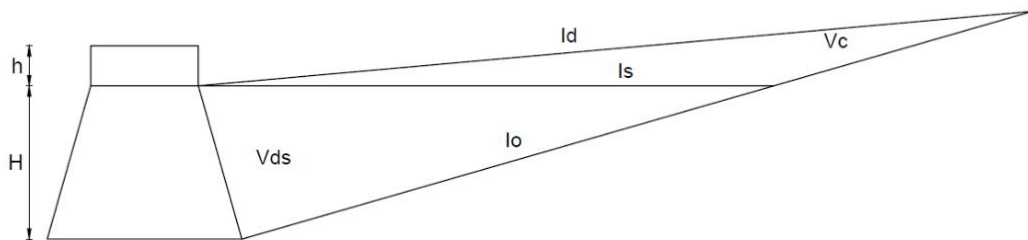
$$L1 = \text{panjang aliran terkendali sedimen 1 (m)} = \frac{H_{efektif}}{I_0 - I_s}$$

$$L2 = \text{panjang aliran terkendali sedimen 2 (m)} = \frac{H_{efektif}}{I_0 - I_d}$$

3. Tampung sementara (*control volume*)

$$V_c = V_{tot} - V_{ds} \quad (3.26)$$

Sketsa tampungan sedimen sabo dam dapat dilihat pada Gambar 3.8 sebagai berikut.



Gambar 3.8 Sketsa Kapasitas Tampungan Sabo Dam

3.12 Analisis Kontrol Aliran Massa Sedimen Debris

Analisis kontrol aliran massa sedimen debris pada penelitian ini didasarkan pada (Pengantar Teknologi Sabo, 2000), yaitu sebagai berikut.

1. Debit puncak aliran debris

$$Q_d = \frac{c^*}{c^* - c_d} \times Q' \quad (3.27)$$

Keterangan :

Q' = debit banjir rancangan (m^3/det)

C^* = konsentrasi sedimen pada dasar sungai (= 0,6)

C_d = konsentrasi sedimen aliran debris

2. Volume aliran debris

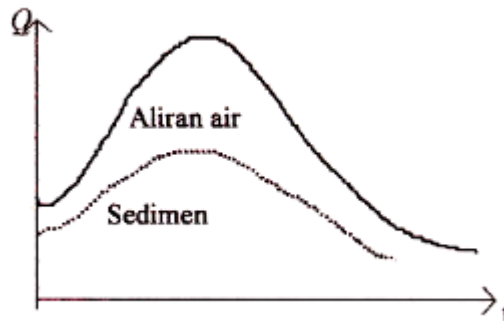
$$V_d = 500 \times Q_d \quad (3.28)$$

Keterangan :

V_d = maksimum total volume aliran debris (m^3)

Q_d = debit puncak aliran debris

Volume aliran debris tersebut kurang lebih sama dengan total volume sedimen akibat hujan rencana.



Gambar 3.9 Angkutan Sedimen Saat Banjir

3.13 Analisis Data Sedimen

Umumnya material sedimen berasal dari Daerah Aliran Sungai (DAS). Pemeriksaan bertujuan untuk menentukan konsentrasi sedimen dan kuantitas sedimen persatuan waktu pada suatu lokasi dan waktu tertentu, dan dapat menentukan besarnya endapan dalam hubungannya dengan angkutan sedimen tersebut. Pemeriksaan sedimen menggunakan standar ASTM D 422-63 yang dilakukan dengan cara mengambil sampel dan membawa ke laboratorium untuk dapat diketahui konsentrasi sedimen. Selain itu, dalam analisa laboratorium dapat diketahui berat jenis, kadar air, ukuran butir sedimen, dan kuat geser langsung. Untuk mengetahui nilai berat jenis, ukuran butir sedimen, dan kuat geser langsung dilakukan perhitungan sebagai berikut :

1. Berat Jenis Sedimen

$$\sigma = \frac{(W2-W1)}{(W2-W1)(W3-W4)} \times 100\% \quad (3.29)$$

Keterangan :

σ = berat jenis

W1 = berat picknometer kosong (gr)

W2 = berat picknometer + tanah kering (gr)

W3 = berat picknometer + tanah basah (gr)

W4 = berat picknometer + air (gr)

2. Kadar Air

$$W_a = \frac{W_{ctb} - W_{ctk}}{W_{ctk} - W_{ck}} \times 100\% \quad (3.30)$$

Keterangan :

 W_a = kadar air (%) W_{ck} = berat cawan kosong (gr) W_{ctb} = berat cawan + tanah basah (gr) W_{ctk} = berat cawan + tanah kering (gr)

3. Kuat Geser Langsung

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{P_{maks}}{A_b} \\ \tau &= \sigma \tan \theta + c \\ \sigma &= \frac{N}{A_b} \end{aligned} \quad (3.31)$$

Keterangan :

 σ = tegangan normal (kg/cm²) N = beban normal (kg) P = gaya geser (kg/cm²) A_b = luas bidang (cm²)

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas tampungan Sabo Dam GE-C13 di Kali Gendol. Dalam penelitian ini diperlukan data volume sedimen masukan dan keluaran yang terjadi di Sabo Dam GE-C13 dan data curah hujan yang dihitung dalam kala ulang 100 tahun. Untuk mengetahui dan memprediksi aliran sedimen di Sabo Dam GE-C13, digunakan rumus empiris dari Takahashi dan Mizuyama.

4.2 Pengumpulan Data

Dalam melakukan perhitungan dan analisis diperlukan beberapa data pendukung. Ada dua jenis data yang digunakan yaitu primer dan sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh langsung dari lapangan, sedangkan data sekunder diperoleh dari sumber atau instansi lain yang terkait dengan penelitian.

4.2.1 Data Primer

Data primer yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data sedimen untuk mencari berat jenis, kadar air, gradasi ukuran butir, dan kuat geser langsung. Data primer didapatkan langsung dari lapangan dengan pengambilan sampel sedimen di area sungai Sabo Dam GE-C13.

Sample sedimen yang diambil kemudian diuji di Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Data pengujian yang didapat digunakan untuk mengetahui parameter-parameter dalam perhitungan kapasitas sabo dam, seperti mencari konsentrasi sedimen (Cd) yang digunakan untuk mengetahui potensi sedimen yang masuk ke sabo dam.

4.2.2 Data Sekunder

Data sekunder dalam penelitian ini digunakan sebagai data pendukung yang diperoleh dari berbagai sumber atau instansi terkait dengan Sabo Dam GE-C13. Data yang dibutuhkan antara lain data curah hujan, data teknis Sabo Dam

GE-C13, dan data kapasitas tampungan Sabo Dam GE-C13. Penjelasananya sebagai berikut :

1. Data curah hujan diambil dari 1 stasiun hujan yang terdekat dengan daerah tangkapan air Sabo Dam GE-C13, yaitu stasiun sorasan. Data curah hujan yang digunakan adalah data hujan jam-jaman selama 11 tahun dari tahun 2010-2020. Data tersebut didapatkan dari Balai Litbang Sabo, Yogyakarta. Dari data curah hujan dapat digunakan untuk mengetahui besarnya debit banjir yang merupakan salah satu faktor penyebab terjadinya aliran debris sehingga mempengaruhi perhitungan volume sedimen dan kapasitas tampungan sabo dam. Data ini akan diolah menggunakan bantuan *Software Microsoft Excel*.
2. Data teknis sabo dam didapat dari Balai Sabo, Yogyakarta. Dari data tersebut didapatkan data tinggi dam, tinggi sayap, dan lebar pelimpah. Selain itu, data teknis sabo dam digunakan untuk mengetahui nilai kemiringan dasar yang akan mempengaruhi perhitungan volume sedimentasi yang terjadi dan yang tertampung di sabo dam.
3. Data kapasitas tampungan sabo yang didapat terdiri dari data *dead storage* dan *control volume* yang dapat tertampung di sabo dam. Data tersebut akan digunakan sebagai perbandingan dan untuk mengetahui kapasitas tampungan sabo dam.

4.3 Pemeriksaan Data Sedimen

Pada tahap ini pemeriksaan data sedimen yang dilakukan yaitu pemeriksaan berat jenis sedimen, pemeriksaan kadar air, pemeriksaan analisis saringan, pemeriksaan hidrometer, dan pemeriksaan kuat geser langsung.

1. Pemeriksaan Berat Jenis

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan berat jenis suatu sampel sedimen, berat jenis adalah nilai perbandingan berat butiran tanah dengan berat air destilasi di udara dengan volume yang sama pada temperature tertentu. Adapun langkah pengujiannya sebagai berikut :

- a. Sampel tanah dikeringkan di dalam oven selama 24 jam

- b. Sampel tanah kering oven tersebut dihaluskan dengan pastel hingga lolos saringan no. 10
 - c. Picknometer dibersihkan bagian luar dan dalamnya kemudian ditimbang dengan tutupnya = W_1 gram,
 - d. Masukkan sampel tanah yang lolos ayakan no. 10 ke dalam picknometer sebanyak seperempat dari volume picknometer, kemudian pada bagian luarnya dibersihkan lalu ditimbang beserta tutupnya = W_2 gram,
 - e. Masukkan air destilasi ke dalam picknometer sampai $\frac{2}{3}$ dari isinya kemudian didiamkan kira-kira sampai 30 menit,
 - f. Keluarkan udara yang terperangkap diantara butir tanah, hal ini dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :
 1. Picknometer dimasukkan ke dalam pompa vakum dalam keadaan terbuka kemudian diberikan tekanan tidak melebihi 100 cmHg, sehingga gelembung udara dapat keluar dari pori-pori tanah dan air menjadi jernih,
 2. Picknometer direbus dengan hati-hati selama 10 menit dengan sesekali picknometer digoyang-goyangkan untuk membantu keluarnya gelembung udara, kemudian dimasukkan dalam desikator sampai mencapai suhu ruangan selama kurang lebih 2 jam.
 - g. Tambahkan air destilasi ke dalam picknometer sampai penuh dan ditutup, bagian luar picknometer dikeringkan dengan kain kering, setelah itu picknometer berisi tanah dan air penuh ditimbang = W_3 gram,
 - h. Ukur suhu air dalam picknometer dengan termometer dan catat = T ,
 - i. Buang seluruh isi picknometer kemudian diisi dengan air destilasi bebas udara sampai penuh, ditutup dan bagian luarnya dilap dengan kain dan ditimbang = W_4 gram.
2. Pemeriksaan Kadar Air
- Pengujian ini dilakukan untuk menentukan kadar air sampel tanah. Kadar

air tanah adalah nilai perbandingan antara berat air dalam satuan tanah dengan berat kering tanah tersebut. Adapun langkah pengujiannya sebagai berikut :

- a. Bersihkan container dengan kain, kemudian ditimbang beserta tutupnya dan beratnya dicatat = W_1 gram,
- b. Masukkan contoh tanah yang akan diuji kedalam container, kemudian ditimbang Bersama tutupnya = W_2 gram,
- c. Dalam keadaan terbuka dimasukkan ke dalam oven, aturlah suhu oven konstan antara $105^{\circ}\text{C} = 110^{\circ}\text{C}$ selama 16 sampai 20 jam, tutup container jangan sampai tertukar dengan container lain,
- d. Setelah dioven tanah dikeringkan dalam desikator, kemudian container bersama tutupnya ditimbang = W_3 gram

3. Pemeriksaan Analisis Saringan

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan persentase ukuran butir tanah pada benda uji yang tertahan saringan no. 200. Adapun langkah pengujiannya sebagai berikut :

- a. Sampel tanah kering oven ditumbuk sampai halus dengan penumbuk poselen, kemudian diambil 100 gram,
- b. Siapkan satu set saringan yang disusun dengan urutan dari atas mulai no 10, 20, 40, 60, 140, 200 dan pan,
- c. Letakkan susunan saringan tersebut pada mesin penggetar dan digetarkan selama 3-5 menit,
- d. Timbang butir-butir tanah yang tertahan pada masing-masing saringan ($d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6$),
- e. Masukkan nilai $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6$ dalam tabel analisis saringan
- f. Analisis perhitungan sebagai berikut :

