

PENGARUH EROSI LAHAN TERHADAP KAPASITAS SABO DAM

Novika Komariona Dewi¹, Jazaul Ikhsan^{1*}, dan Nursetiawan¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

*jazaul.ikhsan@umy.ac.id

Pemasukan: 29 Juni 2022 Perbaikan: 11 Juli 2022 Diterima: 12 Juli 2022

Intisari

Indonesia memiliki banyak gunung aktif berapi salah satunya adalah Gunung Merapi. Gunung Merapi merupakan gunung teraktif di Indonesia bahkan dunia yang dimana mengalami erupsi dengan mengeluarkan piroklastik sebesar 150 juta m³ pada tahun 2010 dan lebih dominan ke arah Kali Gendol dengan jarak mencapai 15 km. Piroklastik yang dikeluarkan akibat letusan Gunung Merapi akan mengendap, menumpuk dan terjadi sedimentasi bercampur dengan hasil erosi-erosi lahan di sekitar. Seiring berjalannya waktu, endapan tersebut nantinya akan tererosi kembali dan menyebabkan banjir lahar dingin ketika terjadi hujan. Untuk menanggulangi bencana aliran lahar dingin maupun sedimen agar tidak berpotensi mengancam keselamatan manusia, sarana prasarana bangunan umum, hunian, maupun daerah pertanian, maka dilakukan pembangunan sabo dam sebagai pengendali banjir lahar dingin. Salah satu sabo dam yang dibuat adalah GE-C Gadingan. Untuk mengetahui kemampuan sabo dam GE-C Gadingan dalam menampung sedimen, maka perlu diprediksi laju erosi yang terjadi dengan menggunakan metode *USLE* (*Universal Soil Loss Equation*) dan SIG (Sistem Informasi Geografis) berbasis pixel atau software ArcGIS 10.1. Hasil analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa: (1) Laju erosi di Sub-DAS Kali Gendol dengan menggunakan metode *USLE* sebesar 47.119,470 ton/ha/tahun, (2) Besar volume sedimen yang terjadi di Sub-DAS Kali Gendol sebesar 1.132.925 m³/tahun dan tidak ada yang akan terlimpas ke bangunan sabo dam GE-C Gadingan. tahun, (3) Kapasitas sabo dam GE-C Gadingan dalam menampung sedimen sebesar 29.659,71 m³. Sehingga, dapat dikatakan bahwa sabo dam GE-C Gadingan dapat menampung volume angkutan sedimen yang terjadi dalam satu tahun.

Kata Kunci: Sedimentasi, Erosi, ArcGIS, *USLE*, Sabo Dam GE-C Gadingan

Latar Belakang

Indonesia memiliki banyak gunung aktif berapi, salah satunya adalah Gunung Merapi yang mempunyai ketinggian ±2968 m. Apabila gunung ini meletus, maka akan mengeluarkan piroklastik yang merupakan bongkahan–bongkohan batu besar yang dikeluarkan dari gunung lalu akan bergerak ke bawah mengikuti kemiringan lereng.

Untuk dapat mengetahui daya tampung sabo dam dalam usaha mitigasi bencana sedimen yang akan terjadi, maka penyusun melakukan perhitungan prediksi laju

erosinya menggunakan metode *USLE* (*Universal Soil Loss Equation*) dan bantuan software ArcGIS. Marseli (2015) dalam tugas akhirnya yang berjudul “Analisis Laju Erosi pada Daerah Tangkapan Waduk Sermo Menggunakan Metode *USLE*” mengatakan bahwa Metode *USLE* merupakan suatu metode yang umum digunakan untuk memprediksi kehilangan tanah yang disebabkan oleh erosi. Metode *USLE* mempunyai kelebihan, yaitu proses pengolahan datanya yang sederhana.

