

ANALISIS EFEKTIVITAS SABO DAM DI KALI PUTIH MENGGUNAKAN APLIKASI SIMLAR V 2.0

Haidar Ramadhan¹, Lalu Makrup²

¹Mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Universitas Islam Indonesia
Email: 13511079@students.uui.ac.id

² Staf Pengajar Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Universitas Islam Indonesia
Email: lalu.makrup@uui.ac.id

Abstract: *There are several methods for disaster mitigation that can be done, one of which is debris flow simulation using SIMLAR V 2.0 software to determine the distribution of debris flow, debris volume, erosion and sediment that occur so that occur as a comparison for analysis and also the simulation results can be used as a reference for disaster mitigation. Sabo effectiveness analysis using similar application will only be done by comparing the reduction in volume and velocity of debris. From the analysis conducted it was found that Sabo dam research effectively reduced the volume of debris with the largest percentage of 55.93%. With notes Sabo requires time to reduce the volume of debris significantly because the highest percentage just occurred at the 9th hour of the simulation that is equal to 44075.61 m³ or 55.93%. The peak discharge in the simulation occurs at the 3rd hour of 206.8477 m³/s. 4. The biggest debris flow velocity occurred at the 3rd hour which was 3.7729 m/s while the biggest decrease in debris velocity occurred at the 8th hour which was 0.8781 m/s. Sabo dam PU-CSeloiring is able to hold the maximum sediment height compared to other research sabo which is 1,8579 m high.. Areas prone to cold lava flood in Kali Putih in this simulation are Dusun Kemiren, Dusun Jumoyo Utara, Dusun Jumoyo Selatan, Dusun Klumpukan, Dusun Sukowati, Dusun Nabin Kulon and Dusun Seloboro.*

Keyword: *Sabo Dam, Debris Flow, SIMLAR V 2.0*

1. PENDAHULUAN

Pada letusan yang terjadi pada Oktober 2010 dan November 2010 G.Merapi memuntahkan endapan material padat mulai yang berbentuk batu berukuran besar sampai dengan material pasir sejumlah 140 juta m³ dipuncak Gunung Merapi dan sekitarnya. Letusan tersebut merupakan letusan paling dahsyat dan terlama dalam kurun waktu 50 tahun. Bersamaan dengan turunnya hujan, material endapan tersebut mengalir ke hilir dalam bentuk lahar dingin ke semua (15) sungai yang berhulu di Gunung Merapi salah satunya adalah Kali Putih. Pasca bencana lahar dingin November 2010 Kali Putih adalah salah satu Sungai yang menerima kerugian atau dampak kerusakan cukup besar dalam bencana tersebut seperti kerusakan bangunan sabo yang telah

dibangun, permukiman warga, daerah pertanian, sarana transportasi dan terjadinya kenaikan dasar sungai yang cukup tinggi sehingga mengakibatkan terjadi luapan Kali Putih di Jalan Provinsi Yogya - Magelang di Jumoyo sehingga segala aktivitas yang melewati jalan tersebut menjadi terhambat.

Oleh karena itu melihat besarnya dampak yang terjadi diperlukan usaha pencegahan resiko bencana. Untuk mengantisipasi bahaya dari bencana sedimen perlu diterapkan teknologi sabo atau lebih dikenal tekno sabo yang diharapkan mampu mengurangi bencana akibat aliran debris. Ada beberapa metode untuk mitigasi bencana yang dapat dilakukan salah satunya adalah simulasi aliran debris yang menggunakan software SIMLAR V 2.0

dimana pada penelitian ini aliran debris dan bentuk dari bangunan sabo dimodelkan sedemikian rupa untuk disimulasikan. SIMLAR V 2.0 adalah aplikasi simulasi debris banjir lahar yang dikembangkan oleh Balai Sabo, Puslitbang Sumber Daya Air pada tahun 2011, bekerjasama dengan Universitas Gadjah Mada yang memodifikasi program simulasi banjir tersebut. Output yang didapatkan dari simulasi ini adalah peta sebaran aliran debris, kecepatan dan volume debris serta nilai tinggi erosi dan sedimen pada titik – titik tertentu bangunan sabo.

1. Bagaimana kemampuan sabo dam Kali Putih menahan laju erosi dan sedimen pada hasil simulasi program/software SIMLAR V. 2.0 dalam mengendalikan debris flow selama ini?
2. Bagaimana efektivitas bangunan sabo pada hasil simulasi program/software SIMLAR V. 2.0 dalam rencana mitigasi bencana?
3. Daerah mana saja yang bahaya / rawan banjir lahar dingin disekitar DAS Kali Putih?

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui kemampuan bangunan sabo pada Kali Putih dalam menahan sedimen dan erosi yang ada pada (*debris flow*);
2. Mengetahui efektivitas bangunan sabo pada hasil simulasi program/software SIMLAR V. 2.0;
3. Mengetahui daerah bahaya / rawan banjir lahar dingin disekitar Daerah Aliran Sungai (DAS) Kali Putih

2. LANDASAN TEORI

2.1. 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 kerusakan lingkungan. Material sedimen yang dibawa aliran debris bisa berasal dari letusan gunung berapi maupun material longsor bukit atau tebing di bagian hulu (Bambang Sulistiyono, 2013).

2.2. Erosi dan Sedimen

2.2.1. Erosi

Erosi adalah peristiwa pengikisan padatan (sedimen, tanah, batuan, dll) akibat transportasi angin, air, es, hujan, pengaruh gravitasi atau akibat aktivitas makhluk hidup. Proses erosi dapat menyebabkan merosotnya produktivitas tanah dan daya dukung tanah.

2.2.2. Sedimen

Pipkin (1977) dalam Rizki (2018) 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.

Menurut Pragnjono (1988), angkutan sedimen menurut asal bahan dasarnya dibedakan menjadi muatan material dasar (*bed load*) dan muatan bilas (*wash load*). Sementara itu menurut Istiarto (2014), transpor sedimen oleh aliran air adalah transpor 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.

2.3 Analisis Hidrologi

Sebelum melakukan simulasi aliran debris menggunakan program SIMLAR V 2.0 langkah pertama yang dilakukan adalah

menghitung perkiraan debit banjir yang terjadi pada DAS Kali Putih. Data-data hidrologi yang diperoleh dianalisis untuk memperoleh besarnya debit banjir dengan periode ulang tertentu. Adapun langkah-langkah dalam analisis hidrologi adalah sebagai berikut:

1. Perencanaan Daerah Aliran Sungai (DAS) beserta luasnya.
2. Analisis curah hujan wilayah.
3. Analisis mengenai frekuensi curah hujan.
4. Pemilihan jenis sebaran.
5. Uji kecocokan sebaran.
6. Perhitungan debit banjir rencana berdasarkan besarnya curah hujan rencana di atas pada periode ulang T tahun sebagai input simulasi aliran debris menggunakan program SIMLAR V 2.0

2.3.1. Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai (DAS) (*catchment, basin, watershed*) adalah daerah yang dibatasi oleh punggung-punggung gunung/pegunungan di mana air hujan yang jatuh di daerah tersebut akan mengalir menuju sungai utama pada suatu titik/stasiun yang ditinjau. Daerah ini umumnya dibatasi oleh batas topografi, yang berarti ditetapkan berdasar aliran air permukaan. Batas ini tidak ditetapkan berdasar air bawah tanah karena permukaan air tanah selalu berubah sesuai dengan musim dan tingkat kegiatan

2.3.2. Curah Hujan Wilayah

Menurut Triatmodjo (2008) stasiun penakar hujan hanya memberikan kedalaman hujan di titik di mana stasiun tersebut berada, sehingga hujan pada suatu luasan harus diperkirakan dari titik pengamatan tersebut. Apabila pada suatu daerah terdapat lebih dari satu stasiun pengukuran yang ditempatkan secara terpencar, hujan yang tercatat dimasing-masing stasiun dapat tidak sama. Dalam analisis hidrologi sering diperlukan untuk menentukan hujan rerata pada daerah tersebut, yang dapat dilakukan dengan tiga metode berikut yaitu metode rerata aritmatika (Aljabar), metode poligon thiessen, metode isohiet. Dalam penelitian ini digunakan metode poligon thiessen untuk

mencari curah hujan wilayah. Daerah pengaruh dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua stasiun terdekat. Jika dirumuskan dalam suatu persamaan adalah sebagai berikut :

$$\bar{R} = \frac{R_1A_1 + R_2A_2 + \dots + R_nA_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (1)$$

dengan :

- \bar{R} = curah hujan rata – rata (mm)
- R_1, \dots, R_n = besarnya curah hujan pada masing - masing stasiun
- A_1, \dots, A_n = luas daerah yang mewakili masing – masing stasiun
- n = banyaknya stasiun hujan

2.3.3. Frekuensi Hujan Rancangan

Dalam analisis frekuensi curah hujan data hidrologi dikumpulkan, dihitung, disajikan dan ditafsirkan dengan menggunakan prosedur tertentu, yaitu metode statistik. Pada kenyataannya bahwa tidak semua varian dari suatu variabel hidrologi terletak atau sama dengan nilai rata-ratanya. Variasi atau dispersi adalah besarnya derajat atau besaran varian di sekitar nilai rata-ratanya. Cara mengukur besarnya dispersi disebut pengukuran dispersi (Soewarno, 1995). Adapun rumus yang digunakan untuk pengukuran dispersi antara lain.

1. Harga Rata-Rata (\bar{X}) (2)

$$\bar{X} = \frac{\sum_i^n X_i}{n}$$

Dengan:

\bar{X} = Curah Hujan Rata-Rata (mm)

X_i = Curah Hujan di Stasiun Hujan Ke I (mm)

n = Jumlah Data

2. Standar Deviasi (S_x)

Umumnya ukuran dispersi 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

Rumusnya adalah.