4. Pemeriksaan Hidrometer

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan distribusi ukuran butir-butir tanah yang lolos saringan no. 200. Adapun langkah pengujiannya sebagai berikut :

- a. Ambil reagen (water glass) sebanyak 2 gram, kemudian larutkan dalam 300 cc air destilasi hingga larut, pada gelas ukur,

- b. Larutan standar ini dibagi menjadi dua bagian, yang satu bagian dimasukkan dalam tabung kapasitas 1000cc sedangkan yang Sebagian lagi tetap berada dalam gelas ukur semula,
 - c. Ambil sampel tanah sebanyak kurang lebih 50-60 gram kering oven, kemudian masukkan dalam gelas ukur. Rendam sampai kurang lebih 30 menit, kemudian diaduk/dihancurkan dengan *mixer* selama ± 10 menit, sehingga menjadi *suspensi*,
 - d. Masukkan *suspensi* ke dalam tabung pengendapan,
 - e. *Suspensi* di dalam tabung dikocok sebanyak 60 kali,
 - f. Lakukan pembacaan *hidrometer* setelah *suspensi* dikocok sebanyak 60 kali. Saat selesai mengocok *suspensi* tersebut, tabung diletakkan di meja dan saat itu dihitung sebagai T_0 ,
 - g. 20 atau 25 detik sebelum pembacaan *suspensi*, ambil *hidrometer* dari tabung, celupkan secara hati-hati pada *suspensi* di tabung dengan pelan-pelan sampai kedalaman taksiran yang akan terbaca, kemudian lepaskan (jangan sampai timbul guncangan). Kemudian bacalah skala yang ditunjuk oleh puncak *meniskus* muka air = R_1 ,
 - h. Setelah tabung *suspensi* dibaca, pindahkan secara pelan-pelan kedalam tabung. Dalam air tabung bacalah skala *hidrometer* = R_2 ,
 - i. Setelah pembacaan *hidrometer* selesai, lalu ukur suhu *suspensi* dengan termometer,
 - j. Pembacaan dilakukan pada setiap menit (T) ke : 2, 5, 30, 60, 250, dan 1440 menit dari T_0 ,
 - k. Setelah pembacaan terakhir (menit ke 1440), tuangkan *suspensi* pada tabung di atas saringan no.200. Kemudian cucilah sampel tanah yang tertahan di atas saringan ini dengan bantuan kuas sampai air yang keluar dari ayakan benar-benar bersih.
5. Pemeriksaan Kuat Geser Langsung
- Pengujian ini dilakukan untuk menentukan tahanan geser yang diukur pada suatu cincin uji (*proving ring*). Adapun langkah pengujiannya sebagai berikut:

- a. Contoh tanah disiapkan untuk 3 kali percobaan yaitu untuk beban 4 kg, 8 kg, dan 12 kg. Untuk tiap percobaan, contoh tanah harus mempunyai kepadatan yang sama,
- b. Masukkan contoh tanah ke dalam kotak geser,
- c. Berikan beban vertikal/normal (P_v), tegangan dan kelereng serta batu porous termasuk bagian-bagian diatas contoh tanah termasuk beban,
- d. Bagian atas dan bawah dipisahkan dengan sekrup pemisah. Jarak harus lebih besar dari butir tanah yang terbesar,
- e. Untuk tanah yang jenuh, tempat dapat diisi dengan air. Batu-batu porous harus dibasahi dulu sebelum dipasang,
- f. Pembacaan dicatat selang 15 detik pada 2 menit pertama, pada menit terakhir pada tiap 30 detik (untuk tanah yang jenuh guna dicari penurunannya),
- g. Kecepatan pembebanan horizontal (P_h) disesuaikan sebisa-bisanya, contoh tanah akan longsor setelah 3-5 menit,
- h. Tes diulangi apabila hasil pembebanan kedua lebih kecil dari pembebanan pertama, atau hasil pembebanan yang ketiga lebih kecil dari pembebanan yang kedua, dan seterusnya,
- i. Analisis perhitungan sebagai berikut :
Gaya geser P adalah pembacaan arloji geser x angka kalibrasi cincin pengujian tegangan.

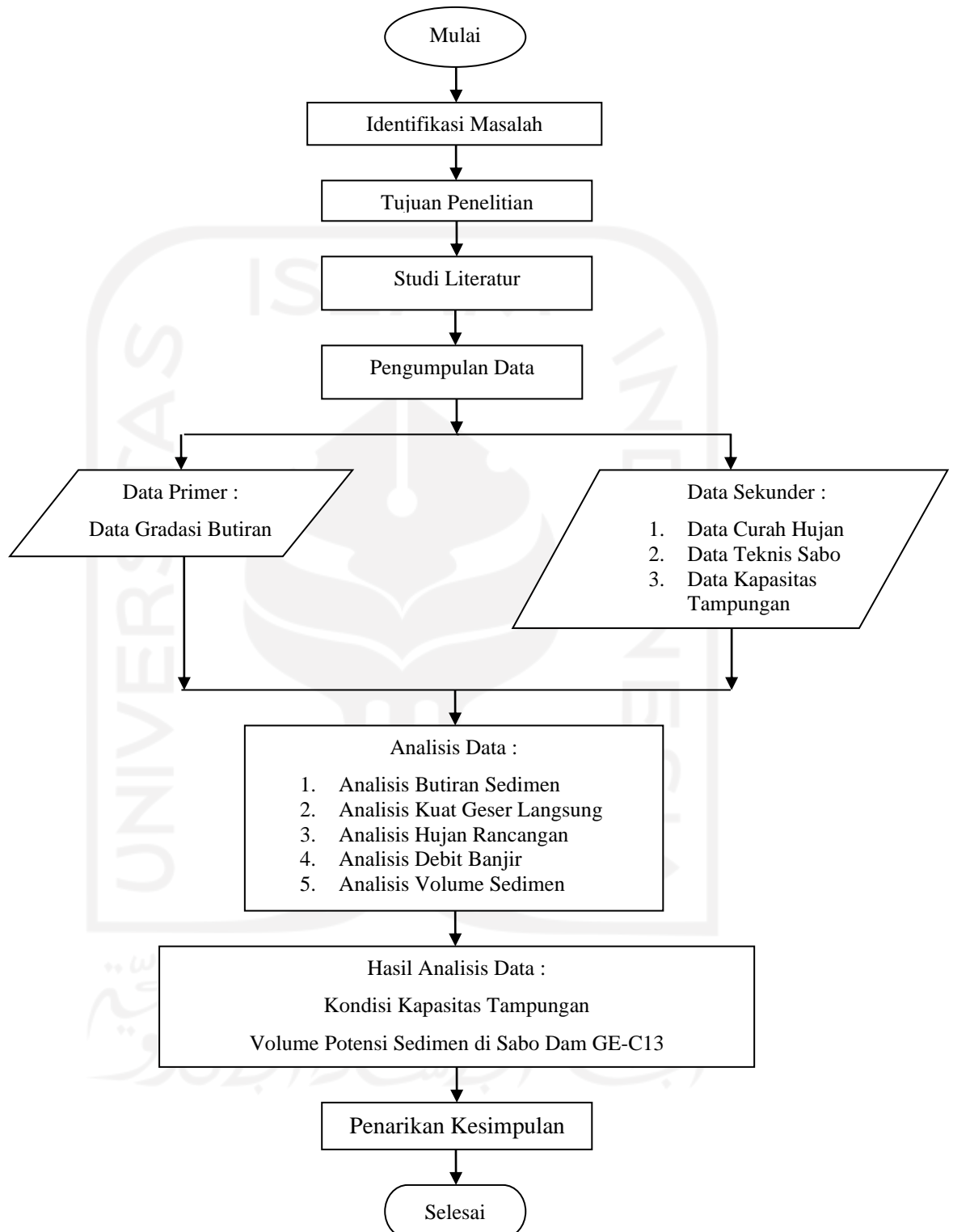
4.4 Bagan Alir

Tahap awal pada penelitian ini adalah mencari informasi lewat studi literatur atau mencari referensi dari berbagai buku, penelitian terdahulu, jurnal dan skripsi yang berkaitan dengan penelitian ini. Setelah itu, dilanjutkan dengan pencarian beberapa data yang dibutuhkan baik data primer dan sekunder. Langkah selanjutnya dilakukan perhitungan dengan metode yang telah dipilih menggunakan bantuan *Software Microsoft Excel*. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini antara lain data curah hujan, data sedimen, data teknis sabo,

dan data kapasitas tampungan sabo. Dari hasil perhitungan akan diperoleh nilai volume sedimentasi, kapasitas tampungan, dan dapat ditarik kesimpulan.

Untuk mempermudah penjelasan mengenai alur penelitian, berikut ini adalah diagram alir proses penelitian mengenai kapasitas tampungan Sabo Dam GE-C13 di Kali Gendol. Bagan alir penelitian ini dapat dilihat di Gambar 4.1.





Gambar 4.1 Bagan Alir Penelitian

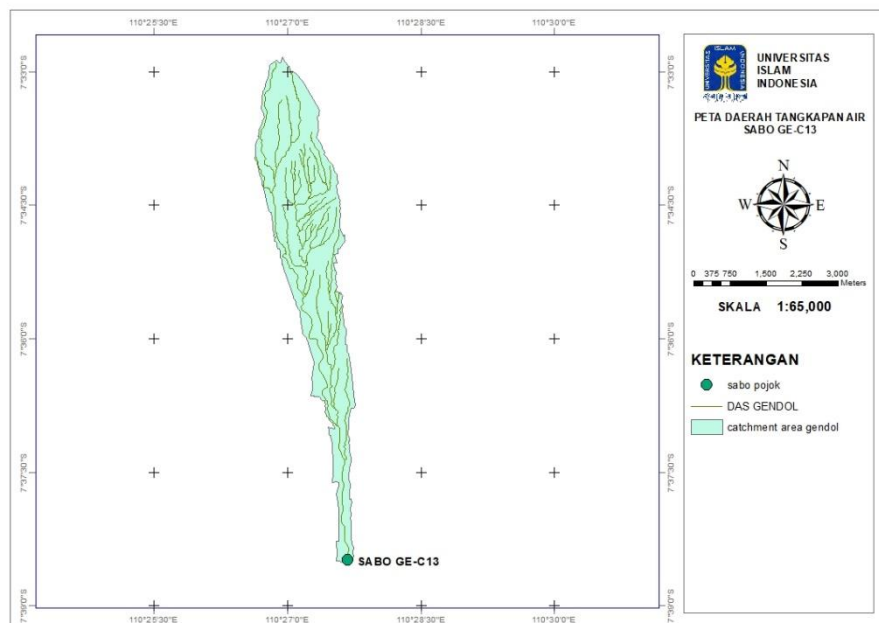
BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis perhitungan

5.1.1 Analisis Daerah Tangkapan Air Sabo Dam GE-C13

Dalam pembuatan batas DAS dilakukan dengan bantuan Software ArcMap 10.3. Proses deliniasi batas DAS dilakukan dengan melihat punggung bukit dari kontur di dekat aliran sungai. Dalam proses deliniasi tersebut hal yang harus diperhatikan bahwa pembuatan batas DAS tidak boleh bersinggungan dengan sungai atau anak sungai yang berada di sebelah kanan atau kiri sungai yang mengalir ke lokasi penelitian. Peta daerah tangkapan air di Sabo Dam GE-C13 dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Peta Daerah Tangkapan Air Sabo Dam GE-C13

Hasil analisis daerah tangkapan air Sabo Dam GE-C13 didapatkan luas das sebesar 8,811 km² dan panjang sungai sepanjang 51,847 km. Selanjutnya, hasil analisis yang didapatkan digunakan untuk menghitung analisis hidrograf satuan nakayasu.

