

**FORMULASI MITIGASI BENCANA ALIRAN SEDIMEN AKIBAT  
LONGSORAN GUNUNG BAWAKARAENG**



**OLEH:**

**AZKA LAYYINA WILDANY**

**D012 181 017**

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL**

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**2023**

**FORMULASI MITIGASI BENCANA ALIRAN SEDIMEN AKIBAT  
LONGSORAN GUNUNG BAWAKARAENG**



**OLEH:**

**AZKA LAYYINA WILDANY**

**D012 181 017**

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL**

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**2023**

# TESIS

## FORMULASI MITIGASI BENCANA ALIRAN SEDIMEN AKIBAT LONGSORAN GUNUNG BAWAKARAENG

**AZKA LAYYINA WILDANY**  
**D012181017**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 9 Januari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa, M.T.  
NIP. 19760319 199203 2 010

Pembimbing Pendamping



Dr. Eng. Ir. H. Farouk Maricar, M.T.  
NIP. 19641020 199103 1 002

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST. MT. IPM  
NIP. 197309262000121002

Ketua Program Studi  
S2 Teknik Sipil



Dr. M. Asad Abdurrahman, ST. MEng.PM  
NIP. 197303061998021001

## PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah Tesis ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik disuatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Tesis dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Makassar, 6 Maret 2023  
Mahasiswa,



**Azka Layyina Wildany**  
NIM. D012181017

## PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini dengan judul “***Formulasi Mitigasi Bencana Aliran Sedimen Akibat Longsoran Gunung Bawakaraeng***”.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa di dalam penulisan Tesis ini masih terdapat kekurangan-kekurangan, hal ini disebabkan penulis sebagai manusia biasa tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan baik itu ditinjau dari segi teknis penulisan maupun dari perhitungan-perhitungan. Oleh karena penulis mengharapkan kritik dan saran serta perbaikan guna kesempurnaan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat terutama bagi penulis sendiri.

Dalam penyelesaian Tesis ini dapat terwujud berkat adanya bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.** Sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.
2. Ibu **Prof. Dr. Ir. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M. Eng.** Sebagai Ketua program Studi Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Makassar.
3. Ibu **Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa., MT** Selaku pembimbing 1 dan Bapak **Dr. Eng. Ir.H. Farouk Maricar., MT** Selaku Pembimbing II, yang

telah banyak meluangkan waktu, memberikan bimbingan dan pengarahan sehingga terwujudnya proposal penelitian Tesis

4. Bapak dan ibu Dosen serta staf pegawai pada Fakultas Teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Hasanuddin Makassar.
5. Ayahanda dan Ibunda tercinta yang senantiasa memberikan limpahan kasih sayang, doa, serta pengorbanan kepada penulis.
6. Rekan-rekan Mahasiswa Magister Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar, terkhusus saudaraku Angkatan 2018 1 Keairan dengan rasa persaudaraan yang tinggi banyak membantu dan memberi dukungan dalam menyelesaikan Tesis ini.
7. Teman-teman Dinas Pekerjaan Umum terkasih, kak April serta pembimbing ketiga Valdy yang dengan segala kesibukannya masih meluangkan waktu untuk membantu, memberi dukungan serta arahan bagi penulis.

Semoga semua pihak tersebut diatas mendapat pahala yang berlipat ganda disisi Allah SWT dan Tesis yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan negara, Amin

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	2
C. Rumusan Masalah	4
D. Tujuan Penelitian	4
E. Manfaat Penelitian	4
F. Batasan Masalah	5
G. Sistematika Penulisan	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>7</b>
A. Konsep Bencana Sedimen	7
1. Definisi Umum	7
2. Jenis-Jenis Bencana Sedimen	7
B. Erosi dan Sedimentasi	8
1. Erosi dan Keruntuhan Kaldera	8
2. Sedimentasi	8
C. Analisis Curah Hujan	10
1. Intensitas Hujan	10
2. Hujan Rata-Rata	11
D. Usaha Mitigasi Bencana	14

1. Konsep Mitigasi Secara Umum	14
2. Mitigasi Bencana Fisik (Struktural) dan Non-Fisik (Non Struktural)	17
E. Bangunan Sabo	19
1. Pengertian Bangunan Sabo	19
2. Titik Peninjauan	20
3. Jenis-Jenis Sabo Dam	22
F. Kerangka Pikir Penelitian	24
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>26</b>
A. Gambaran Umum	26
B. Ketersediaan Data	29
C. Langkah Penelitian	30
1. Pendekatan Masalah dan Asumsi	30
2. Bagan Alir Penelitian	31
3. Prosedur Penelitian	32
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>35</b>
A. Hasil	35
1. Data Kondisi Daerah Tangkapan Hujan	35
2. Analisis Debit Banjir Rancangan	38
3. Data Karakteristik Sedimen	50
4. Kondisi Geologi	66
5. Topografi dan Geomorfologi	70
6. Laju Sedimentasi	75
B. Pembahasan	78
1. Analisa Kerusakan Sistem Mitigasi yang Terbangun dan Tersedia	78
2. Pemilihan Mitigasi Struktural	81
3. Perencanaan Check Dam	82
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>88</b>

