

KAJIAN *SEDIMEN DELIVERY RATIO* BENDUNGAN BENER KABUPATEN PURWOREJO

Nur Ariva Sabila^{1*}, Bambang Yulistiyanto², Djoko Legono³

^{1,2,3} Jurusan Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Bulaksumur, Caturtunggal, Kec. Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta

*Email: sabilsabila13@gmail.com

Abstrak

Bendungan Bener direncanakan untuk memenuhi kebutuhan irigasi, air baku dan PLTA di Provinsi Jawa Tengah dan DI Yogyakarta. Tampungan efektif waduk direncanakan sebesar 68,34 juta m³. Waduk merupakan badan air yang mudah mengalami kerusakan akibat erosi. Erosi yang masuk dan mengendap di waduk disebut sebagai sedimen. Sediment Delivery Ratio (SDR) merupakan metode untuk memprediksi hasil sedimen di waduk. Penelitian ini menggunakan 12 persamaan empiris. Hasil analisis diperoleh rentang nilai SDR antara 0,013 sampai 0,707.

Kata kunci: *Waduk, Sediment Delivery Ratio, Erosi*

PENDAHULUAN

Arsyad (2010) menjelaskan bahwa badan air seperti danau, waduk, *reservoir* dan sungai yang merupakan sumber air bagi kehidupan manusia, mudah mengalami kerusakan. Kerusakan sumber air dapat berupa hilang atau mengeringnya mata air serta menurunnya kualitas air yang berhubungan erat dengan peristiwa erosi. Masuk dan mengendapnya sedimen di dalam badan air secara berlebihan akan menyebabkan pendangkalan badan air yang mengakibatkan hilang atau berkurangnya fungsi sumber air.

Salah satu waduk di Indonesia yang mengalami penurunan fungsi sumber air yaitu Waduk Kedung Ombo. Hardiyanto (2014) menyebutkan hasil studi Waduk Kedung Ombo menunjukkan laju sedimentasi rata-rata per tahun sebesar 0,87 juta m³, dengan perkiraan usia waduk hingga tahun 2094. Sedangkan dari hasil pengukuran *echosounding* tahun 2012 menunjukkan laju sedimentasi per tahun sebesar 1,48 juta m³, dengan perkiraan usia waduk hingga tahun 2061. Dari data tersebut bisa disimpulkan bahwa dalam kurun waktu 9 tahun telah terjadi penurunan usia waduk sebesar 33 tahun.

Oleh karena itu, penulis ingin mengkaji *Sediment Delivery Ratio* (SDR) untuk Daerah Tangkapan Hujan (DTH) Bendungan Bener, agar dapat memprediksi sedimen yang masuk ke dalam waduk.

METODOLOGI

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada lokasi Daerah Tangkapan Hujan (DTH) Bendungan Bener yang mencakup Kabupaten Purworejo dan Kabupaten Wonosobo. Bendungan Bener dibangun di Daerah Aliran Sungai (DAS) Bogowonto. Bendungan Bener direncanakan dengan membendung Sungai Bogowonto dengan lokasi bendungan terletak di Desa Guntur, Kecamatan Bener, Kabupaten Purworejo. Lokasi bendungan terletak pada 12 km ke arah utara dari Kota Purworejo.

Landasan Teori

Pada umumnya sedimen yang tererosi tidak seluruhnya terangkut masuk ke dalam sungai atau terbawa ke suatu tempat disebabkan karena ada sebagian dari tanah yang menjadi sedimen lalu terendapkan pada suatu tempat di permukaan tanah. Nisbah antara jumlah sedimen yang terangkut ke dalam sungai terhadap jumlah erosi yang terjadi di dalam DAS disebut *sediment delivery ratio* (SDR). Nilai SDR berkisar antara 0 sampai 1, apabila nilai SDR mendekati satu artinya semua tanah yang terangkut erosi 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 yang terangkut, memiliki kerapatan drainase yang tinggi atau secara umum

dikatakan tidak memiliki sifat yang cenderung menyebabkan pengendapan sedimen di atas lahan DAS tersebut (Arsyad, 2010).

Besarnya nilai SDR dipengaruhi oleh beberapa faktor. Asdak (2010) menjelaskan bahwa yang mempengaruhi SDR meliputi sumber sedimen yang berasal dari DAS, jarak sumber ke waduk, sistem transport, tekstur partikel-partikel tanah yang tererosi, lokasi desposisi sedimen dan karakteristik DAS.

SDR juga dipengaruhi oleh faktor hidrologi (curah hujan), karakteristik bentang alam (misalnya, vegetasi, topografi, dan tanah) dan interaksi yang kompleks yang lain (Walling, 1983 dalam Ollie, 2015). Menurut Asdak (2010) yang mempengaruhi SDR meliputi sumber sedimen yang berasal dari DAS, jarak sumber ke waduk, sistem transport, tekstur partikel-partikel tanah yang tererosi, lokasi desposisi sedimen dan karakteristik DAS.