5.1.2 Analisis Curah Hujan Maksimum

Analisis curah hujan yang digunakan pada penelitian ini berasal dari 1 stasiun hujan yaitu stasiun Sorasan selama 11 tahun dari tahun 2010-2020. Selanjutnya dari data tersebut akan diambil curah hujan maksimum tiap tahun. Data curah hujan maksimum tiap tahun pada stasiun Sorasan dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Curah Hujan Maksimum Tiap Tahun Stasiun Sorasan

No	Tahun	Curah hujan maksimum (mm)
1	2010	74
2	2011	94
3	2012	105
4	2013	92
5	2014	105.5
6	2015	78
7	2016	98.2
8	2017	123.6
9	2018	94.2
10	2019	86
11	2020	96.4

Hasil analisis curah hujan maksimum selanjutnya digunakan untuk menghitung analisis curah hujan rencana dan untuk durasi hujan maksimum digunakan untuk menghitung analisis distribusi hujan rencana.

5.1.3 Analisis Curah Hujan Rencana

Dari perhitungan curah hujan maksimum setiap tahun, data yang ada kemudian diurutkan dari besar ke kecil, selanjutnya dilakukan analisis statistik untuk mengetahui nilai C_s (koefisien *skewness*), C_v (koefisien variasi), dan C_k (koefisien kurtois) yang akan dijadikan dasar acuan untuk mengetahui jenis analisis frekuensi yang akan digunakan. Contoh perhitungan analisis statistik sebagai berikut :

1. Analisis Statistik Data Hujan

a. Menghitung nilai mean atau harga tengah

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

$$X = \frac{1}{11} \times 1046,9 = 95,2$$

b. Menghitung nilai Xi-Xrerata

$$X_i - X_{rerata} = 74 - 95,2 = -21,2$$

c. Menghitung nilai (Xi-Xrerata)²

$$\begin{aligned} (X_i - X_{rerata})^2 &= (74 - 95,2)^2 \\ &= 448,3 \end{aligned}$$

d. Menghitung nilai (Xi-Xrerata)³

$$\begin{aligned} (X_i - X_{rerata})^3 &= (74 - 95,2)^3 \\ &= -9491,4 \end{aligned}$$

Hasil analisis statistik data hujan rerata maksimal ditampilkan pada Tabel 5.2 sebagai berikut.

Tabel 5.2 Hasil Analisis Statistik Data Hujan

No	Tahun	X_i (mm)	$(X_i - X_r)$	$(X_i - X_r)^2$	$(X_i - X_r)^3$	$(X_i - X_r)^4$
1	2010	74	-21,2	448,3	-9491,4	200958,9
2	2011	94	-1,2	1,4	-1,6	1,9
3	2012	105	9,8	96,6	949,1	9326,8
4	2013	92	-3,2	10,1	-31,9	101,3
5	2014	105,5	10,3	106,7	1101,4	11374,8
6	2015	78	-17,2	294,9	-5064,3	86967,5
7	2016	98,2	3,0	9,2	27,7	84,0
8	2017	123,6	28,4	808,1	22972,4	653041,5
9	2018	94,2	-1,0	0,9	-0,9	0,9
10	2019	86	-9,2	84,1	-771,8	7079,4
11	2020	96,4	1,2	1,5	1,8	2,3
Jumlah		1046,9	0,00	1861,7	9690,5	968939,2

2. Analisis distribusi statistik

a. Menghitung simpangan baku

$$S = \left[\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (X_i - X_{rerata})^2 \right]^{1/2}$$

$$S = \left[\frac{1}{(11-1)} \times 1861,7 \right]^{1/2}$$

$$S = 13,644$$

b. Menghitung nilai koefisien *skewness* (C_s)

$$C_s = \frac{n}{(n-1)(n-2)S^3} \sum_{i=1}^n (X_i - X_{rerata})^3$$

$$C_s = \frac{11}{(11-1)(11-2)13,644^3} \times 9690,5$$

$$C_s = 0,466$$

c. Menghitung nilai koefisien variasi (C_v)

$$C_v = \frac{S}{X_{rerata}}$$

$$C_v = \frac{13,644}{95,2}$$

$$C_v = 0,143$$

d. Menghitung nilai koefisien kurtois (C_k)

$$C_k = \left\{ \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \sum_{i=1}^n (X_i - X_{rerata})^4 \right\}$$

$$C_k = \left\{ \frac{11(11+1)}{(11-1)(11-2)(11-3)13,644^4} \times 968939,2 \right\}$$

$$C_k = 4,70$$

Hasil perhitungan distribusi statistik ditampilkan pada Tabel 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5.3 Hasil Perhitungan Distribusi Statistik

Distribusi Statistik				
Uji Distribusi Statistik	Syarat	Hitungan Syarat	Perhitungan	Keterangan
Normal	$C_s = 0$	0	0,466	Tidak
	$C_k = 3$	3	4,7	
Log Normal	$C_s = Cv^3 + 3Cv$	0,094	0,029	Tidak
	$C_k = Cv^8 + 6Cv^6 + 15Cv^4 + 16Cv^2 + 3$	3,016	4,257	
Gumbel	$C_s = 1,1396$	1,14	0,466	Tidak
	$C_k = 5,4002$	5,4	4,7	
Log Pearson III	Digunakan apabila parameter statistik C_s dan C_k mempunyai nilai selain parameter statistik yang lain		0,029	Memenuhi
			4,257	

Dari hasil analisis statistik data hujan yang telah dilakukan didapatkan hasil nilai Cs, Cv, dan Ck, dapat ditarik kesimpulan sifat parameter statistik data yang memenuhi yaitu distribusi Log Pearson III.

3. Uji Chi Kuadrat

Uji Chi Kuadrat digunakan untuk menguji simpangan vertikal dan mengamati distribusi frekuensi dapat diterima atau tidak oleh distribusi teoritis. Uji Chi Kuadrat menggunakan nilai X^2 yang dapat dihitung dan diplotting dalam kertas uji lalu dikelompokkan berdasarkan kelas yang ada. Contoh hasil uji Chi Kuadrat ditampilkan sebagai berikut :

$$K = 1 + 3,322 \log N$$

$$= 1 + 3,322 \log 11 = 4,456 \approx 5$$

$$DK = K - (R - 1) = 5 - (2 - 1) = 2$$

Untuk mencari nilai X^2 kritis dengan $n=$, $\alpha = 0,05$, dan $DK = 2$, maka nilai X^2 kritiknya yaitu 5,991.

$$Kelas\ Distribusi = \frac{1}{5} \times 100\% = 20\%$$

$$T = \frac{1}{P_{(x)}} = \frac{1}{20\%} = 5\ \text{tahun}$$

Dengan 5 jumlah kelas yang diperoleh dari perhitungan, maka interval distribusi (P_x) adalah 20%, 40%, 60%, 80%. Kemudian nilai T untuk interval ditampilkan pada Tabel 5.4 sebagai berikut.

Tabel 5.4 Kelas Distribusi

No.	$P_{(x)}(\%)$	T (tahun)
1	20%	5
2	40%	2,5
3	60%	1,6667
4	80%	1,25

Selanjutnya untuk menghitung interval kelas (I_T) menggunakan nilai K_T yang didapatkan dengan cara interpolasi nilai K_T pada lampiran 4. Contoh perhitungan sebagai berikut.

- a. Mencari mean atau harga tengah

$$\text{Log}X_i = \text{Log}123,6 = 2,092$$

$$\begin{aligned}\text{Log}X_{\text{rerata}} &= \frac{1}{10} \times 21,719 \\ &= 1,974\end{aligned}$$

- b. Mencari nilai $\text{Log}X_i - \text{Log}X_{\text{rerata}}$

$$\begin{aligned}\text{Log}X_i - \text{Log}X_{\text{rerata}} &= 2,092 - 1,974 \\ &= 0,014\end{aligned}$$

- c. Mencari nilai $(\text{Log}X_i - \text{Log}X_{\text{rerata}})^3$

$$\begin{aligned}(\text{Log}X_i - \text{Log}X_{\text{rerata}})^3 &= (2,092 - 1,974)^3 \\ &= 0,0016\end{aligned}$$

- d. Mencari simpangan baku

$$\begin{aligned}S_{\log X} &= \left[\frac{1}{(11-1)} \times (0,038) \right]^{1/2} \\ &= 0,062\end{aligned}$$

- e. Interval kelas (I_T)

$$I_T = 10^{\text{log}X_{\text{rerata}} + K_T + S_{\log X}}$$

$$I_T = 10^{1,974 + 0,84 + 0,062}$$

$$I_T = 106,30$$

Hasil perhitungan uji chi kuadrat metode log pearson III ditampilkan pada Tabel 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5.5 Nilai I_T Uji Chi Kuadrat Metode Log Pearson III

$P_{(X)}$ (%)	T (tahun)	K_T	Log rerata	S log x	X_T (mm)
20%	5	0,8403	1,9745	0,0619	106,30
40%	2,5	0,3738			99,46
60%	1,667	0,1549			96,33
80%	1,25	-0,0003			94,20

Selanjutnya berdasarkan nilai I_T yang didapat dapat dihitung nilai interval tiap kelas untuk mendapatkan nilai X^2 . Hasil perhitungan uji chi kuadrat ditampilkan pada Tabel 5.6 sebagai berikut.

Tabel 5.6 Hasil Uji Chi Kuadrat Metode Log Pearson III

No	Interval	O _i	E _i	O _i - E _i	(O _i - E _i) ² /E _i
1	>106,30	1	2,2	-1,2	0,655
2	99,46 < x < 106,30	2	2,2	-0,2	0,018
3	96,33 < x < 99,46	2	2,2	-0,2	0,018
4	94,20 < x < 96,33	1	2,2	-1,2	0,655
5	<94,20	5	2,2	2,8	3,564
Jumlah		11	11		4,909

Dari hasil pengujian uji chi kuadrat didapatkan hasil $Xh^2 = 4,909$. Maka metode log pearson III dapat diterima karena dibawah nilai Δ kritik syarat.

Berdasarkan hasil uji chi kuadrat yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa data hujan layak digunakan. Selanjutnya dilakukan perhitungan curah hujan rencana menggunakan metode log pearson III.

4. Curah Hujan Rencana

Berikut ini merupakan perhitungan curah hujan rencana dengan kala ulang menggunakan metode log pearson III. Contoh perhitungannya sebagai berikut :

- a. Mencari nilai koefisien skewness (C_s)

$$C_s = \frac{11 - 0,0000563}{(11-1) \times (11-2) \times (0,062)^3}$$

$$= 0,0289$$

- b. Mencari nilai curah hujan rencana

$$\text{Log } X_{TR} = \text{Log } X_i + K_{tr} \times S \text{ log } X_i$$

$$\text{Log } X_{TR} = 2,092 + (-0,005) \times 0,062$$

$$X_{TR} = 94,23 \text{ mm}$$

Hasil perhitungan nilai curah hujan rencana ditampilkan pada Tabel 5.7 sebagai berikut.

Tabel 5.7 Nilai Curah Hujan Rencana

PUH	KTR	Curah Hujan Rencana (mm)
2	-0,005	94,23
5	0,840	106,30
10	1,285	113,26

Lanjutan Tabel 5.7 Nilai Curah Hujan Rencana

PUH	KTR	Curah Hujan Rencana (mm)
20	1,761	121,21
50	2,069	126,67
100	2,347	131,79
200	2,603	136,79

Hasil analisis hujan rencana yang telah dilakukan kemudian digunakan untuk menghitung analisis distribusi hujan rencana dengan mengambil nilai curah hujan rencana kala ulang 100 tahun.