A. Kesimpulan	88
B. Saran	88

## **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> .Konsep Hitungan hujan rata-rata DAS dengan Poligon Thiessen	13
<b>Gambar 2.2.</b> Konsep Hitungan Hujan Rata-Rata DAS Dengan Isohyet	14
<b>Gambar 2.3</b> Kondisi Dimana Aliran Debris Berhenti	21
<b>Gambar 2.4</b> Pola Dasar Penanggulangan Banjir Sedimen (Aliran Debris) Akibat Letusan Gunung Api	22
<b>Gambar 2.5.</b> Jenis Cek Dam	24
<b>Gambar 2.6</b> Kerangka Pikir Penelitian	29
<b>Gambar 3.1</b> Lokasi Penelitian	<b>35</b>
<b>Gambar 3.2</b> Bagan Alir Penelitian	32
<b>Gambar 3.3</b> Dokumentasi Penelitian	<b>33</b>
<b>Gambar 4.1</b> Luasan Poligon Thiessen	37
<b>Gambar 4.2</b> Distribusi Hujan Jam-Jaman	40
<b>Gambar4.3</b> Grafik Unit Hidrograf Metode Nakayasu	45
<b>Gambar 4.4</b> Grafik Hidrograf Banjir HSS Nakayasu Periode Ulang 20 Tahun	50
<b>Gambar 4.5</b> Peta Lokasi Pengambilan Sampel	51
<b>Gambar 4.6</b> Grafik Hasil Pengujian Analisis Saringan Sampel 2	56
<b>Gambar 4.7</b> Grafik Hasil Pengujian Analisis Saringan Sampel E1	57
<b>Gambar 4.8</b> Grafik Hasil Pengujian Analisis Saringan Sampel 3	58
<b>Gambar 4.9</b> Grafik Hasil Pengujian Analisis Saringan Sampel E2	60
<b>Gambar 4.10</b> Grafik Hasil Pengujian Analisis Saringan Sampel 1A	61
<b>Gambar 4.11</b> Grafik Hasil Pengujian Analisis Saringan Sampel 1B	63
<b>Gambar 4.12</b> Grafik Hasil Pengujian Analisis Saringan Sampel 4	64

<b>Gambar 4.13</b> Grafik Rekapitulasi Hasil Analisis Saringan	66
<b>Gambar 4.14</b> Peta Geologi Area Kaldera	67
<b>Gambar 4.15</b> Foto Batuan yang Terdapat di Lokasi Penelitian	70
<b>Gambar 4.16</b> Batas-Batas Kaldera Melalui Citra Satelit	72
<b>Gambar 4.17</b> Jaringan Sungai dari Daerah Aliran Sungai	74
<b>s</b>	
<b>Gambar 4.19</b> Peta Klasifikasi Laju Erosi di hulu DAS Jeneberang tahun 2018	76
<b>Gambar 4.20</b> Grafik Teletetri Sistem Bendungan Bili-Bili	79
<b>Gambar 4.21</b> Kerusakan pada Sabo Dam 7-1, 7-2, 7-4 dan 7-5	81
<b>Gambar 4.22</b> Drain Hole	87

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1</b> Curah Hujan Maksimum Tiap Stasiun Hujan	35
<b>Tabel 2</b> Perbandingan Luas Daerah Pengaruh Stasiun Hujan	37
<b>Tabel 3</b> Curah Hujan Maksimum Tahunan	37
<b>Tabel 4</b> Curah Hujan Rencana Kala Ulang Metode Log Pearson Type III	39
<b>Tabel 5</b> Curah Hujan Efektif Jam-Jaman	39
<b>Tabel 6</b> Waktu Lengkung Hidrograf	43
<b>Tabel 7</b> Perhitungan Unit Hidrograf	43
<b>Tabel 8</b> Debit Banjir Rencana HSS Nakayasu Periode Ulang 25 Tahun	46
<b>Tabel 9</b> Hasil Pengujian Berat Jenis	52
<b>Tabel 10</b> Rekapitulasi Berat Jenis Sedimen Dasar	53
<b>Tabel 11</b> Nilai d50	54
<b>Tabel 12</b> Hasil Pengujian Analisis Saringan Sampel 2	54
<b>Tabel 13</b> Hasil Pengujian Analisis Saringan Sampel E1	56
<b>Tabel 14</b> Hasil Pengujian Analisis Saringan Sampel 23	57
<b>Tabel 15</b> Hasil Pengujian Analisis Saringan Sampel E2	59
<b>Tabel 16</b> Hasil Pengujian Analisis Saringan Sampel 1A	60
<b>Tabel 17</b> Hasil Pengujian Analisis Saringan Sampel 1B	62
<b>Tabel 18</b> Hasil Pengujian Analisis Saringan Sampel 4	63
<b>Tabel 19</b> Rekapitulasi Hasil Persen Lolos Uji Analisis Saringan	65
<b>Tabel 20</b> Stratigrafi Sekitar Kaldera	68
<b>Tabel 21</b> Batas-Batas Kaldera Melalui Citra Satelit	72
<b>Tabel 22</b> Data Telemetry Sistem Bendungan Bili-Bili	79