Persamaan SDR telah banyak dikembangkan dalam berbagai penelitian. Persamaan SDR ditentukan berdasarkan pengaruh karakteristik DAS. Berikut beberapa persamaan SDR yang telah diteliti meliputi:

- 1) Manner (1958) dalam Walling (1983) meneliti persamaan SDR yang dikembangkan dari hubungan antara SDR dengan *relief basin* dan panjang basin berdasarkan data dari Kansas, Amerika Serikat dan merumuskan persamaan SDR sebagai berikut:

$$\text{Log (SDR)} = 2.962 + 0.869 \log R_b - 0.854 \log L \quad (1)$$

dengan:

SDR = *Sediment Delivery Ratio*
 R_b = *Relief basin* (mil)
 L = *Panjang basin* (mil)

Dari penelitian Manner tersebut, didapatkan bahwa hubungan antara SDR dengan *ratio relief* dan panjang *basin* lebih baik dari faktor-faktor lain (Ouyang dan Bartholic, 1997 dalam Nifen, 2014).

- 2) Roehl (1962) dalam Walling (1983), meneliti persamaan SDR berdasarkan data dari 15 DAS di daerah Southeastern, Texas, Amerika Serikat. Dari penelitian ini Roehl merumuskan SDR sebagai persamaan berikut:

$$\text{Log (SDR)} = 4,5 - 0,23 \log 10A - 0,510 \text{ CoLog } R_b/L - 2,786 \log B_r \quad (2)$$

dengan:

SDR = *Sediment Delivery Ratio*
 A = Luas DAS (mil^2)
 R_b = *Relief basin* (mil)
 L = *Panjang basin* (mil)
 B_r = *Bifurcation Ratio*

- 3) Manner (1962) dalam Chang (2012) merumuskan persamaan SDR melalui hubungan antara SDR dan luas DAS menggunakan data luas DAS Blackland Prairie, Texas, Amerika Serikat. Persamaan SDR yang dihasilkan sebagai berikut:

$$\text{Log (SDR)} = 1.8768 - 0.14191 \log (3.861 A) \quad (3)$$

dengan:

SDR = *Sediment Delivery Ratio*
 A = Luas DAS (km^2)

- 4) William dan Berndt (1972) dalam Walling (1983) merumuskan SDR yang diperoleh berdasarkan data dari 5 DAS di Brushy Creek, Texas, Amerika Serikat. Persamaan yang dihasilkan sebagai berikut:

$$\text{SDR} = 0,627 S_{LP}^{0,403} \quad (4)$$

dengan:

SDR = *Sediment Delivery Ratio*
 S_{LP} = *Slope saluran utama (%)*

- 5) Vanoni (1975) dalam Ouyang dan Bartholic (1997) merumuskan SDR berdasarkan data dari 300 DAS yang tersebar di seluruh dunia. Persamaan yang dihasilkan sebagai berikut:

$$SDR = 0.42 A^{-0.125} \quad (5)$$

dengan:

SDR = *Sediment Delivery Ratio*
A = Luas DAS (mil^2)

- 6) Renfro merumuskan 2 persamaan SDR yang berbeda. Persamaan pertama merupakan pengembangan dari persamaan Manner (1958). Persamaan dimodelkan berdasarkan hubungan antara SDR dengan luas DAS ($R^2 = 0,97$). Persamaan yang dihasilkan sebagai berikut:

$$\text{Log}(SDR) = 2.94259 + 0.82362 \log(R_b/L) \quad (6)$$

dengan:

SDR = *Sediment Delivery Ratio*
 R_b = *Relief basin (km)*
L = *Panjang basin (km)*

- 7) Renfro (1975) dalam Ouyang dan Bartholic (1997) merumuskan SDR berdasarkan pengembangan dari persamaan Manner (1958). Persamaan dimodelkan berdasarkan hubungan antara SDR dengan luas DAS ($R^2 = 0,92$). Data sedimentasi yang digunakan diambil dari 14 DAS di Blackland Prairie, Texas, Amerika Serikat. Persamaan yang dihasilkan sebagai berikut:

$$\text{Log}(SDR) = 1.7935 - 0.14191 \log(A) \quad (7)$$

dengan:

SDR = *Sediment Delivery Ratio*
A = Luas DAS (km^2)

- 8) Boyce (1975) dalam Suripin (2002) merumuskan SDR berdasarkan data luas DAS. Persamaan yang dihasilkan sebagai berikut:

$$SDR = 0.41 A^{-0.3} \quad (8)$$

dengan:

SDR = *Sediment Delivery Ratio*
A = Luas DAS (mil^2)

- 9) William (1977) merumuskan SDR berdasarkan data dari 15 sub DAS di Little Elm Creek, Amerika Serikat. Persamaan SDR dimodelkan berdasarkan hubungan antara luas DAS, relief dan panjang basin serta *run off curve number* dengan $R^2 = 0,70$. Persamaan yang dihasilkan sebagai berikut:

$$SDR = 4.40 \times 10^{-12} (A)^{-0.217} (R_b/L)^{0.3940} (CN)^{5.680} \quad (9)$$

dengan:

SDR = *Sediment Delivery Ratio*
A = Luas DAS (mil^2)
 R_b = *Relief basin (m)*
L = *Panjang basin (km)*
CN = *SCS Curve Number*

