

Analisis Erosi Sub-DAS Bendungan Way Sekampung Berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG)

Agung Wasono^{1,*}, Yuli Kurnia Sari¹, Sri Sangkawati¹, Hari Nugroho¹

Departemen Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Semarang

Koresponden*, Email: agungwasono@pu.go.id

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	12 Januari 2023	<i>The Way Sekampung sub-watershed is one of the sub-watershed of the Sekampung Watershed which is the catchment area of the Way Sekampung Dam. The Way Sekampung Dam, like other dams in Indonesia, also has the potential cause sedimentation, given the land-use change conditions in upstream. Therefore, it is necessary to analyze the erosion and sedimentation rates that occur in the Way Sekampung Reservoir as one of the efforts in dam management to maintain the age of the dam. Erosion and sedimentation analysis used USLE method based on GIS. The results obtained in terms of the percentage of the area at risk of erosion show that the greatest risk of erosion is in mountainous areas with a relatively high slope, namely 54.95 km² (15.88%). The rate of erosion in the Way Sekampung Dam sub-watershed is 4.288.674,84 tons/year or 8,26 mm/year, while the potential for sediment to enter the reservoir is 1.275.070,36 tons/year or 2,46 mm /year.</i>
Diperbaiki	24 Maret 2023	
Disetujui	27 Maret 2023	

Keywords: land-use, way sekampung sub-watershed, usle, erosion rate, potential sedimentation

Kata kunci: tata guna lahan, sub-das way sekampung, usle, laju erosi, sedimentasi potensial

Abstrak

Sub-Daerah Aliran Sungai (sub-DAS) Way Sekampung adalah salah satu sub-DAS dari DAS Sekampung yang merupakan daerah tangkapan air dari Bendungan Way Sekampung. Bendungan Way Sekampung sebagaimana dengan bendungan lainnya di Indonesia juga berpotensi mempunyai masalah sedimentasi, mengingat kondisi tata guna lahan di hulu Bendungan Way Sekampung yang kian berubah. Oleh karena itu, perlu untuk menganalisis laju erosi dan sedimentasi yang terjadi di Waduk Way Sekampung sebagai salah satu upaya dalam pengelolaan bendungan untuk menjaga umur bendungan. Analisis erosi dan sedimentasi menggunakan metode *Universal Soil Loss Equation* (USLE) berbasis Sistem Informasi Geospasial (SIG) dan diperoleh hasil dengan persentase tingkat bahaya erosi berdasarkan luasannya, yang paling berat berada pada daerah pegunungan dengan tingkat kemiringan lereng yang cukup besar yaitu 54,95 km² (15,88%). Besarnya laju erosi pada Sub-DAS Bendungan Way Sekampung adalah 4.288.674,84 ton/tahun atau 8,26 mm/tahun, sedangkan sedimentasi potensial yang berpotensi masuk ke dalam tampungan adalah 1.275.070,36 ton/tahun atau 2,46 mm/tahun.

1. Pendahuluan

Pengelolaan sedimentasi waduk bendungan merupakan tantangan yang harus ditangani di tahun mendatang untuk memastikan keberlanjutan bendungan dan memperpanjang umur rencana waduk [1]. Hilangnya kapasitas bendungan dengan berbagai kondisi geografis terus meningkat dengan perkiraan pertambahan laju sedimentasi global sebesar 0,7%/tahun [2]. Sedimentasi merupakan proses pengendapan partikel-partikel tanah hasil erosi yang tersuspensi didalam air dan diangkut oleh aliran air dimana kecepatan aliran telah menurun [3]. Sedimentasi yang terjadi pada waduk dipengaruhi oleh fisiografi dan hidroklimatologi daerah tangkapan, aktivitas dan perilaku pemanfaatan lahan di daerah tangkapan serta pola operasi waduk [4].

Sedimentasi yang masuk ke dalam waduk merupakan hasil erosi yang terjadi pada Daerah Tangkapan Air (DTA) yang mengalir ke sungai dan masuk ke dalam waduk. Faktor

yang mempengaruhi erosi adalah karakteristik hujan, kemiringan lereng, tutupan lahan dan kemampuan tanah untuk menyerap dan melepas air ke dalam lapisan tanah dangkal, dampak dari erosi tanah dapat menyebabkan sedimentasi [5].