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

Dengan:

S_x = Standar Deviasi

\bar{X} = Curah Hujan Rata-Rata (mm)

X_i = Curah Hujan di Stasiun Hujan ke I (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*). Rumusnya adalah:

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

Dengan:

C_s = Koefisien Skewness

\bar{X} = Curah Hujan Rata-Rata (mm)

X_i = Curah Hujan di Stasiun Hujan ke I (mm)

n = Jumlah Data

S_x = Standar Deviasi

4. Koefisien Kurtosis (C_k)
Pengukuran kurtosis dimaksudkan untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi, yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal. Rumusnya adalah:

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S_x^4} \quad (5)$$

Dengan:

C_k = Koefisien Kurtosis

\bar{X} = Curah Hujan Rata-Rata (mm)

X_i = Curah Hujan di Stasiun Hujan ke I (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. Rumusnya adalah:

$$C_v = \frac{S_x}{\bar{X}} \quad (6)$$

Dengan:

C_v = Koefisien Variasi

\bar{X} = Curah Hujan Rata-Rata (mm)

S_x = Standar Deviasi

6. Jenis Distribusi yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan perhitungan adalah Distribusi Log Pearson III.

Digunakan apabila parameter statistik C_s dan C_k mempunyai nilai selain dari parameter statistik untuk distribusi yang lain (normal, log normal, dan gumbels).

$$X_t = (\bar{X}_y + K_T \times S_y) \quad (7)$$

Dengan:

X_t = nilai logaritmik besarnya curah hujan dengan periode t (mm)

\bar{X}_y = Nilai rerata dari fungsi $y = \ln X$ (mm)

S_y = Standar deviasi dari fungsi $y = \ln X$

K_T = Faktor frekuensi, yang merupakan fungsi dari probabilitas dan nilai C_s

2.3.4. Prosedur Perhitungan Uji Chi Kuadrat

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. Hitung nilai $E_f = \left[\frac{\sum n}{\sum k} \right]$
5. Hitung banyaknya O_f untuk masing-masing kelas.
6. Hitung nilai $X_2 C_r$ untuk setiap kelas kemudian hitung total $X_2 C_r$ dari tabel untuk derajat nyata tertentu yang sering diambil sebesar 5% dengan parameter derajat kebebasan.

Rumus derajat kebebasan adalah:

$$DK = K - (R + 1) \quad (8)$$

Dengan:

DK = Derajat Kebebasan

K = Banyaknya Kelas

R = banyaknya keterikatan untuk uji Chi-Kuadrat adalah 2

2.3.5. Metode Perhitungan Debit Banjir

Di daerah dimana data hidrologi tidak tersedia untuk menurunkan hidrograf satuan, maka dibuat hidrograf satuan sintetis yang didasarkan pada karakteristik fisik dari DAS. Dalam perhitungan ini digunakan hidrograf satuan sintetis Nakayasu untuk menentukan debit banjir kala ulang T tahun, berikut persamaannya.

$$Q_p = \frac{1}{6} + \left(\frac{ARe}{0,3T_p + T_{0,3}} \right) \quad (9)$$

$$T_p = T_g + 0,8 T_r \quad (10)$$

$$t_g = 0,4 + 0,058 L \text{ untuk } L > 15 \text{ km} \quad (11)$$

$$T_g = 0,21 L^{0,7} \text{ untuk } L < 15 \text{ km} \quad (12)$$

$$T_{0,3} = \alpha t_g \quad (13)$$

Dengan :

Q_p : debit puncak banjir

A : luas DAS (km^2)

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)

2.4 Bangunan Sabo Dam

Menurut Eka (2011) SABO adalah istilah yang berasal dari Jepang yang terdiri dari kata SA yang berarti pasir (sand) dan BO yang berarti penanggulangan (prevention). Jadi kata SABO mempunyai arti:

Penanggulangan bencana yang diakibatkan pergerakan tanah atau sedimen yang dibawa oleh aliran air. Di Indonesia sabo telah diterapkan pada berbagai keperluan, seperti:

1. Pengendalian lahar akibat letusan gunung api;
2. Pengendalian erosi di hutan dan daerah-daerah pertanian;

3. Pencegahan terhadap longsor atau tanah runtuh;
4. Pencegahan erosi yang terjadi di pantai atau abrasi yang disebabkan oleh gelombang dan atau arus laut.

2.5 Digital Elevation Model (DEM)

Digital elevasi model adalah salah satu model untuk menggambarkan bentuk topografi permukaan bumi sehingga dapat divisualisasikan ke dalam tampilan 3D. Untuk mendapatkan data DEM ada beberapa metode yang dilakukan, beberapa contohnya seperti IFSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*), SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), TERRASAR-X dan LIDAR (*Light Detection And Ranging*). Pada penelitian ini metode DEM yang digunakan dalam program SIMLAR V.2.0 adalah DEMNAS. Data topografi berasal dari DEMNAS yang telah diolah menjadi ASCII. Kemudian peta DEM tersebut direkayasa dengan 2 kondisi yaitu kondisi menggunakan sabo dan kondisi tidak menggunakan sabo sebagai pembanding dalam analisis hasil.

2.6 Permodelan Banjir Lahar dengan SIMLAR V 2.0]

SIMLAR (Simulasi Lahar) adalah aplikasi simulasi banjir debris / banjir lahar yang merupakan integrasi 3 (tiga) sub program yaitu sub program penghitungan hidrograf banjir, sub program perhitungan hidrograf akibat keruntuhan bendung alam dan sub program simulasi 2D banjir debris. Sub program pertama menghasilkan hidrograf banjir akibat curah hujan efektif di daerah aliran sungai, sub program kedua menghasilkan hidrograf banjir debris akibat keruntuhan bendung alam dan sub program ketiga menghasilkan animasi banjir debris dan perkiraan daerah yang terancam. Simulasi aliran debris tersebut didasarkan pada persamaan diferensial parsial yang mengatur aliran debris sebagai berikut.

1. Persamaan konservasi massa

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (14)$$

2. Persamaan konservasi momentum dan gaya (arah x)

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \beta \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \beta \frac{\partial(vM)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_T} \quad (15)$$

3. Persamaan konservasi momentum dan gaya (arah y)

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \beta \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \beta \frac{\partial(vN)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho_T} \quad (16)$$

Dengan:

h = Tinggi Aliran

t = waktu (s)

M = debit aliran *debris* per unit lebar arah x (m²/d)

N = debit aliran *debris* per unit lebar arah y (m²/d)

β = koreksi momentum

H = kedalaman aliran (m)

g = gaya gravitasi

τ_{bx} = komponen tegangan geser dasar sungai arah x

τ_{by} = komponen tegangan geser dasar sungai arah y

ρ_T = rapat massa aliran

u = kecepatan rata-rata arah x

v = kecepatan rata-rata arah y

4. Persamaan kekekalan massa pada dasar sungai

$$c_* \frac{\partial z_b}{\partial t} + \left(\frac{\partial q_{Bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{By}}{\partial y} \right) = 0 \quad (17)$$

Dengan:

c_* = konsentrasi sedimen dasar sungai

q_{Bx} = debit sedimen ke arah x

q_{By} = debit sedimen ke arah y

$q_{Bx} + q_{By}$ = merupakan jumlah sedimen dasar (*bedload*)

5. Erosi tebing dipertimbangkan dengan persamaan Ashida, Egashira dan Kamamoto berikut ini:

$$q_p = q_{p*} u_* d \quad (18)$$

$$q_{p*} = F_{0*} \tau_*^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^2} \frac{\tau_{*sc}}{\tau_*} \right)^3 \left(\frac{h}{d} \frac{1}{\sin \theta} \right) \quad (19)$$

$$u_* = \sqrt{ghI} \quad (20)$$

$$\tau_* = \frac{u_*^2}{gd \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right)} \quad (21)$$

$$\tau_{*sc} = \tau_{*c} \cos \theta_1 \sqrt{1 - \left(\frac{\tan \theta}{\mu} \right)^2} a \quad (22)$$

Dengan:

q_p = erosi tebing per unit lebar (m²/d)

q_{p*} = erosi tebing per unit lebar (tak berdimensi)

u_* = kecepatan geser dasar (m/d)

I = kemiringan garis energy aliran

θ = kemiringan tebing

F_{0*} = koefisien = 0.01

d = diameter sedimen

6. Beberapa rumusan debit yang digunakan dalam program simulasi 2D yaitu

a. Meyer-Peter & Muller

$$q_{*b} = 8(\tau_* - \tau_{*c})^{1.5}$$

b. Ashida, Takahashi & Mizuyama

$$q_{*b} = 12\tau_*^{1.5} \left(1 - 0.85 \left(\frac{\tau_{*c}}{\tau_*} \right)^1 \right) \left(1 - 0.92 \left(\frac{\tau_{*c}}{\tau_*} \right)^{0.5} \right) \quad (23)$$

c. Brown

$$q_{*b} = 10(\tau_* - \tau_{*c})^{2.5} \quad (24)$$

Dengan:

q_{*b} = volume debit per satuan lebar (m³/det)

τ_{*c} = nilai rata-rata tegangan gesek kritis

τ_* = *shields' number*

3. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penyusunan tugas akhir ini menggunakan metode studi kasus dimana pada penelitian ini peneliti ingin mengeksplorasi secara mendalam dari objek studi terkait.

3.2 Data Penelitian

1. Data Hujan

Data hujan digunakan untuk menghitung hidrograf banjir yang terjadi pada Sungai Putih.

2. Data Tanah

Data tanah diperlukan sebagai input dalam perangkat lunak SIMLAR V.2.0. Beberapa parameter sedimen yang diperlukan yaitu massa jenis, nilai kohesi sedimen, distribusi ukuran butir, sudut geser dalam, dan kadar air.

3. Data Sabo Eksisting

Data spesifikasi bangunan sabo digunakan sebagai acuan untuk

memodelkan bangunan sabo pada topografi DEM sehingga dapat dimodelkan mendekati kondisi asli.

4. Data Topografi

Ada tiga jenis peta yang digunakan dalam penelitian ini, pertama peta DEM yang digunakan untuk simulasi pada aplikasi SIMLAR V 2.0. Kedua peta RBI untuk mencari luas DAS, menentukan luas pengaruh stasiun hujan dan menentukan panjang sungai. Ketiga ada peta Kawasan Rawan Bencana Gunung Merapi dan Area Terdampak Letusan 2010 yang dibandingkan dengan hasil simulasi untuk mendapatkan lokasi rawan bencana.