Teknik penanggulangan secara struktural yang telah diterapkan selama ini berupa sistem pengendalian sedimen melalui bangunan sabo yaitu bangunan pengendali sedimen yang dimaksudkan untuk menahan dan mengendalikan laju aliran sedimen ke arah hilir sehingga dengan demikian dapat mengurangi besarnya daya rusak yang ditimbulkan. Sebagai salah satu sungai yang berhulu di kaki Gunung Merapi, Kali Gendol adalah anak sungai Kali Opak dimana Kali Gendol mengalir ke arah tenggara dengan panjang sungai 22 km, serta luas DAS 14,60 km². Hal ini dikaji untuk mendapatkan estimasi mendasar dan akurat terhadap kapasitas tampung sedimen di alur sungai.

Dalam penelitian untuk mengetahui besarnya sedimen maka diperlukan analisis hidrologi. Menurut Triatmodjo (2008) dalam analisis hidrologi sering diperlukan untuk menentukan hujan rerata pada daerah tersebut, yang dapat dilakukan dengan tiga metode salah satunya adalah Metode Thiessen. Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata. Perhitungan metode Thiessen adalah sebagai berikut:

$$P = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + A_nP_n}{A_1 + A_2 + A_n} \quad (1)$$

dengan:

P = Hujan rerata kawasan

P_1, P_2, \dots, P_n = Hujan pada stasiun ke 1, 2, ..., n

A_1, A_2, \dots, A_n = Luas daerah stasiun ke 1, 2, ..., n

Hal yang berkaitan erat dengan sedimentasi adalah terjadinya erosi. Erosi adalah suatu proses dimana tanah dihancurkan (*detached*) dan kemudian dipindahkan ke tempat lain oleh kekuatan air, angin, dan gravitasi (Hardjowigeno, 1995). Dalam memprediksi laju erosi, dilakukan dengan metode *USLE*. Metode *USLE* memungkinkan perencanaan memprediksi laju erosi rata-rata lahan tertentu pada suatu kemiringan dengan pola hujan tertentu untuk setiap macam-macam jenis tanah dan penerapan pengelolaan lahan (tindakan konversi lahan). *USLE* dirancang untuk memprediksi erosi jangka panjang. Persamaan tersebut dapat juga memprediksi erosi pada lahan-lahan (Listriyana, 2006). Formulasinya dapat digunakan rumus dari Wischmeier dan Smith (1960, dalam Sintanala, 1989) sebagai berikut:

$$E = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (2)$$

dengan :

R = Erosivitas Hujan

K = Erodibilitas Tanah

L dan S = Indeks Panjang dan Kemiringan Lereng

C dan P = Indeks Vegetasi Penutup Lahan dan Pengelolaan Tanaman

Menurut Soemarto (1987), sedimentasi dapat didefinisikan sebagai pengangkutan, melayangnya (suspensi) atau mengendapnya material fragmental oleh air. Sedimentasi merupakan akibat dari adanya erosi dan memberikan dampak yang banyak. Untuk memperkirakan besarnya hasil sedimen dari suatu DAS, dilakukan perhitungan SDR (*Sediment Delivery Ratio*). Nilai SDR mendekati satu artinya semua tanah yang terangkut masuk ke dalam sungai. Kejadian ini hanya mungkin terjadi pada DAS atau Sub-DAS kecil dan yang tidak memiliki daerah-daerah datar, tetapi memiliki lereng-lereng curam, banyak butir-butir halus (liat) yang terangkut, memiliki kerapatan drainase yang tinggi, atau secara umum dikatakan tidak memiliki sifat yang cenderung menyebabkan pengendapan sedimen di atas lahan DAS tersebut. Nilai Sediment Delivery Ratio dapat dihitung dengan menggunakan rumus Boyce (1975 dalam Susilowati, 2014) yaitu :

$$SDR = 0,41 \times Adas^{-0.3} \quad (3)$$

dengan:

SDR = *Sediment Delivery Ratio*
 $Adas$ = Luas DAS (ha)

Besarnya jumlah hasil sedimen per satuan DAS per satuan waktu (dalam satuan ton/ha/th) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$SY = SDR \times E \quad (4)$$

dengan:

SY = Angkutan sedimen (ton/ha/tahun)
 SDR = *Sediment Delivery Ratio*
 E = Erosi lahan (ton/ha/tahun)

Total volume sedimen didapat dari konversi nilai laju sedimen dengan menggunakan persamaan:

dengan:

$$Vs = \frac{sy \times A}{BeratJenisSedimen} \quad (5)$$

Vs = Volume sedimen (m³/tahun)
 SY = Angkutan sedimen (ton/ha/tahun)
 A = Luas DAS (ha)

Kapasitas bangunan sabo dam adalah kemampuan bangunan dalam menampung, mengendalikan dan mengalirkan sedimen. Menurut Cahyono (2000) dalam menghitung besarnya kapasitas sabo dam, digunakan rumus sebagai berikut:

$$Va = 1,5 (0,67. i. h. B) \quad (6)$$

$$Vb = 1,5 (0,4. i. h. B) \quad (7)$$

dengan:

Va = Tampungan mati/tetap (m³)

- V_b = Tampungan kontrol (m^3)
 i = Kemiringan dasar sungai
 h = Tinggi efektif dam (m)
 B = Lebar efektif dam (m)

Metodologi Studi

Lokasi Penelitian

Penelitian ini meninjau bangunan sabo dam GE-C Gadingan yang berlokasi di antara Dusun Bronggang dan Dusun Gadingan Banaran, Desa Argomulyo, Kecamatan Cangkringan, Kabupaten Sleman, Yogyakarta. Lokasi bangunan ini terletak pada koordinat UTM, $X = 440889,365$; $Y = 9152783,349$.

Data Pengujian

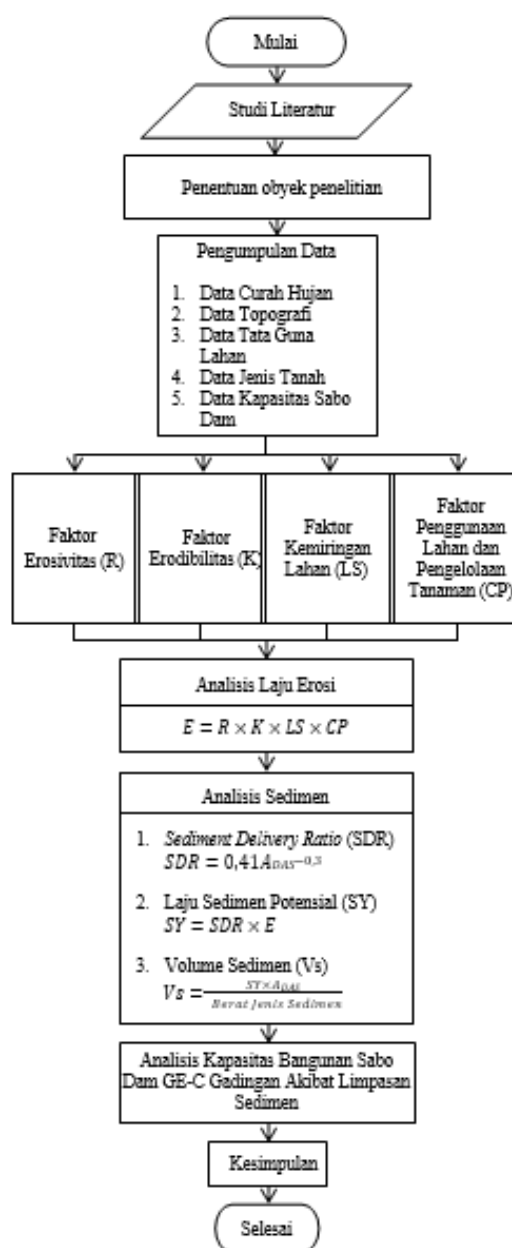
Data Pengujian menggunakan metode USLE dan software ArcGIS 10.1. Dalam memprediksikan besarnya laju erosi dan sedimentasi yang tertampung dalam bangunan sabo dam GE- C Gadingan, maka diperlukan beberapa data dimana data-data tersebut merupakan data-data sekunder. Data-data diperoleh dari beberapa instansi diantaranya sebagai berikut,