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang**

Bencana sedimen didefinisikan sebagai fenomena yang menyebabkan kerusakan baik secara langsung ataupun tidak langsung pada kehidupan manusia dan harta benda, ketidaknyamanan bagi kehidupan masyarakat, dan atau kerusakan lingkungan, melalui suatu skala besar pergerakan tanah dan batuan.

Kerusakan akibat bencana ini dapat terjadi dalam 4 bentuk: 1) bangunan dan lahan pertanian hilang akibat tanah longsor atau erosi, 2) rumah-rumah hancur oleh daya rusak tanah dan batuan selama pergerakan tanah atau batuan, 3) rumah dan lahan pertanian terkubur di bawah tanah oleh akumulasi skala besar sedimen, dan 4) peningkatan endapan pada dasar sungai dan penguburan waduk disebabkan oleh sedimen sepanjang sungai yang dapat mengundang datangnya banjir, gangguan fungsi penggunaan air, dan kerusakan lingkungan (*Ministry of Land, Infrastructure and Transport-Japan, 2004*).

Sungai Jeneberang merupakan salah satu sungai yang berhulu di Gunung Bawakaraeng. Runtuhnya Gunung Bawakaraeng pada 26 Maret 2004, mengakibatkan tewasnya 32 orang, 635 sapi hilang, hancurnya beberapa rumah dan satu gedung SD, serta tertimbunnya areal pertanian seluas 1.500 Ha. Volume runtuhannya diperkirakan mencapai 200 - 300 juta

m<sup>3</sup>. Material gunung mengalir di sungai Jeneberang dan berakibat sedimentasi Waduk Bili-Bili yang sangat besar. Bencana susulan akibat aliran debris pada Januari 2006 mengakibatkan hanyutnya jembatan Daraha.

Runtuhnya dinding kaldera Gunung Bawakaraeng pada Maret 2004 yang diikuti oleh banjir bandang yang menewaskan dan mencederai puluhan orang, serta hancurnya puluhan rumah telah mengakibatkan ancaman bencana yang berkelanjutan bagi penduduk setempat. Hal ini terbukti ketika banjir bandang kembali melanda daerah yang sama pada Februari 2007 yang menyebabkan terisolirnya ribuan penduduk.

## **B. Identifikasi Masalah**

Ancaman terbesar adalah endapan material bahan rombakan hasil longsoran Maret 2004 yang mengganggu kelestarian fungsi waduk Bili-Bili di sebelah hilir Gunung Bawakaraeng sebagai sumber air bagi penduduk sekitar. Persoalan ini semakin bertambah ketika material bahan rombakan yang bersifat lepas dan labil ini dengan volume sangat besar dapat sewaktu-waktu bergerak menjadi bencana banjir bandang/longsor jika terjadi hujan lebat. Hal ini yang kemudian menjadi bencana sedimen sekunder atau yang juga sering dinamakan lahar dingin.

Bencana sedimen sekunder telah terjadi pada tanggal 22 Januari 2019. Debit banjir saat itu di stasiun curah hujan Pos-1 dan Lengkesa tercatat 308 mm/hari dan 329 mm/hari. Hasil plotting pada grafik *Detailed*

*Design Bendungan Bili-Bili* menghasilkan debit banjir dengan kala ulang antara 70-100 tahunan. Adapun semua bangunan pengendali sedimen di hulu Bendungan Bili-Bili direncanakan dengan Debit Banjir kala ulang 50 tahunan.

Berdasarkan daya rusak banjir tersebut dilakukan penelusuran guna melihat tingkat kerusakan yang dapat diuraikan sebagai berikut:

- 1) Kerusakan yang terjadi pada beberapa bangunan pengendali sedimen, seperti pada bangunan Dam Konsolidasi KD.4. dan Sand Pocket Dam (SP).<sup>1</sup>
- 2) Outflow yang dilepas melalui bangunan pelimpah Bendungan Bili-Bili saat banjir mengakibatkan proteksi tebing kanan di hulu Jembatan Bili-Bili runtuh dan mengancam posisi abutment jembatan bagian kanan.
- 3) Adanya sedimen konsentrasi tinggi yang mengalir ke Waduk Bili-Bili yang dapat menyebabkan pendangkalan waduk sehingga kapasitas dan umur waduk menjadi berkurang.