3.3 Lokasi Penelitian

Lokasi yang ditinjau sebagai objek studi kasus dalam penelitian ini adalah PU-C8A (Ngaglik) – PU-C8 (Ngaglik) – PU-CSeloring – PU-C2 (Gempol) – PU-C0 (Sukowati) yang berada di Kali Putih, Kecamatan Srumbung – Kecamatan Salam, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah

3.4 Tahap Penelitian

Adapun prosedur dalam penelitian untuk mencari efektivitas Sabo adalah sebagai berikut.

1. Analisis data sedimen, untuk simulasi aliran debris pada model sungai

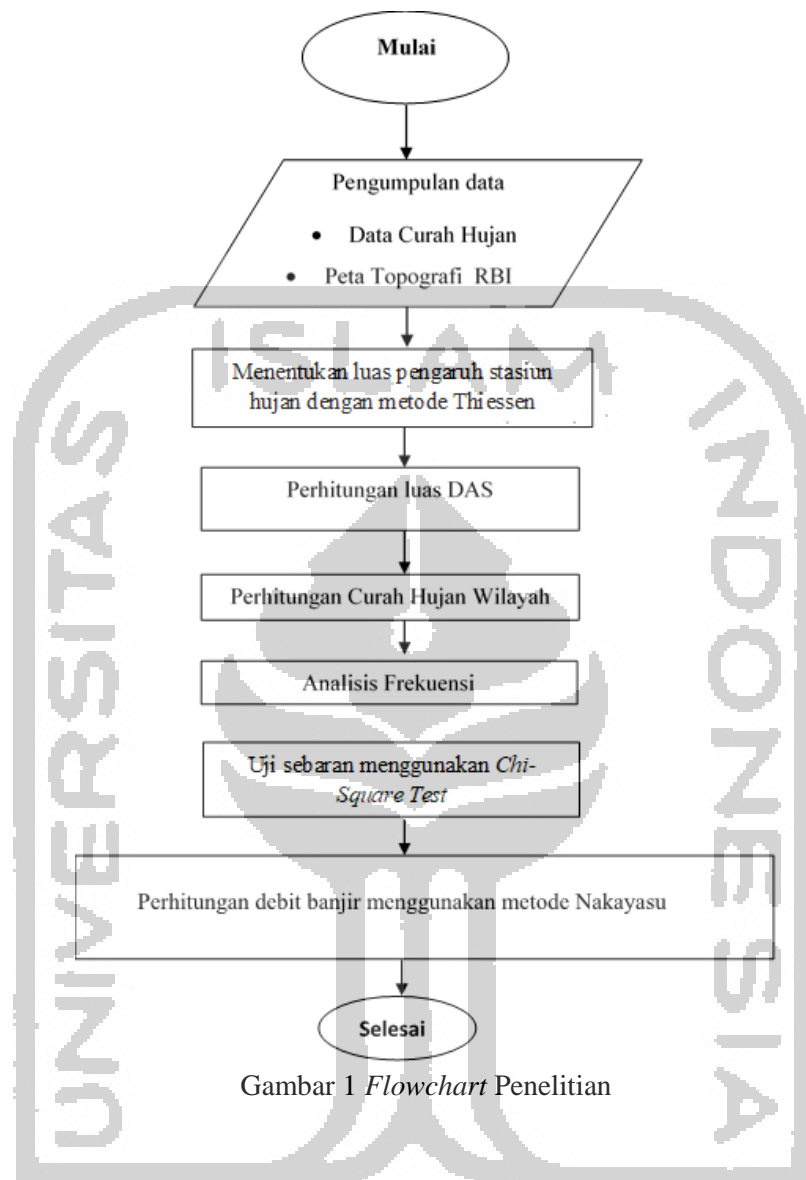
3.5 Bagan Alir (*Flowchart*)

digunakan asumsi material dasar dengan mengambil ukuran butir sebagai berikut:

2. Analisis Data Hidrologi

Data Hidrologi yang diperoleh selanjutnya akan dianalisis untuk mencari debit banjir yang terjadi pada DAS Kali Putih sebagai input pada program SIMLAR V 2.0. Langkah – langkah dalam analisis hidrologi tersebut yaitu:

- a. Menentukan DAS dan mencari luasannya.
 - b. Menentukan luas pengaruh stasiun terhadap DAS Kali Putih menggunakan metode poligon Thiessen.
 - c. Perhitungan curah hujan wilayah.
 - d. Perhitungan curah hujan maksimum.
 - e. Uji sebaran menggunakan *Chi-Square Test*
 - f. Perhitungan debit banjir. Debit banjir yang digunakan adalah kala ulang 100 Tahun.
3. Melakukan permodelan pada topografi DEM menggunakan program ArcGIS 10.3 dengan 2 kondisi yaitu kondisi dengan sabo dan tanpa sabo sehingga dapat dimodelkan mendekati kondisi asli
 4. Simulasi Program SIMLAR V.2



Gambar 1 *Flowchart* Penelitian

4. ANALISIS EFEKTIVITAS SABO

4.1. Topografi Titik – Titik Sabo Dam

Secara garis besar situasi topografi Gunung Merapi terletak \pm 30 km sebelah utara Yogyakarta dengan elevasi puncak 2965 m di atas permukaan laut. Bagian puncak mempunyai kemiringan yang sangat terjal membentuk lembah-lembah yang curam serta alur-alur sungai yang dalam (sumber: BPPTKG Yogyakarta, 2016)

Secara umum berdasarkan ketinggian morfologis daerah lereng barat dan barat daya Gunung Merapi dapat dibedakan menjadi tiga daerah, yaitu daerah hulu atas, daerah hulu tengah, dan daerah

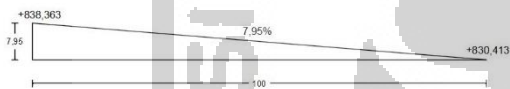
hulu bawah. Lokasi titik - titik sabo dam berada di daerah hulu bawah. Daerah hulu bawah meliputi bagian daerah di bawah ketinggian 500 m di atas permukaan laut dengan kemiringan lereng antara $1^{\circ} - 4^{\circ}$, dimana merupakan daerah dataran rendah dengan persawahan yang luas dan perkampungan yang padat penduduk. Daerah ini banyak memiliki endapan material akibat perubahan-perubahan alur banjir lahar dingin.

4.2 Geometri Sungai

Data geometri didapat berdasarkan survei lapangan yang dilakukan oleh PPK

Pengendalian Lahar Gunung Merapi pada titik – titik Sabo penelitian. Berikut adalah letak koordinat titik – titik Sabo penelitian 7°35'42.46" LS 110°19'46.30" BT (PU – C8A), 7°36'8.23" LS 110°19'0.38" BT (PU – C8), 7°36'9.43" LS 110°18'51.87" BT (PU – CSeloirng), 7°36'14.60" LS 110°17'58.58" BT (PU – C2) dan 7°36'34.52" LS 110°16'49.14" BT (PU – C0) .

Dari data geometri sungai diketahui kemiringan dasar sungai rata-rata adalah 7,95%. Lokasi – lokasi bangunan Sabo terletak pada potongan melintang yang memiliki kemiringan dasar sungai 7,95 %. Hasil pengukuran geometri sungai putih disajikan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2 Penampang Memanjang Sungai

4.3 Mekanika Tanah

Data mekanika tanah yang digunakan adalah berdasarkan hasil pengambilan tanah pada hulu Sungai Putih oleh Balai Litbang Sabo pada tahun 2014. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada sedimen piroklastik baru dan sedimen halus. Secara umum lapisan tanah terdiri dari lapisan pasir. Parameter yang didapat dari hasil penyelidikan tanah adalah sebagai berikut:

1. Berat volume sedimen piroklastik = 2,587 (g/cm³)
2. Sudut geser dalam = 37°
3. Kohesi = 0,08 (kg/cm³)

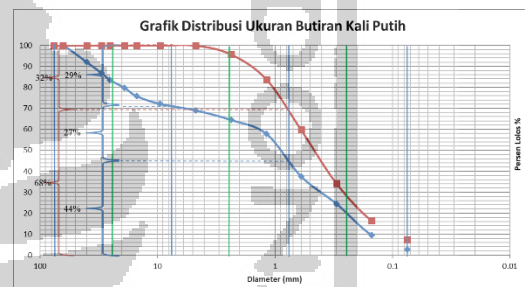
Tabel 1 Analisa Ukuran Butiran

Diameter	Berat Saringan	Berat Tanah Tertahan	Berat Tanah Tertahan Kumulatif	Tertahan	Lolos
mm	gram	gram	gram	%	%
1	2	3	4	5	6
76,20	-	-	-	-	100,00
63,50	-	-	-	-	100,00
40,00	434,00	1641,00	1641,00	7,97	92,03
30,00	414,00	1064,00	2705,00	13,13	86,87
25,40	561,00	685,00	3390,00	16,46	83,54
19,10	561,00	773,00	4163,00	20,21	79,79
15,00	561,00	826,00	4989,00	24,21	75,78

Lanjutan Tabel 1 Analisa Ukuran Butiran

9,52	574,00	749,00	5738,00	27,85	72,15
4,75	428,00	635,00	6373,00	30,94	69,06
2,36	581,00	950,00	7323,00	35,55	64,45
1,18	574,00	1373,00	8696,00	42,21	57,79
0,60	426,00	4163,00	12859,00	62,42	37,58
0,30	428,00	2690,00	15549,00	75,48	24,52
0,15	434,00	3085,00	18634,00	90,46	9,54
0,075	574,00	1403,00	20037,00	97,27	2,73
0	574,00	561,00	20958,00	99,99	0,01

Dari analisa ukuran butiran yang ditunjukkan Tabel 2 diatas selanjutnya dapat ditentukan ukuran diameter partikel median seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 berikut ini :



Gambar 3 Grafik Distribusi Butiran Material Dasar Sungai Putih dan Sedimen Melayang

Pada penelitian ini data endapan lahar yang diinput untuk simulasi lahar dingin menggunakan data dari analisa ukuran butiran sedimen yang ditunjukkan oleh Gambar 3 dengan cara membagi 3 nilai tengah diameter butiran. Berikut data input endapan lahar yang ditunjukkan Tabel 2 dibawah.