Tabel 1. Sumber data pengujian

No	Data	Sumber
1.	Data Curah Hujan (2010-2015)	Balai Sabo yang diambil dari stasiun Sorasan dan stasiun Ngandong.
2.	Data Topografi	Data topografi diperoleh dari Balai Sabo Yogyakarta dan PPK (Pejabat Pembuat Komitmen), berupa peta kontur dan peta kemiringan lahan
3.	Data Tata Guna Lahan	Data tata guna lahan diperoleh dari Balai Sabo Yogyakarta, berupa peta penutup tanah dan pengolaan tanah pada masing-masing penggunaan lahan tersebut.
4.	Data Jenis Tanah	Data jenis tanah diperoleh dari BPDAS Progo-Serayu-Opak, berupa peta jenis tanah pada DAS Progo
5.	Data Sabo DAM	Data sabo dam diperoleh dari Balai Sabo Yogyakarta dan PPK (Pejabat Pembuat Komitmen), berupa peta lokasi, koordinat sabo dam, kapasitas sabo dam sepanjang Sub-DAS Kali Gendol dan dimensi sabo dam GE-C Gadingan.

Tahap dan Prosedur Penelitian

Suatu penelitian harus dilakukan secara sistematis dan dengan urutan yang jelas serta teratur agar hasil yang diperoleh sesuai dengan yang diharapkan. Sehingga, pelaksanaan penelitian ini bisa dilihat pada Gambar 1 bagan alir sebagai berikut:



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Hasil Studi dan Pembahasan

Sub-DAS ini mencakup Desa Wukirsari, Glagaharjo, dan Argomulyo, Kecamatan Cangkringan, Kabupaten Sleman, Provinsi Jawa Tengah. Sub-DAS ini memiliki luas sebesar 1360,77 Ha.

Kondisi topografi pada daerah ini sangat dipengaruhi oleh adanya Gunung Merapi sehingga memiliki relief pegunungan dan lembah-lembah. Daerah ini memiliki karakteristik wilayah yang berpotensi menimbulkan resiko bencana oleh erupsi gunung api. Hal ini merupakan konsekuensi dari kondisi wilayah daerah tersebut secara geologis, geomorfologis, dan klimatis.

Pada analisis hidrologi ini dilakukan dengan mencari nilai curah hujan rerata wilayah menggunakan metode Thiessen. Terdapat 2 (dua) stasiun, yaitu Stasiun Sorasan dengan luas 4,315 km² (bobot 31,712 %) dan Stasiun Ngandong dengan luas 9,292 km² (bobot 68,288%) pada bulan 2010-2015. Kemudian, setelah didapatkan nilai curah hujan rerata wilayah, kemudian dihitung curah hujan bulanan rata-rata yang terjadi dengan menggunakan metode rerata.

Faktor erosivitas hujan dihitung dengan rumus Hudson (Sena, 2016) sebagai berikut:

$$R = 14,374 \bar{P}^{1,075}$$

dengan:

R = erosivitas hujan (ton/ha.cm)

Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Perhitungan nilai rata rata hujan P (mm) dan erosivitas hujan

Bulan	Tahun						P	R (ton/ha.cm)
	2010	2011	2012	2013	2014	2015		
Januari	491,45	476,13	394,57	787,76	563,44	525,00	539,73	1243,55
Februari	456,29	362,78	549,50	112,86	439,82	349,00	378,37	848,87
Maret	485,67	486,65	289,00	274,50	381,41	459,50	396,12	891,75
April	447,50	366,12	212,53	220,00	403,07	463,64	352,14	785,78
Mei	650,50	459,49	78,26	191,00	209,81	125,00	285,68	627,54
Juni	82,55	11,27	52,65	226,00	138,72	7,40	86,43	173,57
Juli	131,28	29,36	0,68	50,50	79,78	0,00	48,60	93,48
Agustus	166,62	5,80	0,00	13,04	1,00	0,57	31,17	57,99
September	474,93	14,99	2,73	14,34	0,00	0,00	84,50	169,41
Oktober	374,15	106,55	181,63	205,55	1,00	0,00	144,81	302,30
November	255,26	603,64	773,77	483,23	266,16	247,46	438,25	994,10
Desember	564,20	366,71	780,93	612,59	543,45	459,56	554,57	1280,36
Rata-rata							278,36	622,39