5.1.4 Analisis Hidrograf Satuan Nakayasu

Dalam menghitung hidrograf satuan nakayasu diperlukan luas daerah tangkapan air dan panjang sungai, kemudian dilakukan analisis menggunakan persamaan nakayasu. Perhitungannya sebagai berikut :

$$\text{Luas daerah tangkapan air (A)} = 8,811 \text{ km}^2$$

$$\text{Panjang sungai (L)} = 51,847 \text{ km}$$

- a. Menghitung nilai waktu konsentrasi (T_g)

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

$$\begin{aligned} T_g &= 0,4 + (0,058 \times 51,847) \\ &= 3,4071 \text{ jam} \end{aligned}$$

- b. Menghitung nilai satuan waktu dari curah hujan (T_r)

$$T_r = 0,5 T_g$$

$$\begin{aligned} T_r &= 0,5 \times 3,4071 \\ &= 1,704 \text{ jam} \end{aligned}$$

- c. Menghitung nilai waktu dari permulaan banjir sampai puncak hidrograf banjir (T_p)

$$T_p = T_g + 0,8 T_r$$

$$\begin{aligned} T_p &= 3,407 + (0,8 \times 1,704) \\ &= 4,77 \text{ jam} \end{aligned}$$

- d. Menghitung nilai waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak

banjir ($T_{0,3}$)

$$T_{0,3} = \alpha T_g$$

$$T_{0,3} = 2 \times 3,4071$$

$$T_{0,3} = 6,814 \text{ jam}$$

e. Menghitung debit puncak banjir

$$Q_p = \frac{A \times R_o}{3,6 (0,3T_p + T_{0,3})}$$

$$Q_p = \frac{8,811 \times 1}{3,6 (0,3 \times 4,77 + 6,814)}$$

$$Q_p = 0,297 \text{ m}^3/\text{det}$$

f. Menghitung hidrograf satuan nakayasu (1 jam)

$$UH = Q_p \times \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4}$$

$$UH = 0,297 \times \left(\frac{1}{4,77}\right)^{2,4}$$

$$UH = 0,007 \text{ m}^3/\text{det}$$

Hasil perhitungan hidrograf satuan nakayasu ditampilkan pada Tabel 5.8 sebagai berikut.

Tabel 5.8 Hidrograf Satuan Nakayasu

Waktu (Jam)	Hidrograf Satuan Nakayasu (m ³ /det)	Waktu (Jam)	Hidrograf Satuan Nakayasu (m ³ /det)
0	0,000	10	0,118
1	0,007	11	0,099
2	0,037	12	0,083
3	0,098	13	0,069
4	0,195	14	0,067
5	0,297	15	0,060
6	0,285	16	0,053
7	0,239	17	0,047
8	0,200	18	0,042
9	0,141	19	0,037

Lanjutan Tabel 5.8 Hidrograf Satuan Nakayasu

Waktu (Jam)	Hidrograf Satuan Nakayasu (m ³ /det)	Waktu (Jam)	Hidrograf Satuan Nakayasu (m ³ /det)
20	0,033	28	0,015
21	0,029	29	0,014
22	0,026	30	0,013
23	0,023	31	0,012
24	0,021	32	0,011
25	0,020	33	0,010
26	0,018		
27	0,017		

Hasil perhitungan hidrograf satuan nakayasu yang didapatkan selanjutnya digunakan untuk menghitung analisis hidrograf banjir nakayasu.

5.1.5 Analisis Distribusi Hujan Rencana

Dalam menghitung distribusi hujan rencana, data masukan hujan rancangan yang didistribusikan ke dalam hujan jam-jaman. Untuk dapat mengubah hujan rancangan ke dalam besaran hujan jam-jaman perlu didapatkan pola distribusinya. Contoh perhitungan hujan rencana untuk kala ulang 100 tahun sebagai berikut :

- a. Menghitung durasi waktu kala ulang yang digunakan

Durasi hujan dominan Merapi = 7 jam

- b. Menghitung nilai waktu konsentrasi (tc) digunakan rumus ARR

$$\begin{aligned}
 tc &= 0,76 \times A^{0,38} \\
 &= 0,76 \times 8,811^{0,38} \\
 &= 1,738 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

- c. Menghitung nilai waktu konsentrasi (t)

t = 1 jam pertama

d. Menghitung intensitas hujan (I_t) menggunakan rumus monnonobe

$$I_t = \frac{R_{24}}{T_c} \times \left(\frac{T_c}{t}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$I_t = \frac{131,789}{1,738} \times \left(\frac{1,738}{1}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$I_t = 109,826 \text{ mm/jam}$$

e. Menghitung intensitas hujan tiap jam ($I_t T_d$)

$$\begin{aligned} I_t T_d &= I_t \times T_d \\ &= 109,826 \times 1 \\ &= 109,826 \text{ mm} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan analisis hujan rancangan ditampilkan pada Tabel 5.9 sebagai berikut.

Tabel 5.9 Distribusi Hujan Durasi 7 Jam Kala Ulang 100 Tahun

T_d (jam)	I_t (mm/jam)	$I_t T_d$ (mm)	Δp (mm)	P_t (%)	Hyetograph
					mm
1	109,826	109,826	109,826	67,731	63,823
2	69,026	138,052	28,227	17,408	16,403
3	52,606	157,817	19,765	12,189	11,486
4	43,383	173,534	15,717	9,693	9,133
5	37,359	186,795	13,261	8,178	7,706
6	33,063	198,378	11,584	7,144	6,732
7	29,819	208,731	10,353	6,385	6,016
Jumlah			208,731	128,728	121,300

Hasil analisis distribusi hujan rencana yang telah dikonversi menjadi hujan jam-jaman selanjutnya digunakan untuk menghitung analisis hidrograf banjir nakayasu.

5.1.6 Analisis Debit Banjir Nakayasu

Dalam menghitung besarnya nilai debit limpasan digunakan metode *Nakayasu*. Untuk contoh perhitungan debit banjir kala ulang 100 tahun sebagai berikut :

- a. Menghitung nilai base flow

$$\begin{aligned} BF &= 0,4715 \times A^{0,6444} \times D^{0,943} \\ &= 0,4715 \times 8,811^{0,6444} \times 5,884^{0,943} \\ &= 10,193 \text{ m}^3/\text{det} \end{aligned}$$

- b. Menghitung nilai debit banjir nakayasu (1 jam)

$$\begin{aligned} Q &= (\Sigma(UH \times \text{distribusi hujan})) + BF \\ &= (0,007 \times 63,823) + 10,193 \\ &= 10,638 \text{ m}^3/\text{det} \end{aligned}$$

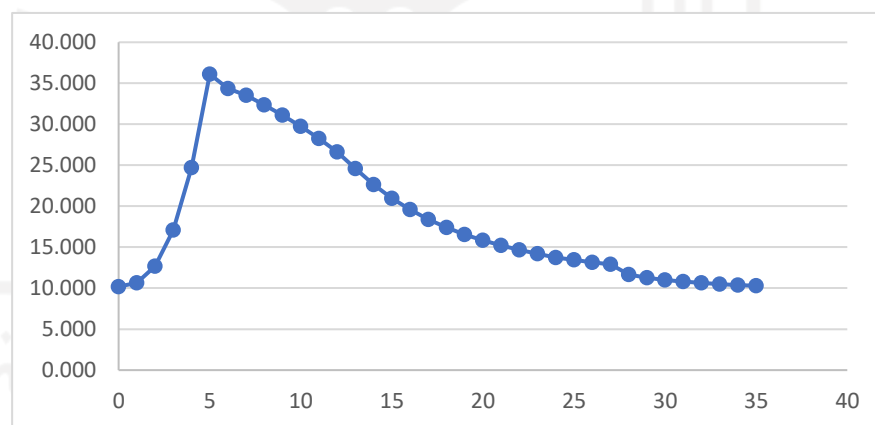
Hasil perhitungan debit banjir metode nakayasu kala ulang 100 tahun disajikan dalam Tabel 5.10 dan grafik disajikan dalam Gambar 5.2 sebagai berikut.

Tabel 5.10 Hasil Perhitungan Debit Banjir Metode *Nakayasu*

Waktu (jam)	Hidrograf Satuan Nakayasu (m ³ /det)	R1 (mm)	R2 (mm)	R3 (mm)	R4 (mm)	R5 (mm)	R6 (mm)	R7 (mm)	Base Flow	Debit Banjir (m ³ /det)
0	0,000	0	0	0	0	0	0	0	10,193	10,193
1	0,007	0,446	0	0	0	0	0	0	10,193	10,638
2	0,0037	2,353	0,115	0	0	0	0	0	10,193	12,660
3	0,0098	6,225	0,605	0,080	0	0	0	0	10,193	17,103
4	0,195	12,417	1,600	0,423	0,064	0	0	0	10,193	24,696
5	0,332	21,212	3,191	1,120	0,337	0,054	0	0	10,193	36,107
6	0,239	15,245	5,452	2,235	0,891	0,284	0,047	0	10,193	34,346
7	0,200	12,776	3,918	3,817	1,777	0,752	0,248	0,042	10,193	33,523
8	0,168	10,707	3,284	2,744	3,036	1,499	0,657	0,222	10,193	32,340
9	0,141	8,973	2,752	2,299	2,182	2,561	1,310	0,587	10,193	30,856
10	0,118	7,520	2,306	1,927	1,828	1,841	2,237	1,170	10,193	29,022
11	0,099	6,302	1,933	1,615	1,532	1,543	1,608	2,000	10,193	26,724
12	0,083	5,281	1,620	1,353	1,284	1,293	1,348	1,437	10,193	23,808
13	0,069	4,426	1,357	1,134	1,076	1,083	1,129	1,204	10,193	21,603
14	0,067	4,276	1,137	0,950	0,902	0,908	0,946	1,009	10,193	20,322
15	0,060	3,801	1,099	0,796	0,756	0,761	0,793	0,846	10,193	19,045
16	0,053	3,379	0,977	0,770	0,633	0,638	0,665	0,709	10,193	17,962

Lanjutan Tabel 5.10 Hasil Perhitungan Debit Banjir Metode Nakayasu

Waktu (jam)	Hidrograf Satuan Nakayasu (m ³ /det)	R1 (mm)	R2 (mm)	R3 (mm)	R4 (mm)	R5 (mm)	R6 (mm)	R7 (mm)	Base Flow	Debit Banjir (m ³ /det)
17	0,047	3,003	0,868	0,684	0,612	0,534	0,557	0,594	10,193	17,045
18	0,042	2,669	0,772	0,608	0,544	0,516	0,467	0,498	10,193	16,267
19	0,037	2,373	0,686	0,540	0,483	0,459	0,451	0,417	10,193	15,603
20	0,033	2,109	0,610	0,480	0,430	0,408	0,401	0,403	10,193	15,034
21	0,029	1,875	0,542	0,427	0,382	0,363	0,356	0,358	10,193	14,496
22	0,026	1,667	0,482	0,380	0,340	0,322	0,317	0,318	10,193	14,018
23	0,023	1,481	0,428	0,337	0,302	0,287	0,282	0,283	10,193	13,593
24	0,021	1,317	0,381	0,300	0,268	0,255	0,250	0,252	10,193	13,215
25	0,020	1,286	0,338	0,267	0,238	0,226	0,222	0,224	10,193	12,944
26	0,018	1,177	0,330	0,237	0,212	0,201	0,198	0,199	10,193	12,747
27	0,017	1,078	0,303	0,231	0,188	0,179	0,176	0,177	10,193	12,524
28	0,015	0	0,277	0,212	0,184	0,159	0,156	0,157	10,193	11,338
29	0,014	0	0	0,194	0,168	0,155	0,139	0,140	10,193	10,989
30	0,013	0	0	0	0,154	0,142	0,136	0,124	10,193	10,749
31	0,012	0	0	0	0	0,130	0,124	0,121	10,193	10,568
32	0,011	0	0	0	0	0	0,114	0,111	10,193	10,417
33	0,010	0	0	0	0	0	0	0,102	10,193	10,294



Gambar 5.2 Grafik Perhitungan Debit Banjir Metode Nakayasu

Hasil analisis hidrograf banjir nakayasu menunjukkan debit banjir maksimum sebesar 36,107 m³/det yang terjadi pada jam ke 5.