Dengan pertambahan penduduk, kebutuhan akan lahan pemukiman meningkat sehingga mengurangi tutupan lahan lainnya seperti sawah, perkebunan dan hutan yang menyebabkan terjadinya perubahan tutupan lahan. Perubahan tutupan lahan ini dapat terjadi di seluruh permukaan daratan tak terkecuali pada Sub-DAS Bendungan Way Sekampung yang berada pada DAS Sekampung Provinsi Lampung. Sub-DAS Way Sekampung merupakan Daerah Tangkapan Air (DTA) dari Bendungan Way Sekampung yang airnya dapat dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan sesuai dengan fungsinya sebagai *regulating dam* di hilir Bendungan Batutegei [6].

Besaran sedimentasi potensial rencana pada menurut Laporan Sertifikasi Desain Bendungan Way Sekampung Tahun 2016 sebesar 1.075.455,48 atau 2,07 mm/tahun [7]. Jika dilihat berdasarkan Peta Tutupan Lahan ESRI Tahun 2017 dan 2021 terjadi perubahan tutupan lahan pada Sub-DAS Bendungan Way Sekampung yaitu bertambahnya luasan daerah pemukiman sebesar +28,60%, perkebunan +49,80% dan berkurangnya luasan hutan sebesar -2,43%, daerah pertanian lahan kering -50,46%. Perubahan tutupan lahan terutama pada hutan dan daerah tertutup lainnya menjadi lahan-lahan terbuka, terdegradasi dan kritis sehingga menyebabkan terjadinya erosi [8]. Semakin meningkatnya laju erosi yang terjadi sehingga dapat menyebabkan semakin besarnya potensi sedimentasi yang akan masuk dan mengendap ke dalam waduk. Sedimentasi yang tidak terkendali dapat menyebabkan umur rencana dari bendungan berkurang dan fungsi dari bendungan dikhawatirkan tidak tercapai.

Oleh karena itu, perlu diketahui laju erosi yang terjadi dan potensi sedimentasi yang masuk ke dalam tampungan Waduk Way Sekampung agar pengelola bendungan dapat menjaga umur rencana dan tercapainya fungsi bendungan sesuai dengan yang direncanakan.

2. Metode

Data yang digunakan pada analisis ini yaitu berupa; data hujan bulanan Tahun 2009 sampai 2021 dari stasiun hujan R 067, R 072, PH 018 dan PH 015 yang diperoleh dari BBWS Mesuji Sekampung; Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) dari Badan Informasi Geospasial Tahun 2022; Peta Sub-DAS; Peta DEMNAS yang digunakan untuk membuat peta kemiringan lereng untuk menentukan faktor kemiringan lereng (LS) dari Badan Informasi Geospasial Tahun 2022; Peta jenis tanah berdasarkan Peta Jenis Tanah Balai Besar Sumberdaya Lahan Pertanian (BBSDLP) Kementerian Pertanian Tahun 2016; Peta tutupan lahan berdasarkan Peta Tutupan Lahan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Tahun 2019.

Analisis erosi dan sedimentasi

Analisis erosi dan sedimentasi pada studi ini menggunakan metode *Universal Soil Loss Equation* (USLE) berbasis Sistem Informasi Geospasial (SIG) sesuai dengan bantuan software ArcGIS. Metode USLE merupakan pemodelan yang banyak digunakan di seluruh dunia dengan alasan tingkat fleksibilitas dan aksesibilitas data tinggi, literatur ilmiah yang luas, dan dapat diterapkan hampir di semua kondisi [9].

Rumus *Universal Soil Loss Equation* (USLE) menggunakan Persamaan 1 [10]:

$$E_A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

Dimana; E_A = Jumlah tanah yang hilang rata-rata setiap tahun (ton/ha/tahun); R = Indeks daya erosi curah hujan (erosivitas hujan) (KJ/ha); K = Indeks kepekaan tanah terhadap erosi (erodibilitas tanah); LS = Faktor panjang (L) dan curamnya (S) lereng; C = Faktor tutupan lahan; P = Faktor usaha-usaha pencegahan erosi.