Tabel 2 Gradasi Ukuran Butiran Sungai Putih

Nilai Tengah Diameter Butiran (mm)	Komposisi %	
	Material Sedimen Melayang	Material Dasar Sungai
0,24	68	44
2,4	32	27
24	0	29

4.4 Hidrologi

Dalam analisis efektivitas sabo digunakan data curah hujan untuk menentukan besarnya debit air yang melewati alur Kali

Putih. Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan jam jaman selama 17 tahun dengan tahun data 1999-2015 dari stasiun hujan Babadan, stasiun hujan Ngepos, stasiun hujan Talun dan stasiun hujan Salam. Peta letak Stasiun curah hujan Kali Putih dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4 Peta Stasiun Hujan

Analisis hidrologi digunakan untuk memperkirakan debit banjir yang terjadi pada simulasi aliran debris yang menggunakan aplikasi SIMLAR V 2.0. Langkah-langkah dalam analisis hidrologi adalah sebagai berikut.

1. Menentukan daerah aliran sungai (DAS) beserta luasnya.
2. Menentukan luas pengaruh dari stasiun-stasiun penakar hujan yang mewakili DAS Kali Putih.
3. Menentukan curah hujan maksimum pada setiap tahunnya dari data curah hujan yang ada.
4. Menganalisa curah hujan rencana dengan periode ulang T tahun.
5. Menghitung debit banjir rencana berdasarkan besarnya curah hujan rencana pada periode ulang T tahun.

4.4.1 Penentuan Daerah Aliran Sungai (Catchment Area)

Dalam menentukan batas DAS, pada peta topografi ditarik garis imajiner yang menghubungkan titik-titik yang memiliki elevasi kontur tertinggi di sebelah kiri dan kanan sungai yang ditinjau. Batas daerah aliran sungai tersebut berupa punggung-

punggung bukit. Dari peta topografi dengan skala 1:25000 yang diolah dengan aplikasi ArcGis didapat luas DAS Kali Putih sebesar 22,4189 km² dan panjang sungai 20,316189 km.

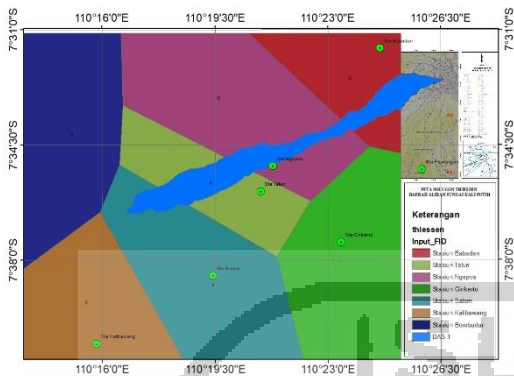
4.4.2 Menghitung Curah Hujan Wilayah

Dalam perhitungan curah hujan wilayah, digunakan Metode Thiessen karena kondisi dan jumlah stasiun memenuhi syarat untuk digunakan metode ini. Daerah aliran sungai (DAS) Kali Putih terbagi dalam luasan poligon Thiessen yang diperoleh dengan cara menghubungkan empat buah stasiun pengamatan yaitu Stasiun Babadan, Stasiun Ngepos, Stasiun Talun, Stasiun Salam dengan garis – garis tegak lurus terhadap garis penghubung sehingga membentuk luasan yang mewakili dari masing-masing stasiun curah hujan tersebut. Masing – masing luasan stasiun dihitung dengan menggunakan program ArcGIS 10.3 yang dapat dilihat pada tabel 3 berikut ini:

Tabel 3 Luas Pengaruh Stasiun Terhadap DAS Kali Putih

No.	Nama Stasiun	Luas (Km ²)	Bobot (%)
1	Babadan	6,3511	28,33
2	Ngepos	6,1184	27,29
3	Talun	7,0288	31,35
4	Salam	2,9203	13,03
Luas Total DAS		22,4189	100

Sketsa daerah aliran sungai Kali Putih dan poligon Thiessen dari Stasiun Babadan, Stasiun Ngepos, Stasiun Talun, Stasiun Salam dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Sketsa DAS Kali Putih cara Poligon Thiessen

Curah hujan maksimum dihitung berdasarkan rekapitulasi data curah hujan harian setiap tahun di masing-masing Stasiun penakar hujan. Hasil perhitungan curah hujan daerah rata-rata dengan menggunakan Metode Thiessen ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Perhitungan Curah Hujan Maksimum Jam - Jaman

Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum				RH maks rencana
	Babadan	Ngepos	Talun	Salam	
	28%	27%	31%	13%	
1999	52,5	65	94	58	69,6392061
2000	58	47,4	56	64	55,26161883
2001	79	77	65	62	71,85032372
2002	55	78	71,5	32,4	63,5062776
2003	54	57	69	63	60,69400504
2004	80	74	58,5	68	70,05853901
2005	67	59	44,6	56	56,36079733
2006	60	90	83	55	74,74725603
2007	129	60	36,2	38,8	69,32379334
2008	75	66	42	51	59,07107984
2009	64	122	46	69	74,83702707
2010	48,5	73	67,5	94	67,07045251
2011	86	120	141	108	115,3888606
2012	65	83	87	90,5	80,131788
2013	83	49,5	55,5	69	63,41165414
2014	66,5	98	133	108	101,3522596
2015	60,5	105	73	95	81,05796436

4.4.3 Analisis Frekuensi Curah Hujan

Berdasarkan curah hujan tahunan daerah, perlu ditentukan kemungkinan terulangnya curah hujan jam-jaman maksimum tersebut untuk menentukan debit banjir rencana.

Tidak semua variat dari variabel hidrologi sama dengan nilai reratanya, tetapi ada yang lebih besar atau lebih kecil. Besarnya derajat sebaran variat di sekitar nilai reratanya disebut variansi (variance) atau penyebaran (disperse). Penyebaran data dapat diukur dengan deviasi standard dan varian.

1. Pengukuran Dispersi

Untuk memudahkan perhitungan disperse maka dilakukan perhitungan parameter statistik untuk nilai $(X_i - X)$, $(X_i - X)^2$, $(X_i - X)^3$ dan $(X_i - X)^4$ terlebih dahulu, dengan:
 X_i = besarnya curah hujan daerah (mm)
 X = rata-rata curah hujan daerah (mm)
 Hasil perhitungan parameter statistik dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini:

Tabel 5 Hasil Perhitungan Parameter Statistik

No	Tahun	Curah Hujan (mm)	$(X_i - X)$	$(X_i - X)^2$	$(X_i - X)^3$	$(X_i - X)^4$
1	1999	69,6392061	-2,9351	8,6147	-25,2849	74,2132
2	2000	55,26161883	-17,3127	299,7285	-5189,1010	89837,1907
3	2001	71,85032372	-0,7240	0,5241	-0,3794	0,2747
4	2002	63,5062776	-9,0680	82,2288	-745,6518	6761,5789
5	2003	60,69400504	-11,8803	141,1411	-1676,7967	19920,8194
6	2004	70,05853901	-2,5157	6,3290	-15,9222	40,0562
7	2005	56,36079733	-16,2135	262,8773	-4262,1587	69104,4714
8	2006	74,74725603	2,1730	4,7218	10,2603	22,2953
9	2007	69,32379334	-3,2505	10,5657	-34,3438	111,6344
10	2008	59,07107984	-13,5032	182,3366	-2462,1297	33246,6510
11	2009	74,83702707	2,2627	5,1200	11,5852	26,2143
12	2010	67,07045251	-5,5038	30,2922	-166,7234	917,6180
13	2011	115,3888606	42,8146	1833,0876	78482,8608	3360210,1081
14	2012	80,131788	7,5575	57,1158	431,6526	3262,2146
15	2013	63,41165414	-9,1626	83,9539	-769,2386	7048,2518
16	2014	101,3522596	28,7780	828,1716	23833,0992	685868,2437
17	2015	81,05796436	8,4837	71,9728	610,5936	5180,0778
Jumlah		1233,7629	-0,0000	3908,7816	88032,3217	4281631,9134
Rata-Rata(X)=		72,5743				

a. Menghitung Standar Deviasi (S_x)

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

$$S_x = \sqrt{\frac{3908,782}{17 - 1}}$$

$$S_x = 15,6301$$

b. Menghitung Koefisien Skewness (C_s)

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

$$C_s = \frac{17(88032,32)}{(17-1)(17-2) 15,6301^3}$$

$$C_s = 1,63304$$

c. Menghitung Koefisien Kurtosis (C_k)

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

$$C_k = \frac{17^2(4281632)}{(17-1)(17-2)(17-3) 15,6301^4}$$

$$C_k = 6,17057$$

d. Menghitung Koefisien Variasi (C_v)

$$C_v = \frac{S_x}{\bar{X}}$$

$$C_v = \frac{15,6301}{72,5742}$$

$$C_v = 0,21537$$

2. Pemilihan Jenis Sebaran

Tabel 6 Distribusi Statistik

Uji distribusi Statistik	Syarat	Hitungan Syarat	Perhitungan	Keterangan
Normal	$C_s = 0$	0	1,633	Tidak Memenuhi
	$C_k = 3$	3	6,171	Tidak Memenuhi
Log Normal	$C_s = 3C_v + C_v^3$	0,656	1,633	Tidak Memenuhi
	$C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$	3,696	6,171	Tidak Memenuhi
Gumbels	$C_s = 1,14$	1,14	1,633	Tidak Memenuhi
	$C_k = 5,4$	5,4	6,171	Tidak Memenuhi
Log Pearson III	Digunakan apabila parameter statistik C_s dan C_k mempunyai nilai selain parameter statistik yang lain			Memenuhi

Berdasarkan kriteria-kriteria di atas, dipilih jenis distribusi Log Pearson III.