5.1.7 Data Pemeriksaan Sedimen

Dalam perhitungan dan analisis sampel sedimen, digunakan beberapa data dari sampel sedimen yang diambil dari lokasi penelitian. Sampel sedimen

yang diambil berupa endapan yang berada di dalam kolam tampungan sabo dam GE-C13. Sampel sedimen yang diambil di lokasi penelitian kemudian diuji di Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Pengujian sedimen dilakukan untuk mengetahui nilai berat jenis, kadar air, gradasi butiran, analisis hidrometer, dan uji kuat geser langsung.

Dari pemeriksaan sedimen, didapatkan beberapa parameter yang digunakan dalam perhitungan. Sampel sedimen diambil pada tanggal 23 Maret 2022 dan diuji di laboratorium pada tanggal 10 – 11 April 2022.



Gambar 5.3 Lokasi Pengambilan Sampel Sedimen

(Sumber : Google Earth)

1. Analisis Berat Jenis Sedimen

Pemeriksaan berat jenis sedimen digunakan untuk mencari nilai berat jenis sampel sedimen. Pemeriksaan berat jenis sedimen digunakan untuk perbandingan berat butir-butir sedimen dengan berat air destilasi dengan volume yang sama pada temperatur 27,5°C. Perhitungan analisis berat jenis sedimen sebagai berikut :

$$W_s = W_2 - W_1 = 80,54 - 27,57 = 52,97$$

$$A = W_s + W_4 = 52,97 + 78,08 = 131,05$$

$$I = A - W_3 = 131,05 - 109,29 = 21,76$$

$$\sigma \text{ pada suhu } T = \frac{W_s}{I} = \frac{52,97}{21,76} = 2,434$$

$$\sigma \text{ pada suhu } 27,5^{\circ}\text{C} = \frac{G_s T \times \gamma_w 27,5^{\circ}\text{C}}{\gamma_w T} = \frac{2,434 \times 0,9964}{0,9968} = 2,433$$

Hasil pemeriksaan berat jenis sampel sedimen ditampilkan pada Tabel 5.11 sebagai berikut.

Tabel 5.11 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Sampel Sedimen

Berat Jenis		
Berat piknometer	W1	27,57
Berat piknometer + tanah kering	W2	80,54
Berat piknometer + tanah + air penuh	W3	109,29
Berat piknometer + air penuh	W4	78,08
Suhu air	t	26,00
Berat volume tanah pada suhu T	γ_w	0,9968
Berat volume tanah pada suhu 27,5°C	γ_w	0,9964
Berat tanah kering	Ws	52,97
A		131,05
I		21,76
Berat jenis tanah pada suhu T	σ	2,434
Berat jenis tanah pada suhu 27,5°C	σ	2,433

2. Kadar Air Sedimen

Pemeriksaan kadar air sedimen digunakan untuk mencari kadar air sampel sedimen. Kadar air merupakan perbandingan antara berat air yang terkandung dalam sampel sedimen yang dinyatakan dalam persen (%). Contoh perhitungan kadar air sedimen pada sampel 1 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Berat tanah} &= \text{berat cawan dan tanah sampel setelah oven} - \text{berat cawan} \\ &= 14,610 - 8,920 = 5,690 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat air} &= \text{berat cawan dan tanah sampel sebelum oven} - \text{berat cawan} \\ &\quad \text{dan tanah sampel setelah oven} \\ &= 18,780 - 14,610 = 4,170 \end{aligned}$$

$$\text{Kadar air} = \frac{\text{berat air}}{\text{berat tanah}} \times 100 = \frac{4,170}{5,690} \times 100 = 72,286$$

Hasil pemeriksaan kadar air sampel sedimen ditampilkan pada Tabel 5.12 sebagai berikut.

Tabel 5.12 Hasil Pemeriksaan Kadar Air Sampel Sedimen

Kadar Air			
Sampel	1	2	3
Berat cawan	8,920	9,290	12,960
Berat cawan + tanah basah	18,780	16,820	22,960
Berat cawan + tanah kering	14,610	13,630	18,740
Berat tanah	5,690	4,340	5,780
Berat air	4,170	3,190	4,220
Kadar air (%)	72,286	73,502	73,010
	73,266		

3. Pemeriksaan Kuat Geser Langsung

Pemeriksaan kuat geser langsung atau *direct shear* digunakan untuk mencari nilai kohesi (C) dan sudut geser langsung (ϕ). Contoh perhitungan kuat geser langsung sebagai berikut :

$$D = 6,373 \text{ cm}$$

$$H = 1,935 \text{ cm}$$

$$W = 86,330 \text{ gr}$$

$$Ab = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 6,373^2 = 31,899 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tegangan normal} = \frac{\text{beban normal}}{Ab} = \frac{2,5}{31,899} = 0,078 \text{ kg/cm}^2$$

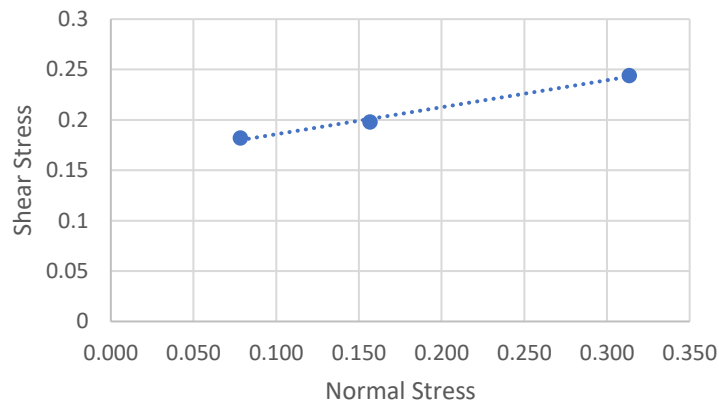
Hasil pemeriksaan kuat geser langsung ditampilkan pada Tabel 5.13 dan grafik ditampilkan pada Gambar 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5.13 Hasil Pemeriksaan Kuat Geser Langsung

Sample Parameters	Specimen		
	0,5	1	2
Diameter (cm)	6,373	6,373	6,373
Height (cm)	1,935	1,935	1,935
Area (cm ²)	31,899	31,899	31,899
Weight (g)	86,330	92,71	92,630
Water Content (%)	73,286	73,502	73,010
Normal Force (Kg)	2,500	5,000	10,000

Lanjutan Tabel 5.13 Hasil Pemeriksaan Kuat Geser Langsung

<i>Normal Stress (Kg/cm²)</i>	0,078	0,157	0,333
<i>Max Shear Force (Kg)</i>	6,019	6,310	7,788
<i>Max Shear Stress (Kg/cm²)</i>	0,182	0,198	0,244
<i>Strength Parameters</i>			
<i>Cohesion, C</i>	0,160	Kg/cm ²	
<i>Friction Angle, f</i>	14,623	degree	



Gambar 5.4 Grafik Kuat Geser Langsung

Hasil pemeriksaan data sedimen yang telah dilakukan didapatkan nilai berat jenis (σ) sebesar 2,433, kadar air sebesar 73,266%, kuat geser langsung sebesar 14,623 derajat, serta persentase butiran yang terdiri dari 48,55% lanau dan 51,45% lempung. Data hasil pemeriksaan tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan tipe aliran dan menghitung nilai konsentrasi sedimen.

5.1.8 Analisis Volume Sedimen Debris Dalam Sekali Banjir Akibat Hujan Rencana (V_s)

Analisis volume sedimen debris dalam sekali banjir akibat hujan rencana (V_s) di DAS Gendol ini didasarkan pada (SNI Pd-T-18-2004-A), tentang pembuatan peta bahaya akibat aliran debris. Perhitungan menggunakan kala ulang 100 tahun sebagai berikut.

1. Data perhitungan

Luas DAS (A)	= 8,811 km ²
Hujan rancangan (R_{24})	= 131,790 mm
Sudut geser dalam statis (\emptyset)	= 14,623°
Berat jenis sedimen (σ)	= 2,43 gram/cm ³

Berat jenis air (ρ)	= 1 gram/cm ³
Void ratio (λ)	= 0,4 (ketetapan)
Konsentrasi sedimen dasar sungai (C^*)	= 0,6 (ketetapan)
Koefisien eksperimen (K)	= 0,85 (ketetapan)
Lebar sungai (B)	= 60 m (Lampiran 10)
Kemiringan dasar sungai ($tg \theta$)	= 0,05263 (Lampiran 10)

2. Tipe aliran sedimen

Untuk mengetahui tipe aliran debris atau aliran hiperkonsentrasi yang ada pada alur sungai dapat dibedakan berdasarkan kemiringan dasar sungai dan tinggi tinggi aliran relatif. Perhitungan kemiringan dasar kritis ($tg \theta_d$) sebagai berikut.

$$Tg \theta_d = \frac{C^*(\sigma - \rho)}{(C^*(\sigma - \rho)) + \left(\rho \left(1 + \frac{1}{K}\right)\right)} \times tg \emptyset$$

$$Tg \theta_d = \frac{0,6(2,43 - 1)}{(0,6(2,43 - 1)) + \left(1 \left(1 + \frac{1}{0,85}\right)\right)} \times tg 14,623$$

$$Tg \theta_d = 0,074$$

Karena nilai $tg \theta$ sebesar 0,05263 lebih kecil dari nilai $tg \theta_d$ maka tipe aliran yang terjadi adalah aliran hiperkonsentrasi.

3. Perhitungan konsentrasi sedimen debris

Pada aliran hiperkonsentrasi gerakan kolektif partikel tidak terjadi pada seluruh kedalaman aliran, melainkan terjadi hanya pada sebagian kedalaman aliran sehingga konsentrasi sedimen (C_d) akan berbeda pada tiap kedalaman aliran. Besarnya konsentrasi sedimen dipengaruhi oleh kemiringan dasar sungai ($tg \theta$). Konsentrasi sedimen aliran hiperkonsentrasi dapat dihitung menggunakan rumus Mizuyama (1988).

Jika $C_d > 0,9 C^*$ maka $C_d = 0,9 C^*$ dan jika $C_d < 0,3$ maka $C_d = 0,3$

$$C_d = \frac{11,85 \times tg^2 \theta}{1 + 11,85 tg^2 \theta}$$

$$C_d = \frac{11,85 \times 0,002775}{1 + (11,85 \times 0,002775)}$$

$$C_d = 0,0318 < 0,3, \text{ maka digunakan } C_d = 0,3$$

4. Koefisien koreksi aliran debris

Jika $A < 0,1 \text{ km}^2$ maka $F_r = 0,5$, jika $A > 10 \text{ km}^2$ maka $F_r = 0,1$, jika $0,1 < A < 10$ maka $F_r = 0,05(\log A - 2)^2 + 0,05$ artinya nilai terendah $F_r = 0,1$ dan tertinggi $F_r = 0,5$ (Rifai, M. 2015).

$$F_r = 0,05(\log A - 2)^2 + 0,05$$

$$F_r = 0,05(\log 8,811 - 2)^2 + 0,05$$

$$F_r = 0,085 < 0,1, \text{ maka digunakan } F_r = 0,1$$

5. Estimasi volume aliran sedimen sekali banjir

$$V_s = \frac{R_{24} \times A \times 10^3}{1-\lambda} \times \frac{C_d}{1-C_d} \times F_r$$

$$V_s = \frac{131,790 \times 8,811 \times 10^3}{1-0,4} \times \frac{0,3}{1-0,3} \times 0,1$$

$$V_s = 82.942,98 \text{ m}^3$$

Estimasi volume aliran sedimen sekali banjir adalah sebesar $87.919,56 \text{ m}^3$

5.1.9 Analisis Keseimbangan Sedimen

Evaluasi kapasitas tampungan Sabo Dam GE-C13 dihitung menggunakan rumus Shimoda (1995).