Erosivitas Hujan (R)

Nilai erosivitas hujan (R) dapat dihitung dengan mempergunakan Persamaan 2 [11]:

$$R = 2,21 R_m^{1,36} \quad (2)$$

Dimana; R = Erosivitas hujan bulanan (KJ/ha); R_m = Curah hujan bulanan (cm).

Erodibilitas Tanah (K)

Nilai erodibilitas tanah (K) dapat ditentukan dengan menggunakan nomograf yang telah dikembangkan oleh Wischmeier, dkk berdasarkan sifat-sifat tanah yang mempengaruhi terjadinya erosi [12]. Jenis tanah dan nilai K dapat dilihat pada **Tabel 1** [13][14].

Tabel 1. Jenis Tanah dan Faktor Erodibilitas (K)

No	Jenis Tanah	Nilai K
1	Andosol	0,23
2	Gleisol	0,20
3	Kambisol	0,21
4	Oksisol	0,03
5	Podsonik	0,12
6	Regosol	0,14

Panjang Lereng (L) dan Kemiringan Lereng (S)

Nilai kemiringan lereng (LS) diperoleh berdasarkan kelas lereng dan kemiringan lereng seperti pada **Tabel 2** [11].

Tutupan Lahan (C)

Nilai Tutupan lahan (C) merupakan nilai yang menunjukkan perbandingan antara besarnya aliran permukaan dan besarnya curah hujan yang merupakan salah satu indikator kondisi fisik suatu DAS yang berkisar antara 0 sampai dengan 1 [15]. Nilai C berdasarkan jenis tutupan lahan dapat dilihat pada **Tabel 3** [16].

Tabel 2. Penilaian Kelas Lereng dan Nilai LS

No	Kelas Lereng	Kemiringan Lereng	Nilai LS
1	I	0 - 8 %	0,4
2	II	5 - 15 %	1,4
3	III	15 - 25 %	3,1
4	IV	25 - 40 %	6,8
5	V	>40 %	9,5

Tabel 3. Jenis Tutupan Lahan dan Nilai C

No	Jenis Tutupan Lahan	Nilai C
1	Belukar	0,30
2	Belukar Rawa	0,01
3	Bandara	0,80
4	Hutan Lahan Kering Sekunder	0,01
5	Pemukiman	0,95
6	Perkebunan	0,40
7	Pertambangan	0,45
8	Pertanian Lahan Kering	0,28
9	Pertanian Lahan Kering Campur	0,19
10	Sawah	0,01
11	Tambak	0,001
12	Tanah Terbuka	0,95

Konservasi Tanah (P)

Nilai konservasi tanah (P) adalah nisbah antara besarnya erosi dari lahan dengan suatu tindakan konservasi tertentu terhadap besarnya erosi pada lahan tanpa tindakan konservasi. Nilai dasar P = 1 yang diberikan untuk lahan tanpa tindakan konservasi [5].

Tabel 4. Klasifikasi Bahaya Erosi

No	Kelas Bahaya Erosi	Laju Erosi (ton/ha/tahun)	Keterangan
1	I	<15	Sangat Ringan
2	II	15 - 60	Ringan
3	III	60 - 180	Sedang
4	IV	180 - 480	Berat
5	V	>480	Sangat Berat

Sedimentasi Potensial

Sedimentasi potensial dihitung menggunakan Persamaan 3 dan Persamaan 4 [5].

$$S_{pot} = SDR \times E_a \tag{3}$$

$$SDR = 0,5656 \cdot A^{-0,11} \tag{4}$$

Dimana, S_{pot} = Angkutan sedimen (ton/ha); SDR = *sediment delivery ratio*; E_a = Erosi lahan (ton/ha); A = Luas DAS (km²).

Kelas Bahaya Erosi dan Tingkat Bahaya Erosi

Kelas Bahaya Erosi (KBE) dan Tingkat Bahaya Erosi diklasifikasikan seperti pada **Tabel 4** [11].

Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah sistem komputer yang digunakan untuk memasukan (capturing), menyimpan, memeriksa, mengintegrasikan, memanipulasi, menganalisa dan menampilkan data-data yang berhubungan dengan posisi-posisi di permukaan bumi [17].