Faktor erodibilitas tanah di lokasi penelitian didasarkan pada tipe tanah yang ada yaitu dominan *association brown andosol and red brown latosol serta grey brown regosol*, dengan nilai erodibilitasnya adalah 0,271. Untuk tanah tipe complex grey regosol and lithosol, maka nilai erodibilitasnya sebesar 0,172.

Nilai kemiringan lereng (S) sangat menentukan indeks panjang lereng (LS). Nilai LS ditentukan dengan rumus berikut:

$$LS = \frac{L^{0,5}}{100(1,38+0,965S+0,138S^2)} \text{ jika } S < 20\%$$

$$LS = \left(\frac{L}{22,1}\right)^{0,6} \times \left(\frac{S}{9}\right)^{1,4} \text{ jika } S > 20\%$$

Dimana L adalah jarak rata-rata antar elevasi dan S adalah kemiringan

Contoh perhitungan untuk interval elevasi 500-600 m, dengan $L = 1735$ m dan $S = 5,8\%$, maka nilai LS sebesar:

$$LS = \frac{1735^{0,5}}{100(1,38+0,965 \times 5,8+0,138 \times 5,8^2)} = 4,8$$

Indeks penggunaan lahan dan pengelolaan tanaman (CP') dihitung dengan menggunakan bantuan software ArcGIS 10.1, untuk menentukan luasan masing-masing tata guna lahan tiap jarak elevasi atau interval. Contoh untuk mendapatkan nilai CP' untuk elevasi 500-600 m, dengan diketahui tata guna lahannya berupa *dry land* sebesar 3,26 Ha dan nilai $CP = 0,75$, *grass* sebesar 0,72 Ha dan nilai $CP = 0,07$, *plantation yard* sebesar 143,68 Ha dan nilai $CP = 0,40$ serta *residential area* sebesar 32,81 Ha dan nilai $CP = 0,60$.

$$CP \text{ total} = (3,26 \times 0,75) + (0,72 \times 0,07) + (143,68 \times 0,40) + (32,81 \times 0,60) = 79,66.$$

$$CP' = CP \text{ total} / \text{total area} = 79,66 / 180,47 = 0,44.$$

Setelah semua parameter telah didapatkan nilainya, maka dapat ditentukan prediksi laju erosi (E) nya.

Berikut adalah perhitungan prediksi laju erosi untuk elevasi 500-600 m:

$$E = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

$$E = R \times K \times LS \times CP$$

$$E = 622,39 \times 0,271 \times 4,8 \times 0,44$$

$$E = 356,228 \text{ Ton/Ha/Tahun}$$

Perhitungan potensi erosi tiap elevasi dapat ditunjukkan pada Tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 3. Rekapitulasi Potensi Erosi dengan *USLE*