1. Data perhitungan

$$\text{Tinggi dam (H)} = 14 \text{ m (Lampiran 10)}$$

$$\text{Kemiringan di site sabo (I}_o\text{)} = 5,263\% = 0,05263 \text{ (Lampiran 10)}$$

$$\text{Lebar sedimen rencana (B)} = 60 \text{ m (Lampiran 10)}$$

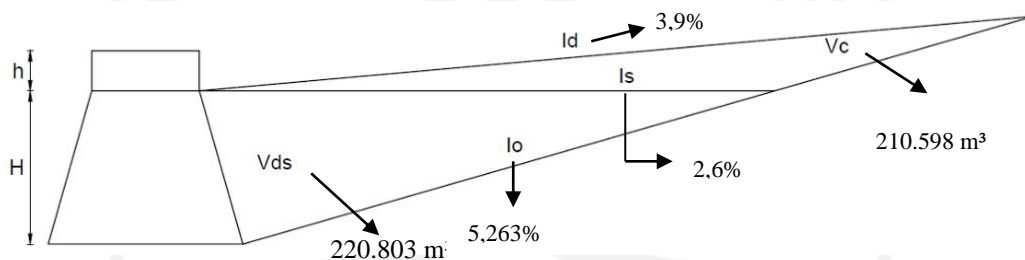
2. Analisis kapasitas tampungan Sabo Dam GE-C13

Untuk perhitungan analisis perkiraan sedimen yang melimpas ke hilir digunakan rumus keseimbangan sedimen *Shimoda*. Perhitungan kapasitas tampungan sabo dam hanya dilakukan di lokasi sabo dam yang ditinjau tanpa dipengaruhi dari bangunan sabo dam lainnya (Vianey, M.R. 2019).

$$\begin{aligned} I_s &= 0,5 \times I_o \\ &= 0,5 \times 0,05263 = 0,026 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_d &= 0,75 \times I_o \\ &= 0,75 \times 0,05263 = 0,039 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L1 &= \frac{H_{\text{efektif}}}{(I_o - I_s)} \\
 &= \frac{14}{(0,05263 - 0,026)} = 525,723 \text{ m} \\
 L2 &= \frac{H_{\text{efektif}}}{(I_o - I_d)} \\
 &= \frac{14}{(0,05263 - 0,039)} = 1027,146 \text{ m} \\
 A1 &= 0,5 \times H \times L1 \\
 &= 0,5 \times 14 \times 525,723 = 3680,061 \text{ m}^2 \\
 A2 &= (0,5 \times H \times L2) - A1 \\
 &= (0,5 \times 14 \times 1027,146) - 3680,061 = 3509,961 \text{ m}^2 \\
 V_{ds} &= 0,5 \times H \times B \times L1 \\
 &= 0,5 \times 14 \times 60 \times 525,723 = 220.803 \text{ m}^3 \\
 V_{tot} &= (A1 + A2) \times B \\
 &= (3680,061 + 3509,961) \times 60 = 431.401,32 \text{ m}^3 \\
 V_c &= V_{tot} - V_{ds} \\
 &= 431.401,32 - 220.803 = 210.598 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$



Gambar 5.5 Sketsa Hasil Analisis Kapasitas Tampungan Sabo Dam GE-C13

3. Analisis volume sedimen yang melimpas alami dan akibat pengaruh erosi lereng

Potensi aliran sedimen yang mengalir ke sabo dam juga dipengaruhi jumlah sedimen yang terjadi karena beberapa kondisi, misalnya seperti erosi lereng, longsor lereng, erosi pada tebing sungai, serta erosi dasar sungai. Hal yang mempengaruhi potensi erosi lereng pada wilayah sungai adalah kemiringan lereng yang mencapai 5% atau lebih. Berdasarkan data potensi sedimen yang didapat dari (TIM OJT ISDM Merapi tahun 2005 dalam Legono,D, 2008), di

sepanjang aliran Kali Gendol terdapat beberapa potensi sedimen yang terjadi. Data besarnya potensi sedimen ditampilkan pada Tabel 5.14 sebagai berikut.

Tabel 5.14 Potensi Sedimen Kali Gendol

No	Potensi Sedimen	Jumlah (m ³)
1	Erosi Lereng	229.000
2	Longsor Lereng	41.000
3	Erosi Tebing Sungai	3.400.000
4	Erosi Dasar Sungai	957.000
Total		4.627.000

Data tersebut diambil dari puncak Gunung Merapi sejauh 12 km ke arah hilir. Hal tersebut tidak jauh dengan lokasi Sabo Dam GE-C13 yang berlokasi 11,221 km dari puncak Gunung Merapi.

Untuk mengetahui nilai volume sedimen yang melimpas alami dan akibat pengaruh erosi lereng dan sungai dilakukan perhitungan sebagai berikut.

- a. Volume sedimen yang melimpas alami (V_e)

$$\begin{aligned} V_e &= V_s - (V_c + V_{ds}) \\ &= 82.942,98 - (210.598 + 220.803) \\ &= - 348.458,02 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- b. Volume sedimen yang melimpas alami akibat pengaruh erosi lereng dan sungai (V_E)

$$\begin{aligned} V_E &= V_s + V_{ps} - (V_c + V_{ds}) \\ &= 82.942,98 + 4.627.000 - (210.598 + 220.803) \\ &= 4.278.541,98 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

5.1.10 Analisis Kontrol Aliran Massa Sedimen

Kandungan sedimen terbesar terjadi pada saat puncak banjir. Debit puncak aliran debris diestimasi berdasarkan hubungan antara debit puncak limpasan dan kandungan sedimennya. Perhitungannya sebagai berikut.

1. Data perhitungan

$$\text{Debit puncak limpasan (Q)} = 36,107 \text{ m}^3/\text{det} \text{ (Analisis 5.6)}$$

$$\text{Konsentrasi sedimen dasar sungai (C*)} = 0,6 \text{ (ketetapan)}$$

$$\text{Konsentrasi sedimen (Cd)} = 0,3 \text{ (Analisis 5.8)}$$

1. Debit puncak aliran debris

$$Q_d = \frac{c^*}{c^* - c_d} \times Q'$$

$$Q_d = \frac{0,6}{0,6 - 0,3} \times 36,107$$

$$Q_d = 72,214 \text{ m}^3/\text{det}$$

2. Volume aliran debris

$$V_d = 500 \times Q_d$$

$$V_d = 500 \times 72,214$$

$$V_d = 36.107 \text{ m}^3$$

5.1.11 Kapasitas Tampungan Sabo Dam GE-C13

Untuk mendapatkan nilai kapasitas tampungan Sabo Dam GE-C13 dan jumlah sedimen yang tertampung saat ini, digunakan data perhitungan dari data sedimen BBWS Serayu-Opak. Volume kapasitas tampungan Sabo Dam GE-C13 adalah 164.200 m³ dan volume yang tersisa saat ini di sabo dam adalah 2.600 m³, sehingga sisa kapasitas tampungan di sabo dam saat ini adalah 161.600 m³. Dapat dihitung sedimen yang terisi di Sabo Dam GE-C13 saat ini sebesar 2% dari total kapasitas.

5.2 Pembahasan

Hasil perhitungan menunjukkan volume sedimen alami yang melimpas tanpa memperhitungkan potensi sedimen bernilai negatif (Ve) sebesar -348.458,02 m³ sehingga imbalanced sedimen dapat tercapai dan tidak ada sedimen yang melimpah di sabo dam bagian hilir dari Sabo Dam GE-C13. Selain itu, dapat diketahui bahwa imbalanced sedimen hingga kala ulang 100 tahun, Sabo Dam GE-C13 masih mampu mengendalikan aliran sedimen. Dibandingkan dengan kondisi asli di lokasi penelitian, jika memperhatikan besarnya potensi sedimen akibat

pengaruh erosi lereng dan sungai, hasil pada perhitungan keseimbangan sedimen tersebut menunjukkan bahwa akan terdapat volume yang melimpas alami (V_e) sebesar 4.278.541,98 m³. Hal tersebut mungkin terjadi karena perhitungan hanya meninjau kapasitas tampungan di Sabo Dam GE-C13 tanpa memperhitungkan kapasitas tampungan di sabo dam lainnya. Jika dilihat langsung di lapangan, sampai sekarang masih terdapat banyak sisa sedimen di enam bangunan sabo yang berada diatas Sabo Dam GE-C13.

Berdasarkan data sedimen eksisting yang ada di Sabo Dam GE-C13 menunjukkan bahwa Sabo Dam GE-C13 masih bisa berfungsi secara optimum karena volume sedimen yang tertahan hanya 2% dari total kapasitas tampungan Sabo Dam GE-C13. Namun, melihat dari besarnya nilai volume sedimen yang melimpas akibat pengaruh erosi lereng dan sungai kemungkinan besar Sabo Dam GE-C13 akan tertimbun oleh sedimen yang melimpas jika tidak direvitalisasi.

Melihat dari nilai volume aliran debris yang diakibatkan oleh debit puncak aliran debris (V_d) sebesar 36.107 m³ seharusnya tidak jauh berbeda dengan hasil yang didapat pada perhitungan volume aliran sedimen sekali banjir yang diakibatkan oleh hujan rencana sebesar (V_s) sebesar 82.942,98 m³ maka perlu ditinjau ulang dengan metode perhitungan debit banjir lain untuk mendapatkan hasil yang lebih mendekati dengan volume potensi sekali banjir (V_e).

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan. Maka kesimpulan yang didapat dari penelitian sebagai berikut :

1. Besarnya volume sedimen sekali banjir (V_s) oleh Q100 sebesar 82.942,98 m³, sedangkan volume *dead storage* (V_{ds}) sebesar 220.803 m³, dengan volume kontrol (V_c) sebesar 210.598 m³. Sehingga volume sedimen yang melimpas alami akibat pengaruh erosi lereng dan sungai (VE) sebesar 4.278.541,98 m³ harus dikelola oleh 6 sabo dam di bagian hulu Sabo Dam GE-C13 dan juga Sabo Dam GE-C13 itu sendiri.
2. Bangunan pengendali sedimen eksisting pada saat ini mampu menangkap sedimen sebesar 161.600 m³, Jika melihat dari nilai volume sedimen alami yang melimpas (V_e) yang bernilai negatif sebesar -348.458,02 m³ dapat disimpulkan bahwa keseimbangan sedimen yang terjadi pada bangunan Sabo Dam GE-C13 dapat tercapai.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa saran yang diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan pada penelitian selanjutnya, antara lain :

1. Ditambahkan data curah hujan yang terbaru dan lebih banyak serta diolah secara berkala supaya volume potensi sedimen yang diperkirakan dapat lebih akurat dan mendekati kondisi asli di lapangan.
2. Dilakukan penelitian kapasitas dan kemampuan tampungan sabo dam pada bangunan sabo dam lain di Kali Gendol supaya diketahui nilai estimasi sedimen yang melimpas agar bisa dijadikan bahan evaluasi dan upaya preventif dalam mencegah dampak bencana yang lebih besar.

3. Dalam menjaga kelestarian bangunan sabo dam, dibutuhkan pengawasan dan pengontrolan terhadap sedimen yang masuk dan keluar supaya keseimbangan sedimen dapat tercapai.