3. Hasil dan Pembahasan

Erosivitas Hujan (R)

Nilai erosivitas hujan dihitung menggunakan data curah hujan bulanan di stasiun hujan R 067, R 072, PH 018 dan PH 015 pada Tahun 2009 sampai dengan Tahun 2021. Hasil dari perhitungan erosivitas hujan dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Perhitungan Erosivitas Hujan

Tahun	Erosivitas Hujan (KJ/Ha)			
	R 067	R 072	PH 018	PH 015
2009	1.242,53	1.492,52	662,79	1.030,69
2010	1.893,96	1.893,96	1.392,69	2.013,09
2011	1.205,98	1.085,80	737,83	1.300,22
2012	2.660,20	1.406,46	882,83	852,85
2013	1.852,11	1.847,73	1.544,71	1.859,77
2014	1.777,70	1.622,76	1.073,61	1.009,86
2015	1.453,48	1.400,22	998,32	1.371,24
2016	2.524,39	1.652,70	1.408,07	2.009,81
2017	1.747,61	3.272,01	1.087,90	1.041,53
2018	1.503,92	1.839,62	1.087,34	972,93
2019	1.369,13	1.377,00	958,97	1.182,14
2020	1.905,06	1.920,75	1.426,37	1.728,24
2021	1.578,36	1.050,15	963,21	1.278,15
Rata-Rata	1.747,26	1.681,67	1.094,20	1.357,73

Selanjutnya untuk mengetahui daerah pengaruh dari setiap stasiun hujan pada Sub-DAS Bendungan Way Sekampung adalah dengan menggunakan Metode Thiessen, dapat dilihat pada **Tabel 6** dan **Gambar 1**.

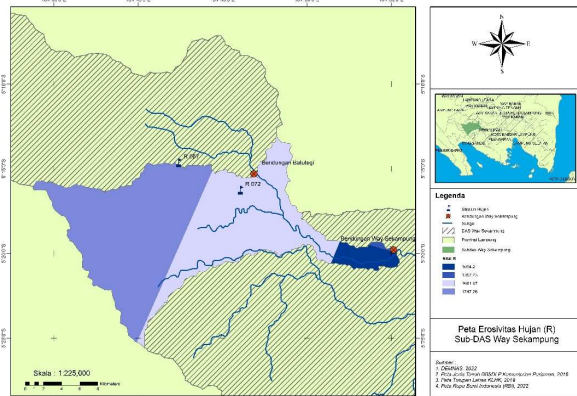
Erodibilitas Tanah (K)

Jenis tanah pada Sub-DAS Bendungan Way Sekampung yaitu andosol, kambisol, oksisol dan podsonik berdasarkan Peta Jenis Tanah Balai Besar Sumberdaya Lahan Pertanian

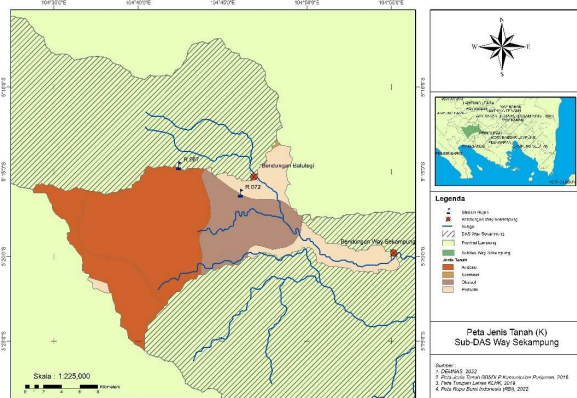
Kementerian Pertanian Tahun 2016. Nilai erodibilitas tanah diambil berdasarkan jenis tanah sesuai dengan **Tabel 1**, dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Tabel 6. Daerah Pengaruh Metode Thiessen

Stasiun Hujan	Luasan Daerah Pengaruh (Km ²)	Persentase Daerah Pengaruh (%)
R.067	184,02	53,19
R.072	144,84	41,86
PH.0015	15,99	4,62
PH.0018	1,15	0,33
	346,00	100,00