Untuk mengurangi sedimen yang masuk ke Waduk Bili-Bili diperlukan berbagai upaya penanganan antara lain dengan diperlukan bangunan pengendali sedimen di sebelah hulu Sungai Jeneberang, salah satunya dengan Sabo Dam.

Bangunan sabo dilokasikan antara bagian hulu (*upstream*) dari SD 7-7 dan bagian yang sempit, dan sebagai sarana pengendali limpasan

sedimen dari pengendapan sedimen di kaldera. Karena tujuan dari bendungan sabo di bagian ini (*upstream*) adalah pengendalian limpasan aliran debris, debit sedimen biasa dapat dilewatkan. Dengan demikian, dam tipe terbuka seperti bendungan celah (*slit dam*) dan bendungan saluran besar (*large conduit dam*) direkomendasikan.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka timbul pemikiran untuk mengkaji lebih lanjut pokok permasalahan mitigasi bencana sedimen yang diakibatkan oleh bencana yang sifatnya sekunder yaitu banjir akibat endapan material yang bergerak.

### **C. Rumusan Masalah**

Dari latar belakang di atas perumusan masalah yang telah diperoleh dari tesis ini adalah bagaimana mitigasi bencana sedimen akibat longsoran Gunung Bawakaraeng?

### **D. Tujuan Penelitian**

Dari permasalahan yang telah di rumuskan di atas, maka tujuan utama dalam penelitian ini adalah untuk untuk mendapatkan formulasi mitigasi bencana sedimen akibat longsoran Gunung Bawakaraeng.

### **E. Manfaat Penelitian**

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu memberikan formulasi mitigasi bencana aliran sedimen sungai,

secara khusus Sungai Jeneberang yang terdampak mega longsor di hulu/kaldera Gunung Bawakaraeng sebagai *role model*.

## **F. Batasan Masalah**

Agar penelitian ini lebih fokus dan terarah dalam mencapai tujuan penelitian, maka diberikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Bencana sedimen yang akan diteliti dikhususkan pada bencana sedimen sekunder yaitu banjir akibat endapan material yang bergerak.
2. Untuk data hasil analisa geologi, morfologi sungai, data mekanika tanah serta data-data penunjang lain pada perencanaan ini digunakan data sekunder yang didapat dari instansi terkait dan kajian literatur.
3. Angkutan sedimen yang ditinjau didasarkan pada curah hujan harian.
4. Lokasi penelitian dikhususkan pada daerah hulu (*upstream*) sungai Jeneberang.
5. Mitigasi yang dipilih dibatasi pada tahapan pra-bencana sedimen dan khusus langkah mitigasi struktural.
6. Asumsi-asumsi lain yang dianggap mendukung analisa penelitian akan disajikan dalam tahapan masing-masing analisa selanjutnya.

## **G. Sistematika Penulisan**

Untuk memudahkan pembaca dalam mengetahui dan memahami tentang apa yang menjadi pokok-pokok bahasan dalam penulisan ini, maka secara garis besar berisikan hal-hal sebagai berikut :

1. Bab I Pendahuluan : Merupakan bab yang menguraikan tentang latar belakang masalah.
2. Bab II Tinjauan Pustaka : Merupakan bab yang menjelaskan tentang hal-hal yang perlu di tinjau dalam formulasi mitigasi bencana sedimen akibat longsor Gunung Bawakaraeng.
3. Bab III Metodologi Penelitian : Merupakan bab yang berisi rumusan masalah yang akan dibahas berupa metode yang digunakan dalam formulasi mitigasi bencana sedimen akibat longsor Gunung Bawakaraeng.
4. Bab IV Analisa Data dan Pembahasan : Merupakan bab yang akan membahas tentang hasil perhitungan dalam penelitian ini
5. Bab V Kesimpulan dan Saran : Merupakan bab yang membahas tentang kesimpulan dari penelitian ini serta saran kedepan dalam mitigasi bencana sedimen akibat longsor Gunung Bawakaraeng.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Longsor**

Longsor merupakan perpindahan material/massa tanah secara alami berpindah ke daerah yang lebih rendah (Priyono, 2015). Longsor yang terjadi merupakan sebuah bentuk erosi. Menurut pendapat Utomo (1983) bahwa longsor (*landslide*) merupakan suatu bentuk erosi massa yang telah banyak mengikis / mengangkut material tanah karena pengangkutan atau pemindahan tanahnya terjadi pada suatu saat dalam volume yang besar.

Peristiwa longsor biasa dikenal sebagai gerakan massa tanah, batuan atau kombinasinya, yang sering terjadi pada daerah kelerengan dan merupakan kejadian alam, yaitu alam mencari keseimbangan baru dikarenakan adanya ketidakstabilan dan menyebabkan terjadinya kuat geser berkurang serta tegangan geser tanah meningkat. Pengurangan kuat geser tanah pada lereng alam yang mengalami longsor disebabkan oleh faktor yang dapat berasal dari tanah itu sendiri, yaitu kondisi geologi antara lain jenis tanah, tekstur (komposisi) tanah pembentuk lereng (Priyono, 2009).