DAFTAR PUSTAKA

- Petijohn. 1975. Batuan Sedimen
- Shimoda, 1995. *Study Report of Urgent Sabo Countermeasure Plan For Volcanic Disaster in Mt. Merapi*
- Mukhlisin. 1998. Pengaruh Curah Hujan Terhadap Pembentukan Aliran Debris
- Cahyono, Joko. 2000. Buku Pengantar Teknologi Sabo, Yayasan Teknologi Sabo
- Takahashi, Tamotsu. 2003. Debris Flow, Taylor & Francis Group, London
- Anonim. 2004. Pembuatan Peta Bahaya Akibat Aliran Debris
- Anonim. 2004. Tata Cara Perencanaan Teknik Bendung Penahan Sedimen
- Suripin. 2004. Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan
- Rahmat, Ali. 2008. Pengelolaan Sedimen Kali Gendol Pasca Erupsi Merapi Juni 2006
- Sanusi, Wawa. 2008. Evaluasi Koefisien Manning Pada Berbagai Tipe Dasar Saluran
- Triatmojo, Bambang. 2008. Hidrologi Terapan, Beta Offset. Yogyakarta
- Eka. 2011. Analisis Kinerja Bangunan Sabo Dam Dalam Mengendalikan Sedimen Studi Kasus Check Dam PU-D2 dan PU-D1 di Kali Putih Kabupaten Magelang.
- Rahayu, Nita, dkk. 2014. Analisa Potensi Sedimen Debris di Das Konto Pasca Erupsi Gunung Kelud 2014

- Rifai, Muhammad. dkk. 2015. Studi Evaluasi dan Analisis Bangunan Pengendali Sedimen di Das Nangka
- Abdunnafi, Ginanjar. 2016. Analisis Curah Hujan Dengan Metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu Terhadap Terjadinya Migrasi *Debris Flow* Kali Putih Gunung Merapi
- Fitra, Fahri Syawal. 2019. Studi Keandalan Tampunguan Sedimen Sabo Dam Sehati Pulau Seram Maluku Tengah
- Vianey, Maria Rosario. 2019. Analisis Kapasitas Tampunguan Sabo Dam GE-C12 di Kali Gendol, Yogyakarta
- Ramadhan, Haidar. 2020. Analisis Efektivitas Sabo Dam di Kali Putih Menggunakan Aplikasi SIMLAR V.2.0
- Madiastuti, Sri. 2020. Analisis Stabilitas Bangunan Pengendali Sedimen Gunung Merapi (Studi Kasus Sabo Dam GE-C13, Kali Gendol)
- Obe, Lihawa Fitryane. 2021. Daerah Aliran Sungai Alo: Erosi, Sedimentasi, dan Longsoran.



LAMPIRAN

الجامعة الإسلامية
الاستدراكية

Lampiran 1 Data Curah Hujan Harian Maksimum Stasiun Sorasan Tahun 2010 - 2020

Bulan	Tahun										
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Januari	43	68	105	72.5	62.5	78	21.5	53.6	81.8	42.8	40.2
Februari	59	52.5	0	51	105.5	62	58	58.8	94.2	48.2	86.2
Maret	38.5	94	0	73.5	33	77	84.5	72.8	79.8	86	96.4
April	0	90	66	88	29	77	46	49.4	37.4	52.8	62.6
Mei	0	74.5	39	36.5	36	-	74.5	36.6	24	24.4	71
Juni	13.5	0	45	92	28	-	80	39	13.8	0	0
Juli	74	0	0	15	14.5	-	28	11.2	0	0	0
Agustus	41	0	0	4	0.5	0.5	40.5	3.4	1	1	0
September	67.5	8.5	0	0	0	0	78.5	72.4	0.2	0.6	0
Oktober	47	42	22	43	1	0	47.5	59.8	4	45.2	0
November	42	50.5	70	73.5	76	53	98.2	123.6	75.2	30.2	0
Desember	70.5	0	66.5	62	42.5	73	61.8	73	45.2	65	0
Maksimum	74	94	105	92	105.5	78	98.2	123.6	94.2	86	96.4

Lampiran 2 Nilai X^2 Kritik (Uji Chi Kuadrat)

Percentage Points of the Chi-Square Distribution									
Degrees of Freedom	Probability of a larger value of x^2								
	0.99	0.95	0.90	0.75	0.50	0.25	0.10	0.05	0.01
1	0.000	0.004	0.016	0.102	0.455	1.32	2.71	3.84	6.63
2	0.020	0.103	0.211	0.575	1.386	2.77	4.61	5.99	9.21
3	0.115	0.352	0.584	1.212	2.366	4.11	6.25	7.81	11.34
4	0.297	0.711	1.064	1.923	3.357	5.39	7.78	9.49	13.28
5	0.554	1.145	1.610	2.675	4.351	6.63	9.24	11.07	15.09
6	0.872	1.635	2.204	3.455	5.348	7.84	10.64	12.59	16.81
7	1.239	2.167	2.833	4.255	6.346	9.04	12.02	14.07	18.48
8	1.647	2.733	3.490	5.071	7.344	10.22	13.36	15.51	20.09
9	2.088	3.325	4.168	5.899	8.343	11.39	14.68	16.92	21.67
10	2.558	3.940	4.865	6.737	9.342	12.55	15.99	18.31	23.21
11	3.053	4.575	5.578	7.584	10.341	13.70	17.28	19.68	24.72
12	3.571	5.226	6.304	8.438	11.340	14.85	18.55	21.03	26.22
13	4.107	5.892	7.042	9.299	12.340	15.98	19.81	22.36	27.69
14	4.660	6.571	7.790	10.165	13.339	17.12	21.06	23.68	29.14
15	5.229	7.261	8.547	11.037	14.339	18.25	22.31	25.00	30.58
16	5.812	7.962	9.312	11.912	15.338	19.37	23.54	26.30	32.00
17	6.408	8.672	10.085	12.792	16.338	20.49	24.77	27.59	33.41
18	7.015	9.390	10.865	13.675	17.338	21.60	25.99	28.87	34.80
19	7.633	10.117	11.651	14.562	18.338	22.72	27.20	30.14	36.19
20	8.260	10.851	12.443	15.452	19.337	23.83	28.41	31.41	37.57
22	9.542	12.338	14.041	17.240	21.337	26.04	30.81	33.92	40.29
24	10.856	13.848	15.659	19.037	23.337	28.24	33.20	36.42	42.98
26	12.198	15.379	17.292	20.843	25.336	30.43	35.56	38.89	45.64
28	13.565	16.928	18.939	22.657	27.336	32.62	37.92	41.34	48.28
30	14.953	18.493	20.599	24.478	29.336	34.80	40.26	43.77	50.89
40	22.164	26.509	29.051	33.660	39.335	45.62	51.80	55.76	63.69
50	27.707	34.764	37.689	42.942	49.335	56.33	63.17	67.50	76.15
60	37.485	43.188	46.459	52.294	59.335	66.98	74.40	79.08	88.38

Lampiran 3 Nilai Δ Kritik (Uji Smirnov Kolmogorov)

v	α			
	0.2	0.1	0.05	0.01
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.32	0.37	0.41	0.49
15	0.27	0.3	0.34	0.40
20	0.23	0.26	0.29	0.36
25	0.21	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.2	0.23	0.27
40	0.17	0.19	0.21	0.25
45	0.16	0.18	0.2	0.24
50	0.15	0.17	0.19	0.23
n>50	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$

Lampiran 4 Nilai KT Untuk Distribusi Log Pearson III Positif

Skew coefficient C_s or C_w	Return period in years						
	2	5	10	25	50	100	200
	Exceedence probability						
	0.50	0.20	0.10	0.04	0.02	0.01	0.005
3.0	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051	4.970
2.9	-0.390	0.440	1.195	2.277	3.134	4.013	4.909
2.8	-0.384	0.460	1.210	2.275	3.114	3.973	4.847
2.7	-0.376	0.479	1.224	2.272	3.093	3.932	4.783
2.6	-0.368	0.499	1.238	2.267	3.071	3.889	4.718
2.5	-0.360	0.518	1.250	2.262	3.048	3.845	4.652
2.4	-0.351	0.537	1.262	2.256	3.023	3.800	4.584
2.3	-0.341	0.555	1.274	2.248	2.997	3.753	4.515
2.2	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705	4.444
2.1	-0.319	0.592	1.294	2.230	2.942	3.656	4.372
2.0	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298
1.9	-0.294	0.627	1.310	2.207	2.881	3.553	4.223
1.8	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147
1.7	-0.268	0.660	1.324	2.179	2.815	3.444	4.069
1.6	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388	3.990
1.5	-0.240	0.690	1.333	2.146	2.743	3.330	3.910
1.4	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828
1.3	-0.210	0.719	1.339	2.108	2.666	3.211	3.745
1.2	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661
1.1	-0.180	0.745	1.341	2.066	2.585	3.087	3.575
1.0	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489
0.9	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401
0.8	-0.132	0.780	1.336	1.993	2.453	2.891	3.312
0.7	-0.116	0.790	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223
0.6	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132
0.5	-0.083	0.808	1.323	1.910	2.311	2.686	3.041
0.4	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615	2.949
0.3	-0.050	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856
0.2	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763
0.1	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.400	2.670
0.0	0	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576

Lampiran 5 Nilai KT Untuk Distribusi Log Pearson III Negatif

Skew coefficient C_s or C_w	Return period in years						
	2	5	10	25	50	100	200
	Exceedence probability						
	0.50	0.20	0.10	0.04	0.02	0.01	0.005
-0.1	0.017	0.846	1.270	0.716	2.000	2.252	2.482
-0.2	0.033	0.850	1.258	1.680	1.945	2.178	2.388
-0.3	0.050	0.853	1.245	1.643	1.890	2.104	2.294
-0.4	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029	2.201
-0.5	0.083	0.856	1.216	1.567	1.777	1.955	2.108
-0.6	0.099	0.857	1.200	1.528	1.720	1.880	2.016
-0.7	0.116	0.857	1.183	1.488	1.663	1.806	1.926
-0.8	0.132	0.856	1.166	1.448	1.606	1.733	1.837
-0.9	0.148	0.854	1.147	1.407	1.549	1.660	1.749
-1.0	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588	1.664
-1.1	0.180	0.848	1.107	1.324	1.435	1.518	1.581
-1.2	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449	1.501
-1.3	0.210	0.838	1.064	1.240	1.324	1.383	1.424
-1.4	0.225	0.832	1.041	1.198	1.270	1.318	1.351
-1.5	0.240	0.825	1.018	1.157	1.217	1.256	1.282
-1.6	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.197	1.216
-1.7	0.268	0.808	0.970	1.075	1.116	1.140	1.155
-1.8	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.087	1.097
-1.9	0.294	0.788	0.920	0.996	1.023	1.037	1.044
-2.0	0.307	0.777	0.895	0.959	0.980	0.990	0.995
-2.1	0.319	0.765	0.869	0.923	0.939	0.946	0.949
-2.2	0.330	0.752	0.844	0.888	0.900	0.905	0.907
-2.3	0.341	0.739	0.819	0.855	0.864	0.867	0.869
-2.4	0.351	0.725	0.795	0.823	0.830	0.832	0.833
-2.5	0.360	0.711	0.771	0.793	0.798	0.799	0.800
-2.6	0.368	0.696	0.747	0.764	0.768	0.769	0.769
-2.7	0.376	0.681	0.724	0.738	0.740	0.740	0.741
-2.8	0.384	0.666	0.702	0.712	0.714	0.714	0.714
-2.9	0.390	0.651	0.681	0.683	0.689	0.690	0.690
-3.0	0.396	0.636	0.666	0.666	0.666	0.667	0.667

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Lampiran 6 Nilai Faktor Koreksi (a) Berdasarkan Berat Jenis (G)

berat jenis, G	Konstanta, a
2.95	0.94
2.85	0.96
2.75	0.98
2.65	1.00
2.55	1.02
2.45	1.05

Lampiran 7 Nilai Kedalaman Efektif (L) 152 H

Hidrometer 152 H			
Pembacaan aktual hidrometer	Kedalaman efektif L (mm)	Pembacaan aktual hidrometer	Kedalaman efektif L (mm)
0	163	31	112
1	161	32	111
2	160	33	109
3	158	34	107
4	156	35	106
5	155	36	104
6	153	37	102
7	152	38	101
8	150	39	99
9	148	40	97
10	147	41	96
11	145	42	94
12	143	43	92
13	142	44	91
14	140	45	89
15	138	46	88
16	137	47	86
17	135	48	84
18	133	49	83
19	132	50	81
20	130	51	79
21	129	52	78
22	127	53	76
23	125	54	74
24	124	55	73
25	122	56	71
26	120	57	70
27	119	58	68
28	117	59	66
29	115	60	55
30	114		