Gambar 1. Peta Erosivitas Hujan Sub-DAS Bendungan Way Sekampung

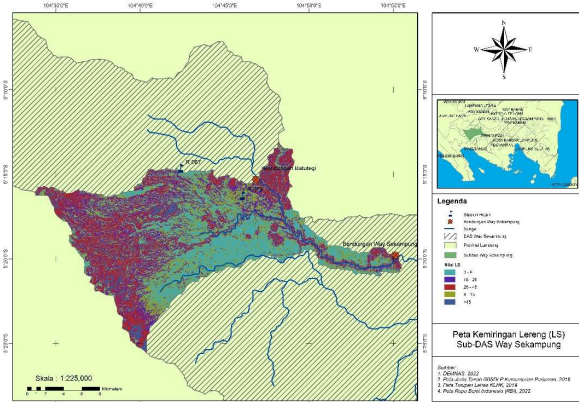


Gambar 2. Peta Jenis Tanah Sub-DAS Bendungan Way Sekampung

Panjang Lereng (L) dan Kemiringan Lereng (S)

Peta kemiringan lahan pada Sub-DAS Bendungan Way Sekampung diperoleh berdasarkan peta DEMNAS Tahun

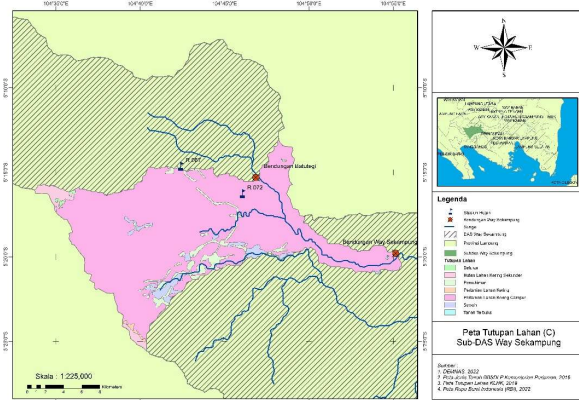
2022 yang selanjutnya dilakukan analisis menggunakan *software* ArcGIS dan memasukan nilai LS sesuai dengan **Tabel 2**. Peta kemiringan lahan pada Sub-DAS Bendungan Way Sekampung dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Peta Kemiringan Lereng Sub-DAS Bendungan Way Sekampung

Tutupan Lahan (C)

Kondisi tutupan lahan pada Sub-DAS Bendungan Way Sekampung yaitu berupa hutan lahan kering sekunder, belukar, pemukiman, pertanian lahan kering sawah dan tanah terbuka, dan didominasi oleh pertanian lahan kering campur berdasarkan Peta Tutupan Lahan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Tahun 2019, dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Peta Tutupan Lahan Sub-DAS Bendungan Way Sekampung

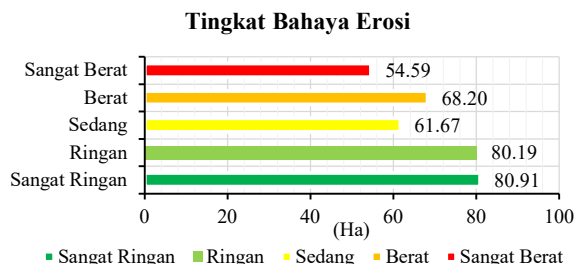
Konservasi Tanah (P)

Nilai konservasi tanah (P) pada Sub-DAS Way Sekampung adalah 1,00 karena tidak dilakukannya konservasi tanah atau lahan pada sub-DAS tersebut.

Laju Erosi dan Sedimentasi Potensial

Hasil dari analisis laju erosi dan sedimentasi potensial dengan metode USLE berbasis SIG menggunakan Persamaan (1) dapat dilihat pada **Tabel 7**.

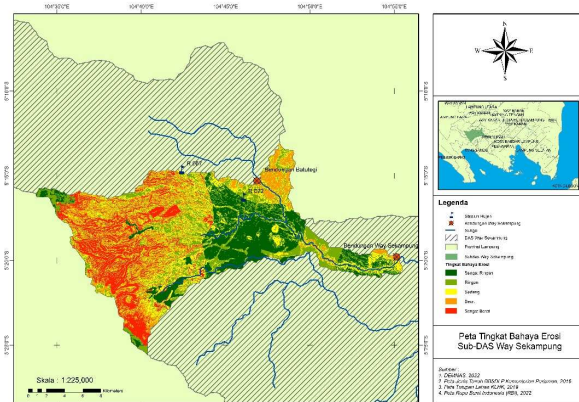
Berdasarkan nilai laju erosi yang terjadi dapat dibuat Peta Tingkat Bahaya Erosi berdasarkan klasifikasi kelas dan tingkat bahaya erosi pada **Tabel 4**. Peta Tingkat Bahaya Erosi dapat dilihat pada **Gambar 6**. Sedangkan rekapitulasi luasan daerah berdasarkan tingkat bahaya erosi dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Luasan Daerah Tingkat Bahaya Erosi