3. Pengujian Kecocokan Sebaran

Pengujian kecocokan sebaran digunakan untuk menguji apakah sebaran dari data yang ada memenuhi syarat untuk digunakan sebagai data perencanaan. Pengujian kecocokan sebaran menggunakan metode Uji Chi-Kuadrat, berikut adalah hasil perhitungannya.

Tabel 7 Perhitungan Uji Chi-Kuadrat

No	Interval	Ef	Of	(Ef - Of)	((Ef - Of)^2)/Ef
1	49,25 <X< 61,27	2,83	4	-1,17	0,48
2	61,27 <X< 67,28	2,83	3	-0,17	0,01
1	67,28 <X< 73,30	2,83	4	-1,17	0,48
4	73,30 <X< 79,31	2,83	2	0,83	0,24
5	79,31 <X< 85,32	2,84	2	0,84	0,25
6	X> 85,32	2,84	2	0,84	0,25
Jumlah			17		1,7

Dari Tabel 5.4 diperoleh nilai Chi-Kuadrat (X^2) = 1.7 untuk DK = 3, dengan nilai Chi-Kuadrat didapat derajat kebebasan sebesar 4,642 (46,42%), karena derajat kebebasan lebih dari 5% maka distribusi Log Pearson III dapat diterima.

4. Menghitung Curah Hujan Dengan Periode Ulang T Tahun
Menghitung curah hujan dengan periode ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, 100 tahun, dan 200 tahun. Dengan menggunakan persamaan Log Pearson III adalah sebagai berikut:

$$X_t = (\bar{X} + K_T \cdot S_y)$$

a. Mencari Nilai Rerata \bar{X}

Perhitungan Nilai Rerata \bar{X} dapat dilihat pada tabel 5.8 berikut ini:

Tabel 8 Perhitungan Nilai Rerata \bar{X}

No	Tahun	x	ln x	x - ln x	(x - ln x)^2	(x - ln x)^3	(x - ln x)^4
1	1999	69,63921	4,2433	0,0223	0,0005	0,0000	0,0000
2	2000	55,26162	4,0121	0,2536	0,0643	0,0163	0,0041
3	2001	71,85032	4,2746	-0,0089	0,0001	0,0000	0,0000
4	2002	63,50628	4,1511	0,1145	0,0131	0,0015	0,0002
5	2003	60,69401	4,1058	0,1598	0,0255	0,0041	0,0007
6	2004	70,05854	4,2493	0,0163	0,0003	0,0000	0,0000
7	2005	56,3608	4,0318	0,2339	0,0547	0,0128	0,0030
8	2006	74,74726	4,3141	-0,0485	0,0023	-0,0001	0,0000
9	2007	69,32379	4,2388	0,0269	0,0007	0,0000	0,0000
10	2008	59,07108	4,0787	0,1869	0,0349	0,0065	0,0012
11	2009	74,83703	4,3153	-0,0497	0,0025	-0,0001	0,0000
12	2010	67,07045	4,2057	0,0599	0,0036	0,0002	0,0000
13	2011	115,3889	4,7483	-0,4827	0,2330	-0,1124	0,0543
14	2012	80,13179	4,3837	-0,1180	0,0139	-0,0016	0,0002
15	2013	63,41165	4,1496	0,1160	0,0135	0,0016	0,0002
16	2014	101,3523	4,6186	-0,3529	0,1246	-0,0440	0,0155
17	2015	81,05796	4,3952	-0,1295	0,0168	-0,0022	0,0003
Jumlah		72,5162		0,0000	0,6042	-0,1174	0,0796

$$\bar{X} = \frac{\sum \ln X}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{72,5161}{17}$$

$$\bar{X} = 4,2657 \text{ mm}$$

- b. Mencari Standar Deviasi (S_y)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln x - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{0,6042^2}{17 - 1}}$$

$$S = 0,1943$$

- c. Menghitung Koefisien *Skewness* (C_s)

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (\ln x - \bar{X})^3}{(n - 1)(n - 2)S_x^3}$$

$$C_s = \frac{17(-0,11743)}{(17 - 1)(17 - 2)0,1943^3}$$

$$C_s = -1,13337$$

- d. Menghitung Faktor Frekuensi (K_T)
Faktor frekuensi merupakan fungsi dari probabilitas dan nilai C_s yang disajikan pada Tabel 3.2. Nilai $C_s = -1,13337$ dan periode ulang 100 tahun, maka dapat dihitung nilai K dengan cara interpolasi linier

$$K_{100 \text{ tahun}} = 1,518 + \frac{-1,13337 - (-1,1)}{0,01} (1,449 - 1,518)$$

$$K_{100 \text{ tahun}} = 1,7482$$

- e. Mencari nilai logaritmik besarnya curah hujan dengan periode t (X_t)
Untuk $T = 100$ tahun adalah sebagai berikut:

$$X_t = (\bar{X} + K_T \cdot S_y)$$

$$X_{100} = (4,2657 + 1,7482 \times 0,1943)$$

$$X_{100} = 4,6054$$

- f. Menghitung Besarnya Curah Hujan Rancangan Pada Periode T Tahun
Menghitung hujan rancangan periode T tahun menggunakan anti logaritma seperti yang tersaji pada perhitungan dibawah ini:

Untuk $T = 50$ tahun adalah sebagai berikut:

$$R_t = \text{arc ln } X_t$$

$$R_{100 \text{ tahun}} = \text{arc ln } 4,6054$$

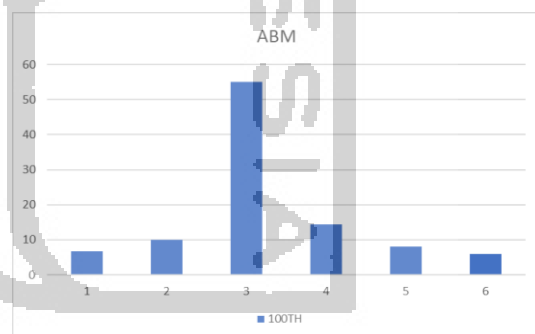
$$R_{100 \text{ tahun}} = 100,0233 \text{ mm}$$

4.4.4 Perhitungan Hujan Rencana

Dalam perhitungan banjir rancangan, diperlukan masukan berupa hujan rancangan yang didistribusikan ke dalam hujan jam-jaman. Untuk dapat mengubah hujan rancangan ke dalam besaran hujan jam-jaman perlu didapatkan terlebih dahulu suatu pola distribusinya. Model distribusi hujan yang digunakan untuk mengalihragamkan hujan harian ke hujan jam-jaman adalah Alternating Block Method (ABM). Berikut adalah hasil perhitungan menggunakan metode ABM.

Tabel 9 Hyetograf Hujan Rancangan pada Periode Ulang 100 tahun

T 100 Tahun		RT	100.0233		Hyetograph		
T (jam)	Δt (mm)	I (mm/jam)	P (mm)	Δ (mm)	Pt (%)	(%)	(mm)
1	1~2	34,6761	34,6761	34,6761	55,0321	6,7456	6,7471
2	2~3	21,8446	43,6892	9,0131	14,3040	10,0339	10,0363
3	3~4	16,6705	50,0116	6,3224	10,0339	55,0321	55,0449
4	4~5	13,7612	55,0449	5,0333	7,9880	14,3040	14,3073
5	5~6	11,8591	59,2954	4,2504	6,7456	7,9880	7,9899
6	6~7	10,5018	63,0107	3,7154	5,8964	5,8964	5,8978
Jumlah				63,0107	100	100	100,0233



Gambar 6 Hyetograf Hujan Rancangan pada Periode Ulang 100 tahun

4.4.5 Perhitungan Hidrograf Banjir

Hidrograf banjir adalah kurva yang menggambarkan hubungan antara parameter aliran dan waktu. Hidrograf yang digunakan dalam penelitian ini yang hidrograf satuan sintesis metode Nakayasu. Berikut adalah perhitungan hidrograf banjir dengan menggunakan metode Nakayasu:

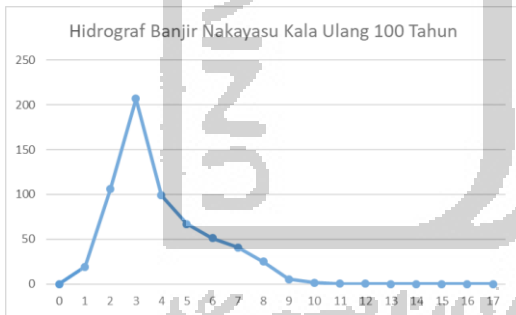
Panjang Sungai (L) : 20,316189 km

Luas DAS (A) : 22,41889 km²

Berikut adalah perhitungan hidrograf banjir.

Tabel 10 Perhitungan Debit Banjir Rencana Metode Nakayasu

Waktu (jam)	Hidrograf Satuan Nakayasu	R1 (mm)	R2 (mm)	R3 (mm)	R4 (mm)	R5 (mm)	R6 (mm)	Base Flow (m ³ /det)	Debit Banjir (m ³ /det)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]
0	0,0000	0,0000						0,0000	0,0000
1	0,3482	19,1668	0,0000					0,0000	19,1668
2	1,8378	101,1628	4,9818	0,0000				0,0000	106,1446
3	3,2166	177,0587	26,2943	3,4946	0,0000			0,0000	206,8477
4	0,5754	31,6737	46,0213	18,4449	2,7821	0,0000		0,0000	98,9219
5	0,1726	9,5021	8,2327	32,2829	14,6839	2,3494	0,0000	0,0000	67,0509
6	0,0518	2,8506	2,4698	5,7750	25,7003	12,4000	2,0536	0,0000	51,2494
7	0,0228	1,2541	0,7409	1,7325	4,5975	21,7030	10,8390	0,0000	40,8670
8	0,0015	0,0852	0,3260	0,5198	1,3792	3,8824	18,9709	0,0000	25,1635
9	0,0005	0,0256	0,0222	0,2287	0,4138	1,1647	3,3937	0,0000	5,2485
10	0,0001	0,0077	0,0066	0,0155	0,1820	0,3494	1,0181	0,0000	1,5794
11	0,0000	0,0023	0,0020	0,0047	0,0124	0,1537	0,3054	0,0000	0,4805
12	0,0000	0,0007	0,0006	0,0014	0,0037	0,0104	0,1344	0,0000	0,1512
13	0,0000	0,0004	0,0002	0,0004	0,0011	0,0031	0,0091	0,0000	0,0144
14	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0003	0,0009	0,0027	0,0000	0,0043
15	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0003	0,0008	0,0000	0,0013
16	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0002	0,0000	0,0004
17	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0000	0,0001



Gambar 5.8 Grafik Hidrograf Banjir Kala Ulang 100 Tahun

Selanjutnya debit banjir yang digunakan untuk simulasi menggunakan program SIMLAR V 2.0 adalah debit banjir total yang diakibatkan setiap hujan pada waktu step 11 jam.