No	Elevasi (m)	Luas (Ha)	R (Ton/Ha.cm)	K	LS	CP'	Erosi ($E = R \times K \times LS \times CP'$) (Ton/Ha/Tahun)
1	>2300	8,30	622,39	0,271	117,15	0,75	14.819,660
2	2300-2200	5,69	622,39	0,271	45,30	0,75	5.730,522
3	2200-2100	7,68	622,39	0,271	49,32	0,75	6.239,058
4	2100-2000	9,60	622,39	0,271	50,46	0,56	4.766,175
5	2000-1900	11,67	622,39	0,271	51,25	0,35	3.025,496
6	1900-1800	17,03	622,39	0,271	39,70	0,30	2.008,845
7	1800-1700	19,72	622,39	0,271	49,08	0,26	2.152,348
8	1700-1600	25,47	622,39	0,271	13,48	0,24	545,677
9	1600-1500	29,34	622,39	0,271	41,53	0,22	1.541,059
10	1500-1400	28,01	622,39	0,271	27,78	0,18	843,411
11	1400-1300	30,88	622,39	0,271	25,70	0,25	1.083,697
12	1300-1200	40,02	622,39	0,271	20,65	0,31	1.079,733
13	1200-1100	80,43	622,39	0,271	9,45	0,42	669,446
14	1100-1000	110,96	622,39	0,271	7,30	0,42	517,138
15	1000-900	113,20	622,39	0,172	8,46	0,44	398,490
16	900-800	114,07	622,39	0,172	6,96	0,45	335,286
17	800-700	159,21	622,39	0,172	6,62	0,47	333,081
18	700-600	166,86	622,39	0,271	5,61	0,47	444,729
19	600-500	180,47	622,39	0,271	4,80	0,44	356,228
20	500-412,5	202,16	622,39	0,271	4,00	0,34	229,390
TOTAL		1360,77					47119,470

Berikut ini perhitungan nilai *SDR* dan volume sedimen potensial:

Sediment Delivery Ratio (*SDR*)

$$SDR = 0,41 \times Adas^{-0,3}$$

$$SDR = 0,41 \times 1360,77^{-0,3}$$

$$SDR = 0,047$$

Laju Sedimen Potensial (*SY*)

$$SY = SDR \times 47.119,470$$

$$SY = 0,047 \times 47.119,470$$

$$SY = 2.214,615 \text{ Ton/Ha/Tahun}$$

Volume Sedimen Total (*Vs*)

Total volume sedimen didapat dari konfersi nilai laju sedimen potensial:

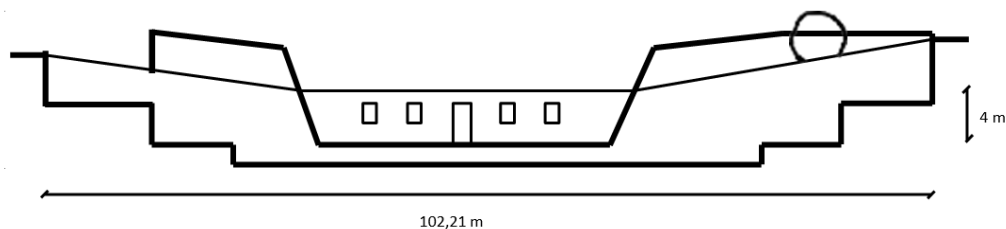
$$Vs = \frac{SY \times Adas}{\text{Berat Jenis Sedimen}}$$

$$Vs = \frac{2.214,615 \times 1.360,77}{2,66}$$

$$Vs = 1.132.925 \text{ m}^3/\text{Tahun}$$

Analisis Kapasitas Bangunan Sabo Dam Akibat Limpasan Sedimen

1. Sketsa Bangunan GE-C Gadingan:



Gambar 2. Sketsa Sabodam

Dengan:

Lebar dam = 102,21 m

Tinggi efektif dam = 4 m

$$\begin{aligned} \text{Kemiringan Sungai} &= \frac{H}{0,9 \times L} \\ &= \frac{2650 - 412,5}{0,9 \times 22000} \\ &= 11,3\% \end{aligned}$$

2. Kapasitas Bangunan Sabo Dam yang ada di sepanjang Sub-DAS Kali Gendol

Tabel 3. Data kapasitas sabodam (Balai sabo)

No	Nama Bangunan Sabo Dam	Kapasitas Bangunan (m ³)
1	GE D (Kaliadem)	49.500
2	GE D7 (Kaliadem)	386.000
3	GE D5 (Kaliadem)	444.000
4	GE D4	47.900
5	GE D3	117.900
6	GE D2	70.000
7	GE D (Kepuharjo)	100.500
8	GE C13	214.200
9	GE C12 (Ngancar)	111.200
10	GE C10 (Bakalan)	87.700
11	GE C (Cangkring I)	56.900
12	GE C (Bronggang)	52.600
	Total	1.738.400