Tabel 7. Hasil Analisis Laju Erosi dan Sedimentasi

No	Luas						Laju Erosi (Ea)		SDR	Sedimentasi Potensial	
	(A)	R	K	LS	C	P	ton/ha/thn	ton/thn			
1	0,00	1.747,26	0,23	3,10	0,95	1,00	1.183,51	2,23	0,30	0,66	
2	0,04	1.747,26	0,23	3,10	0,19	1,00	236,70	9,32	0,30	2,77	
3	1,95	1.747,26	0,23	6,80	0,19	1,00	519,22	1.014,66	0,30	301,67	
4	0,02	1.747,26	0,23	6,80	0,19	1,00	519,22	9,63	0,30	2,86	
5	0,01	1.747,26	0,23	1,40	0,95	1,00	534,49	4,01	0,30	1,19	
6	0,04	1.747,26	0,23	1,40	0,95	1,00	534,49	18,74	0,30	5,57	
7	0,16	1.747,26	0,23	1,40	0,19	1,00	106,90	17,61	0,30	5,24	
8	0,02	1.747,26	0,23	1,40	0,95	1,00	534,49	9,92	0,30	2,95	
9	0,01	1.747,26	0,23	6,80	0,19	1,00	519,22	6,76	0,30	2,01	
10	0,01	1.747,26	0,23	0,40	0,19	1,00	30,54	0,17	0,30	0,05	
11	1,57	1.747,26	0,23	1,40	0,19	1,00	106,90	167,65	0,30	49,85	
12	0,02	1.747,26	0,23	3,10	0,19	1,00	236,70	4,39	0,30	1,31	
13	0,01	1.747,26	0,23	3,10	0,19	1,00	236,70	1,76	0,30	0,52	
14	0,89	1.747,26	0,23	6,80	0,19	1,00	519,22	461,53	0,30	137,22	
15	0,19	1.747,26	0,23	6,80	0,19	1,00	519,22	97,03	0,30	28,85	
16	0,09	1.747,26	0,23	6,80	0,19	1,00	519,22	46,35	0,30	13,78	
17	0,00	1.747,26	0,23	1,40	0,19	1,00	106,90	0,38	0,30	0,11	
18	0,01	1.747,26	0,23	0,40	0,19	1,00	30,54	0,23	0,30	0,07	
19	0,05	1.747,26	0,23	3,10	0,19	1,00	236,70	13,01	0,30	3,87	
20	0,21	1.747,26	0,23	1,40	0,19	1,00	106,90	21,97	0,30	6,53	
21	0,01	1.747,26	0,23	0,40	0,19	1,00	30,54	0,34	0,30	0,10	
22	0,02	1.747,26	0,23	1,40	0,19	1,00	106,90	1,86	0,30	0,55	
19	0,05	1.747,26	0,23	3,10	0,19	1,00	236,70	13,01	0,30	3,87	
20	0,21	1.747,26	0,23	1,40	0,19	1,00	106,90	21,97	0,30	6,53	
23	0,01	1.747,26	0,23	0,40	0,19	1,00	30,54	0,23	0,30	0,07	
24	0,01	1.747,26	0,23	0,40	0,19	1,00	30,54	0,23	0,30	0,07	
25	0,02	1.747,26	0,23	0,40	0,19	1,00	30,54	0,63	0,30	0,19	
26	0,00	1.747,26	0,23	0,40	0,19	1,00	30,54	0,11	0,30	0,03	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
70662	0.23	1.681.67	0.03	1.40	0.19	1.00	13.42	3.07	0.30	0.91	
70663	0.23	1.681.67	0.12	1.40	0.19	1.00	53.68	12.26	0.30	3.65	
							ton/thn	4.288.674,84	1.275.070,36		
							ton/ha/thn	123,95	36,85		
							m ³ /ha/thn	82,63	24,57		
							m ³ /thn	2.859.116,56	850.046,91		
							mm/thn	8,26	2,46		
Jumlah	34.600,00										