Bencana seperti aliran debris, longsor dan kegagalan lereng adalah jenis bencana yang dihadapi di Indonesia setiap tahunnya. Di Provinsi Sulawesi Selatan, bencana tersebut menjadi isu yang penting untuk

mitigasi sejak tahun 2004, longsor di Gunung Bawakaraeng. Longsor diikuti aliran debris terjadi di Kaldera Bawakaraeng yang menghasilkan volume longsor sekitar 232 juta m<sup>3</sup> (Hasnawir and Kubota, 2011).

Di sekitar Gunung Bawakaraeng sering terjadi bencana terutama *debris flow* atau *mud flow* karena volume material longsor masih banyak terdapat di atas Gunung Bawakaraeng. Pada kejadian pertama Maret 2004, ada yang menyebutkan bahwa peristiwa ini disebut runtuhnya lereng (*Slope Collapse*). Kejadian longsor di daerah bekas longsor G. Bawakaraeng, berupa *debris flow* atau *mud flow* sering terjadi, terutama pada musim penghujan. Ancaman itu bertambah besar dengan volume air yang tertampung di sejumlah gawir longsor lama Gunung Bawakaraeng dan banyaknya material longsor di Sungai Jeneberang. Yang dibuktikan dengan kejadian pada tahun 2009 (Sumaryono dan Yunara Dasa Triyana, 2011).

## **B. Konsep Bencana Sedimen**

### **1. Definisi Umum**

Bencana sedimen didefinisikan sebagai fenomena yang menyebabkan kerusakan baik secara langsung ataupun tidak langsung pada kehidupan manusia dan harta benda, ketidaknyamanan bagi kehidupan masyarakat, dan atau kerusakan lingkungan, melalui suatuskala besar pergerakan tanah dan batuan. (*Integrated Flood Management Tools Series No.12, 2011*).

Beberapa ciri-ciri umum dari bencana sedimen adalah:

- a. Adanya aliran material massa.
- b. Adanya media pencampur air atau fluida.
- c. Melaju dari posisi yang tinggi ke daerah yang lebih rendah.
- d. Adanya pengaruh gravitasi terhadap material massa.
- e. Membentuk perlapisan atau sedimen terhadap lingkungan yang dilalui.
- f. Membentuk morfologi baru pada daerah yang mengalami bencana.  
(*Integrated Flood Management Tools Series No.12, 2011*).

## **2. Jenis-Jenis Bencana Sedimen**

Bencana sedimen dapat dibedakan berdasarkan sumber sedimen (*onsite*) dan tempat deposisi sedimen (*off site*). Sumber sedimen meliputi tanah longsor akibat gempa, tanah longsor akibat aktifitas vulkanik, tanah longsor akibat hujan, gunung runtuh, kegagalan, lahar panas dan lahar dingin. Sedangkan tempat deposisi sedimen meliputi sedimentasi dam/waduk, sedimentasi sungai, sedimentasi danau, erosi dan abrasi pantai. Mengakibatkan kerusakan dan kerugian nyawa, materil dan infrastruktur. (Hasnawir, 2012)

Bencana sedimen secara kasar juga dapat dikategorikan menjadi dua jenis: 1) bencana sedimen tipe langsung yang menyebabkan kerusakan langsung akibat pergerakan sedimen; 2) bencana sedimen tidak langsung yang menyebabkan banjir atau genangan air melalui agradasi dasar sungai atau menghalangi aliran sungai.

**C.**

### **C. Definisi Formulasi Mitigasi**

Definisi formulasi menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) adalah merumuskan atau menyusun dalam bentuk yang tepat; sedangkan definisi mitigasi adalah kata benda yang memiliki dua makna tergantung konteks penggunaannya. Makna pertama, mitigasi adalah upaya menjadikan berkurang kekasaran atau atau kesuburannya (tentang tanah dan sebagainya). Sedangkan makna kedua, mitigasi adalah tindakan mengurangi dampak bencana.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2008 Tentang Penyelenggaraan Penanggulangan Bencana, mitigasi adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana.

Sehingga, definisi formulasi mitigasi adalah penyusunan langkah dan upaya untuk mengurangi resiko bencana dalam bentuk yang tepat; baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi bencana.