4.5 Modifikasi DEM

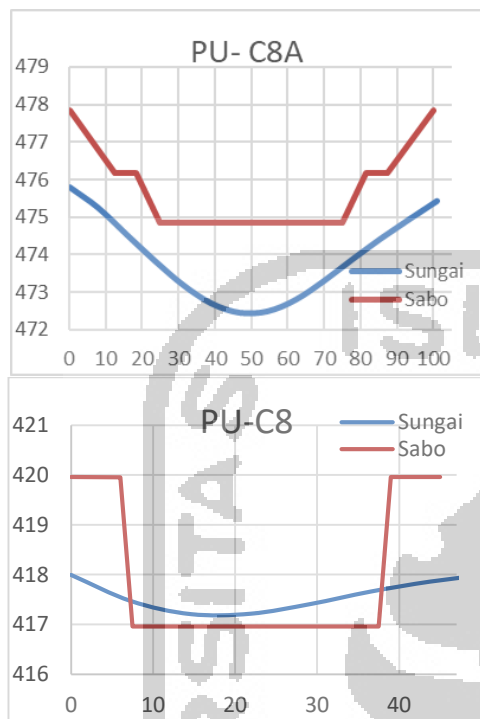
Dalam melakukan modifikasi DEM yang menggunakan aplikasi ArcGIS diberlakukan 2 kondisi permodelan, yaitu simulasi tanpa

bangunan sabo dan menggunakan bangunan sabo. Dimensi yang digunakan pada modifikasi DEM dengan kondisi menggunakan sabo disesuaikan dengan dimensi sabo asli.

Tabel 10 Permodelan Elevasi Sungai

Sabo		Kondisi Tanpa Sabo	Kondisi Sabo
PU - C8A	Sayap	475,8	477,861
	Peluap	472,4619	474,861
PU - C8	Sayap	417,8611	419,9596
	Peluap	417,2066	416,9596
Seloiring	Sayap	410,1901	413,5422
	Peluap	408,7381	401,5422
PU - C2	Sayap	354,8599	357,6013
	Peluap	354,7191	352,6013
PU - C0	Sayap	293,4	295,5495
	Peluap	293,2944	293,0195

Berikut adalah permodelan yang dilakukan di setiap titik Sabo pada topografi DEM menggunakan program ArcGIS 10.3.



Gambar 5.9 Permodelan Elevasi Dasar Sungai

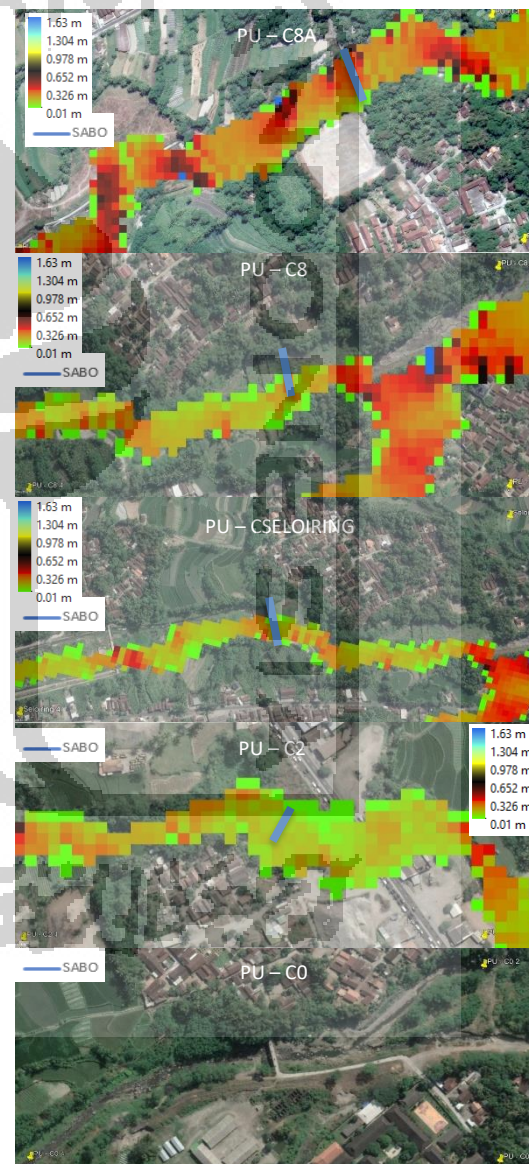
4.6 Hasil Simulasi Simlar 2.0

Seperti yang dapat dilihat pada Tabel 10 terdapat 2 kondisi yang ditinjau berdasarkan elevasi yang berbeda, simulasi dilakukan mulai dari jam ke 0 sampai jam ke 11. Pembahasan akan dilakukan dengan cara meninjau dan membandingkan setiap kondisi tiap 1 jam. Simulasi aliran debris dilakukan dengan menggunakan program SIMLAR V 2.0, kemudian hasil dari simulasi tersebut diolah dengan program ArcMap sehingga dapat menghasilkan berupa gambar sebaran aliran debris. Hasil lain dari simulasi berupa, nilai erosi yang terjadi pada tebing sungai pada kondisi tanpa sabu dan sedimen tertahan, kecepatan aliran debris dan volume aliran debris tiap jam.

4.6.1 Tanpa Bangunan Sabu

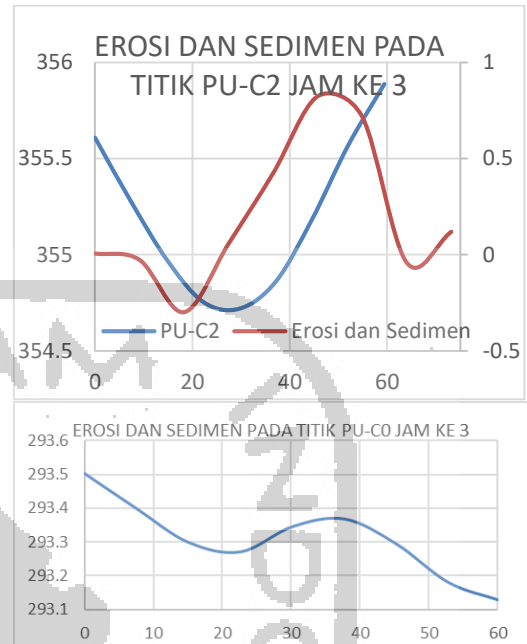
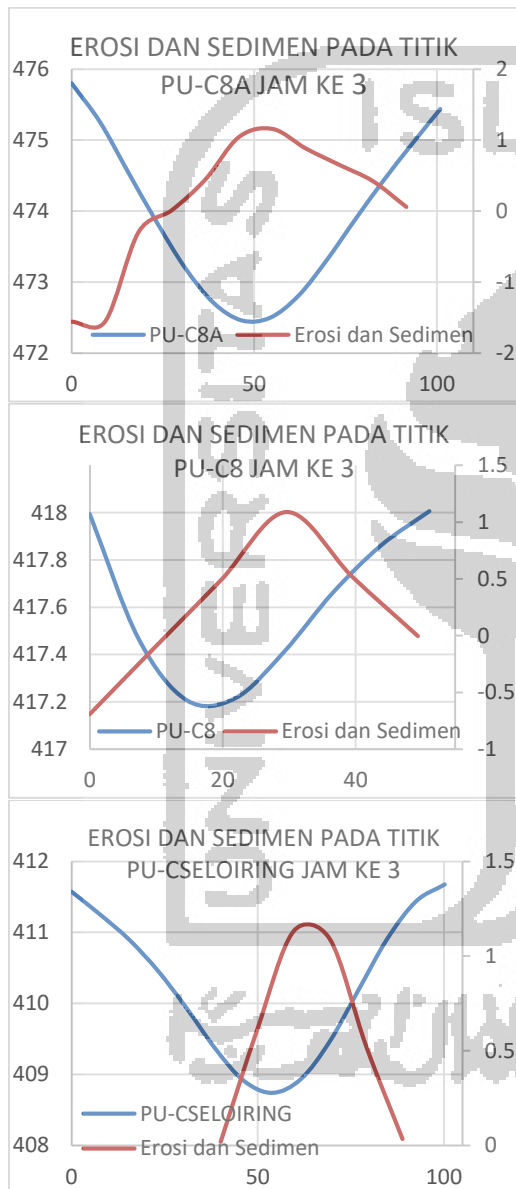
1. Hasil Simulasi lahar jam ke 3 dengan debit banjir $206,8477 \text{ m}^3/\text{det}$ Dari Gambar 10 Terlihat beberapa perbedaan yang terjadi seperti:

- a. Pada jam ke 3 aliran debris telah melewati titik Sabu Seloiring dan titik Sabu PU – C2.
- b. Pada titik Sabu PU – C2 aliran debris sedikit melimpas kearah Dusun Gempol, Kab Magelang.
- c. Aliran debris belum sampai pada titik Sabu PU-C0
- d. Volume debris yang terjadi pada jam ke 3 adalah $260172,2690 \text{ m}^3$.