Gambar 6. Peta Tingkat Bahaya Erosi

4. Simpulan

Persentase tingkat bahaya erosi berdasarkan luasannya yaitu Sangat Ringan 80,91 km² (23,39%), Ringan 80,19 km² (23,39%), Sedang 61,76 km² (17,85%), Berat 68,20 km² (19,71%), dan Sangat Berat 54,95 km² (15,88%). Pada daerah tingkat bahaya erosi dengan klasifikasi berat dan sangat berat berada pada daerah pegunungan dengan tingkat kemiringan lereng yang cukup besar.

Besaran laju erosi yang terjadi pada Sub-DAS Bendungan Way Sekampung adalah 4.288.674,84 ton/tahun atau 8,26 mm/tahun. Sedangkan besaran sedimentasi potensial yang berpotensi masuk ke dalam tampungan adalah 1.275.070,36 ton/tahun atau 2,46 mm/tahun. Besaran sedimentasi potensial ini meningkat jika dibandingkan dengan data sedimentasi potensial rencana pada tahun 2016 yaitu 1.075.455,48 atau 2,07 mm/tahun.

Daftar Pustaka

- [1] Annandale, G.W., Morris, G.L., and Karki, P., *Extending the Life of Reservoirs: Sustainable Sediment Management for Dams and Run-of-River Hydropower*, The World Bank, 2016.
- [2] ICOLD Committee on Reservoir Sedimentation, *Sedimentation and Sustainable Use*. 2009.
- [3] Tjakrawarsa, G., Adi, R.N. and Supangat, A.B., "Teknik Pengukuran Hasil Sedimen", Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Jakarta, 2014.
- [4] Moerwanto, A.S. and W.M., Putuhena, *Pedoman Pengelolaan dan Pengukuran Sedimen*, Pusat Litbang

Sumber Daya Air, Bandung, 2010.

- [5] Suripin, *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*, Yogyakarta: Penerbit Andi, 2002.
- [6] Arbi and S. D., Ramdan, "Proyek Pembangunan Bendungan Way Sekampung (Paket IV)," *Jurnal Ilmu Teknik*, vol. 1, no. 2. 2021.
- [7] BBWS Mesuji Sekampung, "Laporan Sertifikasi Desain Bendungan Way Sekampung," Lampung, 2016.
- [8] Salim, A.G., Dharmayan, I.W.S., and Narendra, B.H., "Pengaruh Perubahan Luas Tutupan Lahan Hutan Terhadap Karakteristik Hidrologi DAS Citarum Hulu," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol.17, no. 2. 2019
- [9] Alewell, C., Borelli, P., Meusburger, K., and Panagos, P., "Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling," *International Soil and Water Conservation Research* 7. 2019.
- [10] W. H. Wischmeier and D. Smith, *Predicting Rainfall Erosion Losses : A Guide to Conservation Planning*, Handbook N. USA, USDA Agriculture, 1978.
- [11] Kementerian Kehutanan Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Tata Cara Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan dan Lahan Daerah Aliran Sungai*, Jakarta, 2009.
- [12] Asdak C., *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 1995.
- [13] Hammer,W.I, "A. Soil Degradation Assesment Metodology Soil Conservation Consultan Report", INS/78/006. Technical Note No. 7 CRS. Bogor, 1980.
- [14] Undang, K., dan Suwardjo, "Kepekaan Beberapa Jenis Tanah di Jawa Menurut Metode USLE" *Pengembangan dan Penelitian Tanah dan Pupuk*. Pusat Penelitian Tanah, Bogor, 1984.
- [15] Suripin, *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*, Yogyakarta, 2004.
- [16] Isma, F., Tarigan, A.P.M., "Analisa Potensi Erosi pada DAS Deli Menggunakan SIG", Sumatera Utara, 2018.
- [17] Prahasta, Eddy., *Konsep-Konsep Dasar Sistem Informasi Geografis*, Penerbit Informatika Bandung, Bandung, 2001.