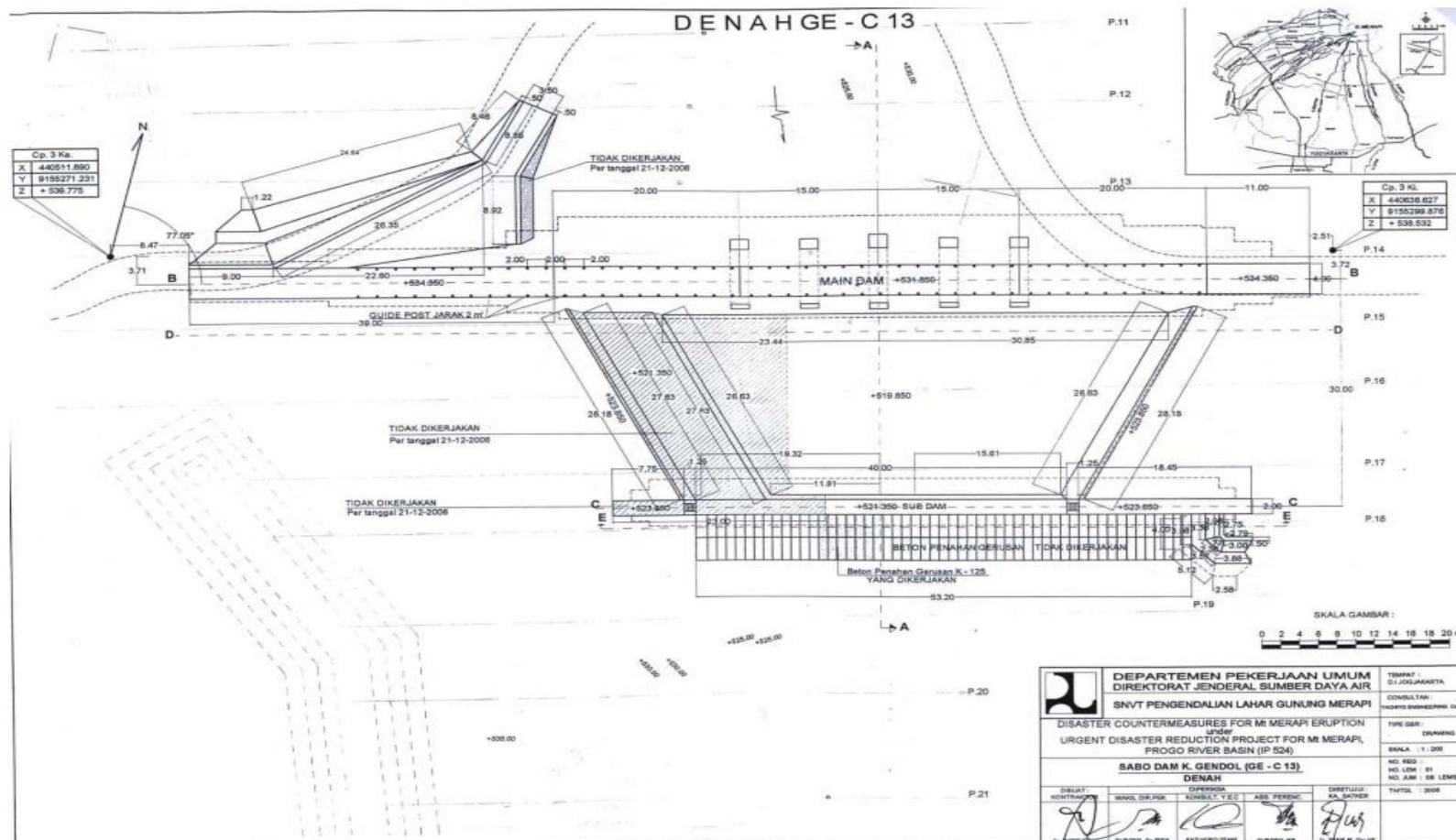
Lampiran 8 Nilai Konstanta K

Temperatur , °C	Berat jenis butiran tanah								
	2.450	2.500	2.550	2.600	2.650	2.700	2.750	2.800	2.850
16	0.01510	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374	0.01356
17	0.01511	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356	0.01338
18	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01356	0.01339	0.01321
19	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.01323	0.01305
20	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307	0.01289
21	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291	0.01273
22	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276	0.01258
23	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261	0.01243
24	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246	0.01229
25	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232	0.01215
26	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218	0.01201
27	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204	0.01188
28	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01225	0.01208	0.01192	0.01175
29	0.01312	0.01290	0.01269	0.01249	0.01230	0.01212	0.01195	0.01178	0.01162
30	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.01217	0.01199	0.01182	0.01165	0.01149

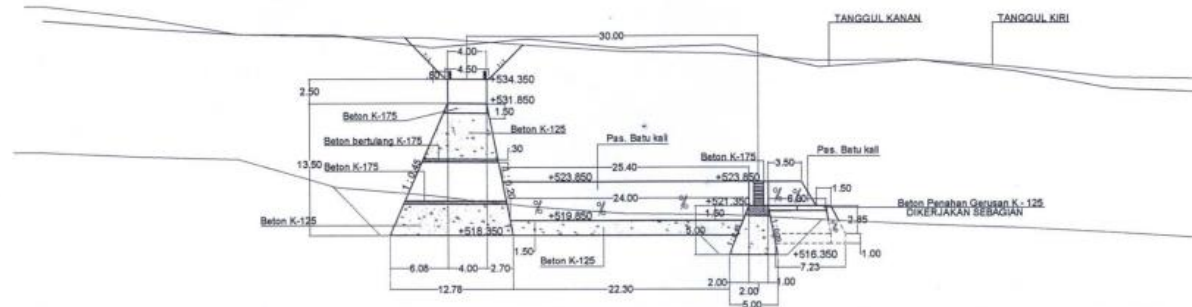
Lampiran 9 Dokumentasi Saat Pengambilan Sampel Sedimen



Lampiran 11 Site Plan Sabo Dam GE-C13



POTONGAN A - A



+510,000 m

PATOK	P. 10	P. 11	P. 12	P. 13	P. 14	P. 15	P. 16	P. 17	P. 18	P. 19	P. 20	P. 21	P. 22
JARAK		10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
ELEVASI TANGGUL KIRI	526.855	526.289	526.793	526.857	526.921	526.985	527.049	527.113	527.177	527.241	527.305	527.369	527.433
ELEVASI TANGGUL KANAN	526.433	526.873	526.384	526.895	527.406	527.917	528.428	528.939	529.450	529.961	530.472	530.983	531.494
ELEVASI MUKA TANAH	526.855	526.289	526.793	526.857	526.921	526.985	527.049	527.113	527.177	527.241	527.305	527.369	527.433

LEGEND :

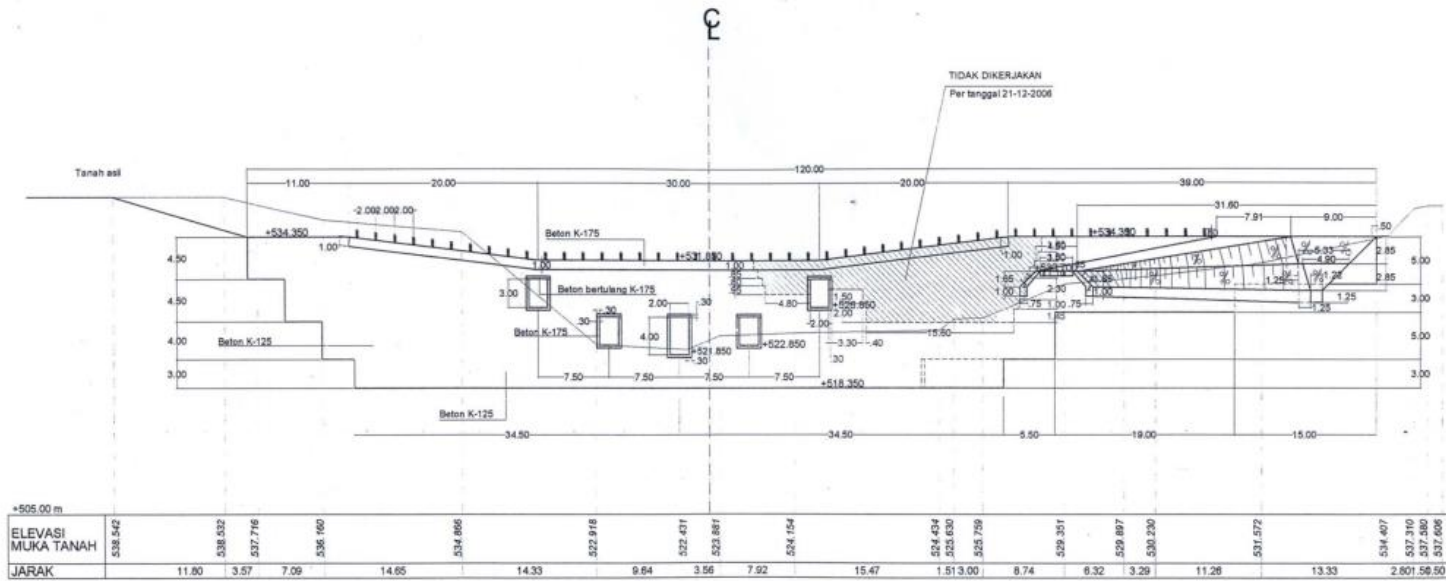
- CONCRETE C (K-125)
- CONCRETE B (K-175)
- WET MASONRY
- EMBANKMENT
- EXCAVATION
- CONCRETE BLOCK
- REINFORCEMENT CONCRETE (K-175)
- GABION PROTECTION
- PEKERJAAN DITUNDA/TIDAK DIKERJAKAN

SKALA GAMBAR :



	DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR		TEMPAT DI JOGJAKARTA
	SNVT PENGENDALIAN LAHAR GUNUNG MERAPI		CONSULTAN YUDHITO ENGINEERING - GRS
DISASTER COUNTERMEASURES FOR M1 MERAPI ERUPTION URGENT URGENT DISASTER REDUCTION PROJECT FOR M1 MERAPI, PROGO RIVER BASIN (IP 524)			TITLE SHEET DRAWING
SABO DAM K. GENDOL (GE - C 13) POTONGAN A - A			SKALA : 1 : 200
DIBUAT KONTROLER	WAKIL DIR. PEK.	KONSULT. V.E.C.	DISTRIBUSI KA-SATYER
M. MARIANUS	SURONO, S.P., M.Sc.	KALUNGRO OTANG	SURONO, M.E.
			P. TAMARA, S.P., M.E.
			TW/02 2008

UPSTREAM VIEW
POTONGAN B - B



- LEGEND :
- CONCRETE C (K-125)
 - CONCRETE B (K-175)
 - WET MASONRY
 - EMBANKMENT
 - EXCAVATION
 - CONCRETE BLOCK
 - REINFORCEMENT CONCRETE (K-175)
 - GABION PROTECTION
 - PEKERJAAN DITUNDA/TIDAK DIKERJAKAN



	DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR		TEMPAT : DI KOLAHAWA
	SNVT PENGENDALIAN LAHAR GUNUNG MERAPI		CONSULTANT TADORS ENGINEERING, DLL
DISASTER COUNTERMEASURES FOR M MERAPI ERUPTION under URGENT DISASTER REDUCTION PROJECT FOR M MERAPI PROGO RIVER BASIN (P 524)			TITLE (GB): DRAWING
SABO DAM K. GENDOL (GE - C 13) POTONGAN B - B			SKALA : 1 : 50
			NO. DES. NO. LEM : 07 NO. JAM : DE LEMBAR
DISKUSI KONTAKTOR	WAKIL DIRJEN KORUS/1/PRA	DIREKTOR KORUS/1/TEC	DIREKTUR KORUS/1/RE
			THYDOL : 2008