### **D. Usaha Mitigasi Bencana**

#### **1. Konsep Mitigasi Secara Umum**

Kegiatan-kegiatan pada tahap pra bencana erat kaitannya dengan istilah mitigasi bencana yang merupakan upaya untuk meminimalkan dampak yang ditimbulkan oleh bencana. Mitigasi

bencana mencakup baik perencanaan dan pelaksanaan tindakan-tindakan untuk mengurangi resiko-resiko dampak dari suatu bencana yang dilakukan sebelum bencana itu terjadi, termasuk kesiapan dan tindakan-tindakan pengurangan resiko jangka panjang. Upaya mitigasi dapat dilakukan dalam bentuk mitigasi struktural dengan memperkuat bangunan dan infrastruktur yang berpotensi terkena bencana, seperti membuat kode bangunan, desain rekayasa, dan konstruksi untuk menahan serta memperkuat struktur ataupun membangun struktur bangunan penahan longsor, penahan dinding pantai, dan lainlain. Selain itu upaya mitigasi juga dapat dilakukan dalam bentuk non struktural, diantaranya seperti menghindari wilayah bencana dengan cara membangun menjauhi lokasi bencana yang dapat diketahui melalui perencanaan tata ruang dan wilayah serta dengan memberdayakan masyarakat dan pemerintah daerah. Mitigasi bencana yang efektif harus memiliki tiga unsur utama, yaitu penilaian bahaya, peringatan dan persiapan.

a. Penilaian bahaya (*hazard assesment*);

Diperlukan untuk mengidentifikasi populasi dan aset yang terancam, serta tingkat ancaman. Penilaian ini memerlukan pengetahuan tentang karakteristik sumber bencana, probabilitas kejadian bencana, serta data kejadian bencana di masa lalu.

Tahapan ini menghasilkan Peta Potensi Bencana yang sangat penting untuk merancang kedua unsur mitigasi lainnya.

b. Peringatan (*warning*);

Diperlukan untuk memberi peringatan kepada masyarakat tentang bencana yang akan mengancam (seperti bahaya tsunami yang diakibatkan oleh gempa bumi, aliran lahar akibat letusan gunung berapi, dan sebagainya). Sistem peringatan didasarkan pada data bencana yang terjadi sebagai peringatan dini serta menggunakan berbagai saluran komunikasi untuk memberikan pesan kepada pihak yang berwenang maupun masyarakat. Peringatan terhadap bencana yang akan mengancam harus dapat dilakukan secara cepat, tepat dan dipercaya.

c. Persiapan (*preparedness*).

Kegiatan kategori ini tergantung kepada unsur mitigasi sebelumnya (penilaian bahaya dan peringatan), yang membutuhkan pengetahuan tentang daerah yang kemungkinan terkena bencana dan pengetahuan tentang sistem peringatan untuk mengetahui kapan harus melakukan evakuasi dan kapan saatnya kembali ketika situasi telah aman. Tingkat kepedulian masyarakat dan pemerintah daerah dan pemahamannya sangat penting pada tahapan ini untuk dapat menentukan langkah-langkah yang diperlukan untuk mengurangi dampak akibat bencana.

Selain itu jenis persiapan lainnya adalah perencanaan tata ruang yang menempatkan lokasi fasilitas umum dan fasilitas sosial di luar zona bahaya bencana (mitigasi non struktural), serta usaha-usaha keteknikan untuk membangun struktur yang aman terhadap bencana dan melindungi struktur akan bencana (mitigasi struktural).

## **2. Mitigasi Bencana Fisik (Struktural) dan Non Fisik (non Struktural)**

Menurut Radiana Triatmadja (2010) mitigasi adalah suatu upaya atau tindakan yang dilakukan untuk mengurangi efek dari suatu kejadian bencana. Di dalam UU No. 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana pasal I ayat sembilan dijelaskan bahwa mitigasi adalah serangkaian upaya untuk mengurangi resiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana. Oleh karena itu, mitigasi bencana dapat diartikan sebagai tindakan-tindakan untuk mengurangi dampak dari suatu bencana sebelum bencana itu terjadi

Menurut Radiana Triatmadja (2010) mitigasi bencana terbagi menjadi dua yaitu mitigasi fisik (struktural) dan mitigasi non fisik (non struktural). Kedua langkah tersebut harus dilaksanakan secara terintegrasi dan saling melengkapi. Mitigasi fisik (struktural) merupakan tindakan-tindakan yang dilakukan secara fisik untuk mengurangi dampak suatu bencana. Sedangkan, mitigasi non fisik

(non strutral) merupakan tindakan-tindakan non fisik yang dilakukan untuk mengurangi dampak suatu bencana yang diwujudkan dalam pendidikan mitigasi bencana.

**a. Penanggulangan fisik**

Penanggulangan fisik terhadap bahaya akibat aliran debris dilakukan melalui penerapan sabo work dengan membuat bangunan pengendali sedimen, berupa bendung penahan sedimen, bendung pengendali dasar sungai, kantong sedimen, kanalisasi, tanggul dan krib, serta pengendalian secara vegetasi (Sumaryono, 2001).

**b. Penanggulangan non fisik**

Penanggulangan aliran debris secara non fisik dimaksudkan agar penduduk yang bermukim di sekitar daerah bahaya selalu waspada. Penanggulangan non fisik dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain melalui pembentukan organisasi bencana swakarsa, pengembangan sistem pemantauan dan pemberitaan dini, serta kegiatan sosialisasi (Sumaryono, 2001).