Gambar 5.10 Hasil Simulasi Kondisi Tanpa Sabu jam ke 3

Dari kelima titik Sabo hasil simulasi pada jam ke 3 dengan debit sebesar 206,8477 m³/det diperoleh data jumlah sedimen yang tertahan dan erosi yang terjadi pada tebing sungai masing – masing titik Sabo yang dapat dilihat sebagai berikut.



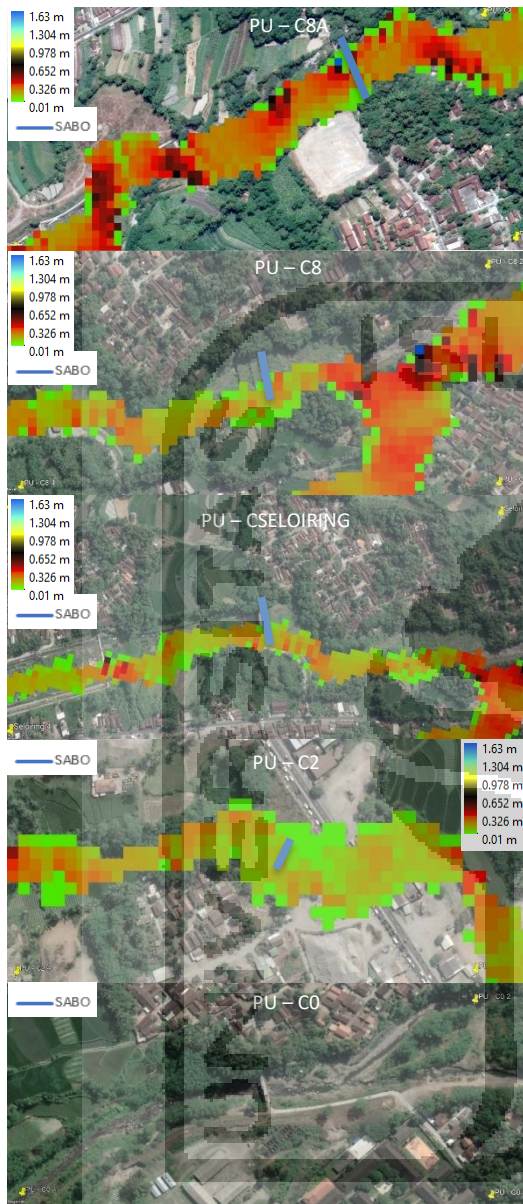
Gambar 11 Erosi dan Sedimen Tertahan Pada Titik – Titik Sabo jam ke 3

Tabel 11 Tinggi Sedimen dan Erosi di titik – titik Sabo pada jam ke 3 simulasi kondisi tanpa Sabo

	SEDIMEN TERTAHAN(m)	EROSI PADA TEBING (m)
PU - C8A	1,1563	-1,5592
PU - C8	1,0884	-0,6913
SELOIRING	1,1303	0
PU - C2	0,8245	-0,2995
PU - C0	0	0

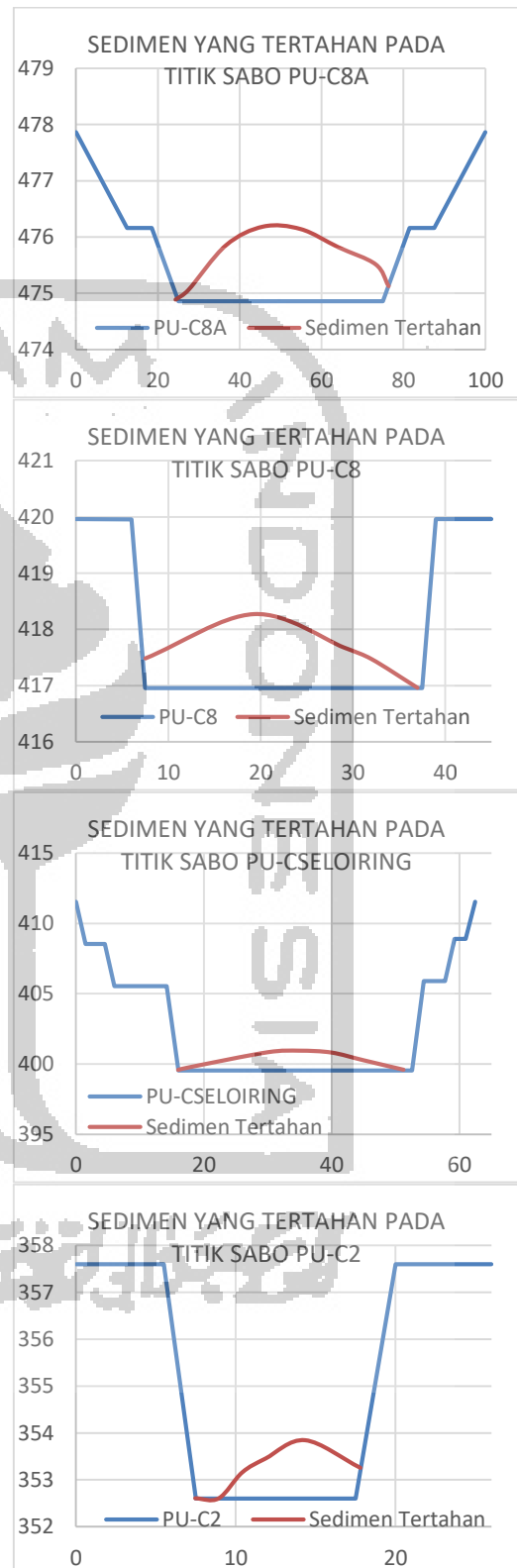
4.6.2 Kondisi Sabo

1. Hasil simulasi lahar pada jam ke 3 dengan debit banjir 206,8477 m³/det.
 - a. Aliran debris telah melimpas melewati Sabo PU – C2 tetapi belum sampai ke Sabo PU – C0.
 - b. Pada titik Sabo PU – C2 aliran debris sedikit melimpas kearah Dusun Gempol, Kab Magelang.
 - c. Aliran debris belum sampai pada titik Sabo PU-C0
 - d. Volume debris yang terjadi pada jam ke 3 adalah 254920,4170 m³



Gambar 5.12 Hasil Simulasi Kondisi Menggunakan Sabo jam ke 3

Dari kelima titik Sabo hasil simulasi pada jam ke 3 dengan debit sebesar 206,8477 m³/det diperoleh data jumlah sedimen yang tertahan dan erosi yang terjadi pada tebing sungai masing – masing titik Sabo yang dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 13 Sedimen Tertahan Pada Titik – Titik Sabo jam ke 3

Tabel 11 Sedimen dan Erosi di titik – titik Sabo pada jam ke 3 simulasi kondisi menggunakan Sabo

	SEDIMEN TERTAHAN(m)	EROSI PADA TEBING (m)
PU - C8A	1,3266	0
PU - C8	1,3106	0
SELOIRING	1,4121	0
PU - C2	1,245	0
PU - C0	0	0

4.7 Analisis Hasil Simulasi

Untuk menganalisis hasil dari simulasi diatas perlu dilakukan pembahasan dan perbandingan dari nilai-nilai diatas untuk menentukan efektifitas sabo penelitian. Perbandingan yang digunakan untuk menilai efektifitas sabo adalah perbandingan tinggi erosi dan sedimen pada masing-masing titik sabo dan kecepatan, volume debris pada 2 kondisi.

4.7.1 Perbandingan Nilai Erosi Pada Tebing dan Sedimen Tertahan

Untuk menganalisis nilai sedimen yang tertahan dan erosi yang terjadi hasil simulasi di titik-titik sabo perbandingan dilakukan dengan cara membandingkan nilai tinggi erosi dan sedimen maksimum pada 2 kondisi yang diterapkan pada penelitian.

1. Perbandingan Nilai Sedimen dan Erosi pada jam ke 7 dengan debit banjir 40,8670 m³/det

Tabel 12 Perbandingan Nilai Sedimen dan Erosi pada jam ke 7 Simulasi

LOKASI	MENGUNAKAN SABO		TANPA SABO	
	SEDIMEN TERTAHAN(m)	EROSI PADA TEBING (m)	SEDIMEN TERTAHAN(m)	EROSI PADA TEBING (m)
PU - C8 A	1,6774	0	1,0496	-1,3844
PU - C8	1,6003	0	1,044	-0,7153
SELOIRING	1,8524	0	1,5419	-0,0487
PU - C2	1,3178	0	0,937	-0,2061
PU - C0	0,9886	0	0,4408	-1,0202

2. Perbandingan Nilai Sedimen dan Erosi pada jam ke 9 dengan debit banjir 5,2485 m³/det

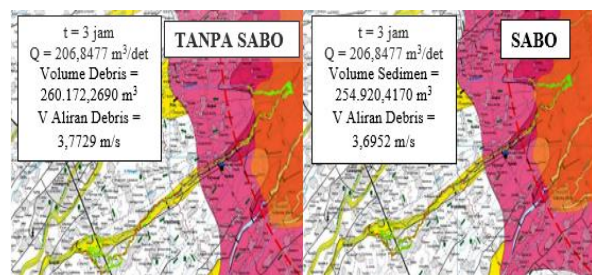
Tabel 13 Perbandingan Nilai Sedimen dan Erosi pada jam ke 7 Simulasi

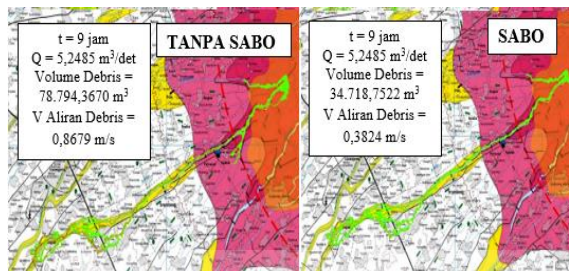
LOKASI	MENGUNAKAN SABO		TANPA SABO	
	SEDIMEN TERTAHAN(m)	EROSI PADA TEBING (m)	SEDIMEN TERTAHAN(m)	EROSI PADA TEBING (m)
PU - C8 A	1,5913	0	1,1247	-1,2934
PU - C8	1,4682	0	1,033	-0,6808
SELOIRING	1,7827	0	1,5343	-0,0528
PU - C2	1,2082	0	0,7486	-0,2073
PU - C0	0,8639	0	0,4349	-0,9894

Berdasarkan hasil perbandingan nilai-nilai erosi dan sedimen antara 2 kondisi didapatkan hasil bahwa nilai erosi yang terjadi pada kondisi tanpa sabo di titik PU-C8A dan PU-C0 cukup ekstrim yaitu dari tinggi 0,9 m – 1,6 m. Hal ini menandakan bahwa adanya Sabo pada penelitian ini mampu mereduksi potensi erosi yang terjadi pada tebing sungai maupun dasar sungai. Sabo PU-Cseloiring yang merupakan sabo dengan dimensi terbesar mampu menahan sedimen dengan tinggi maksimum 1,8579 m yang terjadi pada jam ke 7 simulasi. Kelima Sabo penelitian diatas mampu menahan sedimen lebih tinggi dibanding kondisi tanpa sabo maka berdasarkan hasil simulasi diatas dapat disimpulkan bahwa Sabo pada penelitian ini mampu menahan sedimen dan mencegah serta mereduksi potensi erosi yang terjadi pada tebing sungai maupun dasar sungai.