Maka dapat dihitung:

1. Untuk menentukan kapasitasnya dalam mengontrol atau menampung sedimen tiap tahunnya dapat dihitung sebagai berikut:

- a. Tampungan Mati/Tetap (V_a)

$$\begin{aligned}
 &= 1,5 (0,67. i. h_2. B) \\
 &= 1,5 (0,67.11,3. 42. 102,21) \\
 &= 18.571,97 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

- b. Tampungan Kontrol (V_b)

$$\begin{aligned}
 &= 1,5 (0,4. i. h_2. B) \\
 &= 1,5 (0,4.11,3. 42. 102,21) \\
 &= 11.087,74 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

- c. Total Kapasitas GE-C Gadingan

$$\begin{aligned}
 &= V_a + V_b \\
 &= 18.571,97 + 11.087,74 \\
 &= 29.659,71 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

2. Untuk mengetahui besarnya volume sedimen yang terlimpas ke bangunan GE-C Gadingan adalah:

$$\begin{aligned}
 &= \text{Vol. Sedimen Total} - \sum \text{Kapasitas Bangunan Sabo} \\
 &= 1.132.925 - 1.738.400 \\
 &= -605475 \text{ m}^3/\text{Tahun}
 \end{aligned}$$

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data menggunakan metode USLE dan software ArcGIS 10.1, dapat diketahui dan disimpulkan sebagai berikut:

3. Laju erosi di Sub-DAS Kali Gendol dengan menggunakan metode USLE adalah sebesar 47.119,470 Ton/Ha/Tahun.
4. Besarnya volume sedimen yang terjadi pada Sub-DAS Kali Gendol adalah 1.132.925 m³/Tahun dan tidak ada yang akan terlimpas ke bangunan GE-C Gadingan yang memiliki daya tampung sebesar 29.659,71 m³.

Saran

1. Perlu dilakukan perhitungan dengan menggunakan metode lain sebagai pembanding agar memperoleh data yang bisa lebih akurat.
2. Berdasarkan hasil yang didapatkan, pengaruh erosi lahan di sekitar Sub-DAS Kali Gendol besar sehingga perlu dilakukan pengkajian lebih lanjut untuk meminimalisir kemungkinan terjadinya bencana sedimen di kemudian hari..
3. Dilakukan pemeliharaan terhadap bangunan sabo dam secara berkala agar fungsi bangunan bisa maksimal dan optimal.
4. Dilakukan sosialisasi terhadap penambang pasir agar tidak menambang pasir terlalu dekat dengan bangunan sabo dam karena itu dapat mengurangi stabilitas bangunan.

Daftar Referensi

- Cahyono, J., 2000. *Pengantar Teknologi Sabo*. Yayasan Teknologi Sabo.
- Hardjowigeno, S., 1995. *Ilmu Tanah* (1st Ed.). Jakarta Akademika Pressindo.
- Listriyana, I., 2006. *Pemetaan Daerah Rawan Bahaya Erosi Di Bagian Barat Daya Gunung Lawu Melalui Pendekatan Model Pixel Dan Sistem Informasi Geografi* (Sig. Universitas Negeri Semarang.
- Marseli, Y., 2015. *Analisis Laju Erosi Pada Daerah Tangkapan Waduk Sermo Menggunakan Metode Usle. Tugas Akhir*, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Sintanala, A., 1989. *Konservasi Tanah Dan Air* (H. Siregar (Ed.); 1st Ed.). Ipm Press.
- Soemarto, C., 1987. *Hidrologi Teknik* (1st Ed.). Surabaya : Usaha Nasional.
- Susilowati, Langlang Adi Pratama, D. K., & Darsono, S., 2014. *Perancangan Check Dam Pramuka Untuk Mengatasi Sedimentasi di Banjir Kanal Barat Kota Semarang*. Jurnal Karya Teknik Sipil, 3, 630–637.
- Triatmodjo, B., 2008. *Hidrologi Terapan*. In Beta Offset, Yogyakarta (2nd Ed., Vol. 59).