Usaha yang telah dilakukan dengan mengaktifkan masyarakat setempat yang peduli tentang bencana alam. Tanggal 23 Juni 2004 telah terbentuk masyarakat Sabo, dimana masyarakat memantau/monitoring dengan membuat posko-posko pemantauan aliran sungai dan curah hujan. Dan

menentukan daerah aman dari bencana sebagai tempat pengungsian (Bambang Hargono, 2005).

## **E. Bangunan Pengendali Sedimen**

### **1. Pengertian Bangunan Pengendali Sedimen**

Bangunan pengendali sedimen adalah bangunan yang dirancang dalam ukuran tertentu untuk mengurangi kecepatan aliran dan mengendapkan sedimen selama periode waktu tertentu pada suatu lokasi aliran sungai sehingga termanfaatkan bagi penambang pasir (Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2022).

Bangunan pengendali sedimen terdiri dari *sabo dam*, *check dam*, *consolidation dam*, dan *sand pocket*.

### **2. Check Dam (Bangunan Penahan Sedimen)**

Bangunan check dam merupakan salah satu bangunan pengendali sedimen yang cukup penting. Bangunan check dam sudah banyak dibangun dan sangat terkenal pada banyak negara seperti Jepang, Italia, China, Nepal, Venezuela, Swiss, Indonesia dan lain-lain. Oleh karena itu, pemahaman tentang perilaku Check Dam sebagai bangunan pengendali sedimen sangat diperlukan.

Check Dam dapat juga berfungsi untuk mengurangi debit dari aliran debris dan untuk memantapkan dasar sungai oleh material sedimen yang

terkandung dalam aliran debris. Check Dam dapat di bagi atas dua jenis yaitu jenis tertutup dan jenis terbuka. Check Dam tertutup dibangun dengan menggunakan material beton. Check Dam tipe tertutup dapat berfungsi secara efektif untuk mengendalikan aliran debris jika daerah tampungannya dalam keadaan belum terisi sedimen. Namun seringkali Check Dam tipe ini kurang efektif menahan sedimen karena keterbatasan permeabilitas dan ruang tampungan yang sempit. Mempertahankan kapasitas tampungan yang efektif akan membutuhkan upaya pengerukan dan penggalian dasar sungai di ruang tampungan sedimen sehingga menurunkan nilai kelayakan teknis dan ekonomis.

Dalam paper Hui-Pang LIEN (2003), Ashida, Takahashi dan Mizuyama menyebutkan lima tipe Check dam, yaitu tipe konvensional (*check dam*), tipe celah (*slit dam*), dam dengan celah segi empat (*rectangular slit*), tipe sekat infiltrasi bawah (*bottom infiltration screen*) dan tipe grid (*grid dam*). Kelima tipe check dam tersebut merupakan perkembangan bentuk dari check dam tipe terbuka dan tipe tertutup.

Check dam tipe tertutup merupakan bentuk dam dengan dinding tertutup, tipe ini sangat efektif untuk menahan, menampung dan mereduksi aliran sedimen. Aliran sedimen mengisi ruang tampung secara cepat maupun lambat tergantung skala dan interval banjir, namun apabila volume tampungan sudah penuh sedimen, fungsi utamanya hanya sebagai pengendali dan prediksi debit puncak, sedangkan fungsi tampungannya nol.

Sabo dam tipe terbuka dapat dibedakan menjadi tipe saluran dan tipe kisi-kisi. Tipe saluran dapat dibedakan menjadi tipe lubang dan tipe slit. Sabo dam tipe terbuka dengan kisi-kisi yang terbuat dari pipa-pipa baja belum pernah dibuat di Indonesia. Karena harganya relative mahal. Check Dam atau disebut juga bendung penahan berfungsi menampung dan atau menahan sedimen dalam jangka waktu sementara atau tetap, dan harus tetap melewatkan aliran air baik melalui mercu maupun tubuh bangunan. Check dam juga digunakan untuk mengatur kemiringan dasar saluran drainase sehingga mencegah terjadinya penggerusan dasar yang membahayakan stabilitas saluran drainase. Adapun fungsi Chek Dam antara lain :

- a. Menampung sebagian angkutan sedimen dalam suatu kolam penampung.
- b. Mengatur jumlah sedimen yang bergerak secara fluvial dalam kepekaan yang tinggi, agar jumlah sedimen yang meluap ke hilir tidak berlebihan. Dengan demikian besarnya sedimen yang masuk akan seimbang dengan daya angkut aliran air sungainya, sehingga sedimentasi pada lepas pengendapan terhindarkan.
- c. Membentuk suatu kemiringan dasar alur sungai baru pada alur sungai hulu.