4.7.2 Volume dan Kecepatan Aliran Debris

Berdasarkan hasil simulasi untuk menentukan efektifitas sabo diperlukan perbandingan volume dan kecepatan. Perbandingan yang dilakukan hanya menggunakan jam-jam kritis saja.





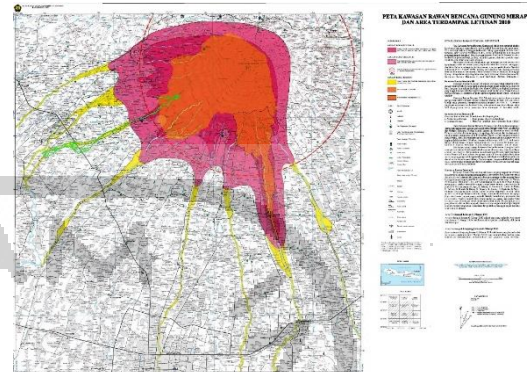
Gambar 14 Perbandingan Peta Sebaran 2 kondisi jam ke 3 dan 9

Berdasarkan hasil perbandingan diatas pola sebaran yang terjadi tidak berubah atau bertambah secara signifikan. Namun perbedaan yang cukup jelas ada pada perbedaan kecepatan dan volume debris yang terjadi antara kondisi tanpa sabo dan kondisi sabo. Pada debit puncak $t = 3$ jam aliran debris telah melewati Sabo ke 4 titik penelitian yaitu Sabo PU-C2. Pada jam ke 3 simulasi ini terjadi pengurangan volume debris pada kondisi sabo dari 260.172,2690 m³ menjadi 254.920,4170 m³ berkurang 5251,85 m³ atau hanya 2,06%. Perbedaan terbesar penurunan volume debris yang cukup signifikan terjadi pada $t = 9$ jam yaitu 78.794,3670 m³ dengan kondisi tanpa sabo menjadi 34718,7522 m³ pada kondisi sabo. Penurunan yang terjadi sebesar 44.075,61 m³ atau 55,93% persen dari total volume debris pada jam ke 9 dan untuk kecepatan aliran turun dari 0,8679 m/s menjadi 0,3824 m/s berkurang sebesar 0,4855 m/s.

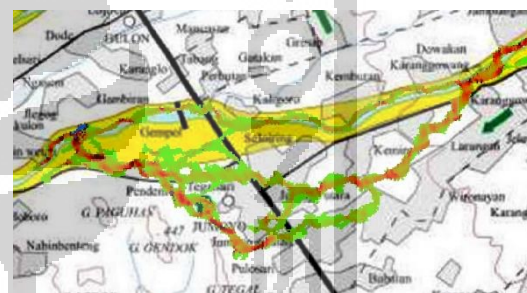
Berdasarkan perbandingan kecepatan dan volume aliran debris diatas antara kondisi sabo dan tanpa sabo dapat diambil kesimpulan bahwa kelima sabo penelitian diatas cukup efektif dalam mencegah dan memperlambat laju aliran debris dapat dilihat dari naiknya persentase penurunan volume serta kecepatan debris tiap jam dan persentase penurunan volume maksimum yang terjadi mencapai 55,93% dengan catatan sabo membutuhkan waktu untuk mengurangi volume debris.

4.8 Daerah Rawan Bencana di Sungai Putih
Untuk mengetahui daerah rawan bencana sedimen di Sungai Putih, dilakukan kalibrasi dengan cara membandingkan antara hasil

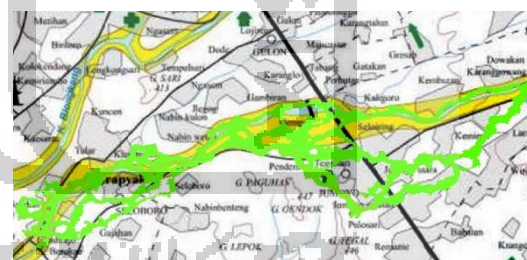
simulasi dengan peta daerah rawan bencana Gunung Merapi tahun 2011.



Gambar 15 Perbandingan Hasil Simulasi dengan Peta Daerah Rawan Bencana Gunung Merapi tahun 2011



Gambar 16 Sebaran Aliran Debris pada jam ke 3



Gambar 17 Sebaran Aliran Debris pada jam ke 11

Berdasarkan perbandingan diatas pada peta kawasan rawan bencana Gunung Merapi yang dikeluarkan oleh Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Dusun Kemiren, Dusun Jumoyo Utara, Jumoyo Selatan, Dusun Klumpukan, Dusun Sukowati, Dusun Nabin Kulon dan Dusun Seloboro tidak termasuk dalam daerah rawan bencana tetapi pada hasil penelitian ini dusun-dusun tersebut termasuk

dalam daerah rawan bencana yang dilimpasi aliran debris. Hal ini kemungkinan dikarenakan pada penelitian ini hanya digunakan 5 sabo dam saja dari total 22 sabo dam yang ada pada sungai putih.

Berikut adalah luasan dari daerah yang terdampak aliran debris pada simulasi diurutkan dari luasan terbesar ke kecil:

Luasan Terdampak dari Besar ke Kecil	Dusun	Luasan area terdampak (ha)
1	Jumoyo Utara	22,27
2	Jumoyo Selatan	18,82
3	Kemiren	10,075
4	Seloboro	7,95
5	Sukowati	4,62
6	Nabin Kulon	1,5
7	Klumpukan	1

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa angkutan sedimen kantong lumpur di Bendung Karangtalun yang dilakukan, maka didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Tinggi sedimen yang tertahan pada kelima sabo melebihi tinggi sedimen pada saat kondisi tanpa sabo dan erosi yang terjadi pada beberapa titik penelitian pada kondisi tanpa sabo dinilai cukup ekstrim dengan tinggi erosi maksimum -1,6 m. Sehingga berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan sabo dam mampu menahan sedimen dan mencegah serta mereduksi potensi erosi yang terjadi pada tebing sungai maupun dasar sungai.
2. Sabo dam PU-CSeloiring mampu menahan tinggi sedimen maksimum dibanding dengan sabo penelitian yang lain yaitu dengan tinggi 1,8579 m
3. Sabo dam penelitian efektif mengurangi volume debris dengan persentase terbesar yaitu 55,93%.

4. Sabo membutuhkan waktu untuk mengurangi volume debris secara signifikan dikarenakan persentase tertinggi baru terjadi pada jam ke 9 yaitu sebesar 44.075,61 m³ atau 55,93%.
5. Debit puncak pada simulasi terjadi pada jam ke 3 yaitu sebesar 206,8477 m³/det.
6. Kecepatan aliran debris terbesar terjadi pada jam ke 3 yaitu 3,7729 m/s sedangkan penurunan kecepatan debris terbesar terjadi pada jam ke 8 yaitu sebesar 0,8781 m/s.
7. Daerah rawan bencana banjir lahar dingin di Kali Putih dalam simulasi ini yaitu:
 - a. Dusun Kemiren
 - b. Dusun Jumoyo Utara
 - c. Dusun Jumoyo Selatan
 - d. Dusun Klumpukan
 - e. Dusun Sukowati
 - f. Dusun Nabin Kulon
 - g. Dusun Seloboro
8. Hasil ini diperlukan evaluasi untuk memverifikasi hasil simulasi dengan kejadian aktual diakibatkan terjadi perubahan morfologi pasca bencana 2010.

5.2 Saran

Dengan memperhatikan penelitian maka didapat beberapa saran untuk memperbaiki dan menambah analisis penelitian sebagai berikut.

1. Untuk menghasilkan hasil simulasi yang lebih akurat dapat menggunakan peta DEM dengan grid spasial yang lebih kecil.
2. Perlu adanya penelitian tentang analisis efektivitas bangunan sabo dam yang lebih spesifik pada masing – masing Sabo Dam tidak hanya berdasarkan volume debris total keseluruhan.

3. Perlu adanya penelitian tentang analisis efektivitas bangunan sabo dam yang berada di hulu Sungai Kali Putih.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyono, Joko. 2000. *Pengantar Teknologi Sabo*. Yayasan Teknologi Sabo.
- Triatmojo, B. 2008. *Hidrologi Terapan*, Beta Offset. Yogyakarta
- Budiman, Rizki. 2018. *Simulasi Transpor Sedimen Sungai Progo di Sekitar Intake kamijoro, Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta
- Just Contribution, Efektivitas Sabodam. (Online).
<http://jcpoweryogyakarta.blogspot.co.id/2012/08/efektivitas-sabodam.html>. Diakses pada tanggal 16 Juli 2018.
- Remaitre, A., Th. W.J. van Asch, J.-P. Malet, O. Maquaire. 2008. Influence of Check Dams on Debris-Flow Run-Out Intensity. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8, 1403-1416.
- Balai Sabo. 2012. *Jurnal Sabo*, Balai Sabo. Yogyakarta.