Cek dam tipe terbuka dapat dibedakan dalam beberapa bentuk, seperti tipe beam, tipe slit dan tipe grid . Cek dam tipe ini dapat berfungsi untuk menahan aliran debris melalui tangkapan

pada bukaan akibat material besar dan panjang yang saling mengunci selama terjadi banjir atau aliran debris. Namun sedimen akan melimpas bila aliran sudah mulai mengecil. Karakteristik tipe beam/balok dengan bukaan lebar terkait dengan balok melintang yang sebagian besar bertujuan untuk menyaring kayu dan sedimen (Gambar 2.8 b). Sedangkan cek dam tipe slit terdiri dari satu atau lebih celah/bukaan vertikal yang terletak di atas dasar bending (Gambar 2.8 c). Selanjutnya cek dam tipe grid dikembangkan dalam 3 dekade terakhir (Gambar 2.8 d). Tipe ini terbuat dari tabung baja ukuran besar dengan diameter antara 0.5 hingga 1 meter. Dari berbagai kasus di Jepang menunjukkan bahwa tipe ini efisien untuk menahan batu berukuran besar seperti boulder dengan berat hingga 10 ton.



(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar 2.8.** Jenis Cek Dam

(Farouk Maricar,2013)

## **F. Pendekatan Perhitungan**

### **1. Perhitungan Awal**

Langkah-langkah perhitungan awal :

- a. Perhitungan Curah Hujan Daerah
- b. Perhitungan Curah Hujan Rerata
- c. Perhitungan Curah Hujan Rencana dengan Metode Distribusi
- d. Perhitungan Debit Banjir Rencana

### **2. Perencanaan Check Dam**

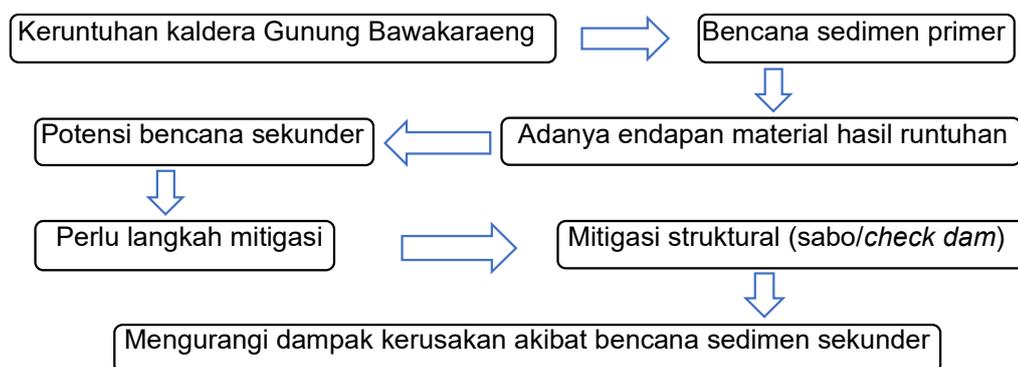
Perencanaan dam pengendali sedimen secara teknis meliputi perencanaan sebagai berikut :

- a. Perencanaan peluap
- b. Perencanaan main dam
- c. Perencanaan pondasi
- d. Perencanaan sayap
- e. Perencanaan sub dam
- f. Bangunan pelengkap

## G. Kerangka Pikir Penelitian

Kerangka pikir penelitian pada dasarnya adalah kerangka berpikir mengenai alur dari pada penelitian, serta alur penelitian tersebut dapat dibuat suatu hubungan antara konsep-konsep yang diamati melalui penelitian yang akan dilakukan.

Adapun kerangka pikir dalam penelitian ini dapat digambarkan seperti gambar 2.9 berikut:



**Gambar 2.9** Kerangka Pikir Penelitian

Berdasarkan kerangka pikir diatas, dapat diterangkan kerangka pikir dalam penelitian ini dimulai pada kejadian awal keruntuhan kaldera Gunung Bawakaraeng pada tahun 2004. Sebagian material hasil runtuh terbawa banjir akibat curah hujan yang tinggi yang kemudian dikategorikan sebagai bencana sedimen primer. Tetapi sebagian lainnya mengendap dan menjadi ancaman karena sewaktu-waktu dapat terbawa oleh banjir; inilah yang kemudian dikategorikan sebagai bencana sedimen sekunder.

Potensi bencana sedimen sekunder inilah yang kemudian mendasari perlunya dilakukan langkah mitigasi. Langkah mitigasi yang dipilih adalah langkah struktural, yaitu dibuatnya bangunan sabo dam tipe terbuka (*check dam*) pada daerah hulu. Diharapkan dengan adanya bangunan sabo dam tipe terbuka (*check dam*) ini dapat mereduksi dampak kerusakan akibat bencana sedimen sekunder; terutama pada bangunan-bangunan pengendali sedimen yang ada di sepanjang Sungai Jeneberang hingga mengurangi sedimen yang akan masuk pada Bendungan Bili-Bili.