- 10) William (1977) merumuskan SDR berdasarkan data dari 15 DAS di Amerika Serikat. Persamaan SDR dimodelkan berdasarkan hubungan antara luas DAS, relief dan panjang basin serta *run off curve number* dengan $R^2 = 0,93$. Persamaan yang dihasilkan sebagai berikut:

$$SDR = 1.366 \times 10^{-11} (A)^{-0.0998} (Rb/L)^{0.3629} (CN)^{5.444} \quad (10)$$

dengan:

SDR = *Sediment Delivery Ratio*
A = Luas DAS (km²)
R_b = Relief basin (m)
L = Panjang basin (km)
CN = *SCS Curve Number*

- 11) Auerwald (1992) dalam Suripin (2002) merumuskan persamaan SDR berdasarkan data dari DAS Bavarian. Persamaan yang dihasilkan sebagai berikut:

$$SDR = -0.02 + 0.385 A^{-0.2} \quad (11)$$

dengan:

SDR = *Sediment Delivery Ratio*
A = Luas DAS (mil²)

- 12) Suripin (1998) merumuskan persamaan SDR berdasarkan pengukuran di hulu DAS Solo pada daerah tangkapan Waduk Wonogiri. Persamaan SDR yang dihasilkan berupa hubungan antara parameter kerapatan drainase (D_d), *slope* sungai utama (S_{LP}), Persentase hutan dan sawah (F_L dan F_W). Persamaan yang dihasilkan sebagai berikut:

$$\log (SDR) = 2,31 + 3,07 \log D_d + 0,41 \log S_{LP} - 1,26 \log (F_L + F_W) \quad (12)$$

dengan:

SDR = *Sediment Delivery Ratio*
 D_d = Kerapatan drainase/ *drainage density*
 S_{LP} = *Slope* sungai utama (%)
 $F_L + F_W$ = Persentase hutan dan sawah (%)

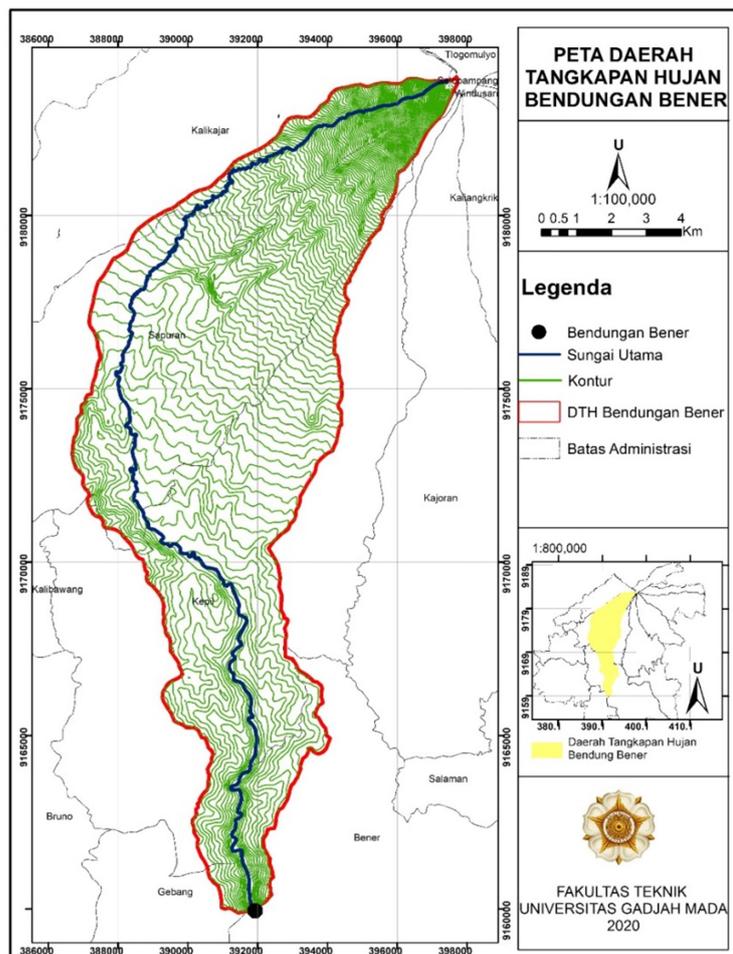
1.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan sebagai berikut:

1. Studi literatur dan pengumpulan data sekunder berupa data peta-peta pada DAS Bogowonto, diantaranya meliputi peta DAS, peta kontur, peta percabangan sungai, peta penggunaan lahan dan peta jenis tanah.
2. Analisis data untuk mendapatkan karakteristik DTH Bendungan Bener yang meliputi luas basin (A), panjang basin (L), *relief basin* (Rb), *slope* sungai utama (SLP), *bifurcation ratio* (Br), *drainage density* (Dd), indeks *SCS curve number* (CN) serta persentase hutan dan sawah (FL dan FW).
3. Analisis *Sediment Delivery Ratio* (SDR) menggunakan 12 persamaan empiris.
4. Pembahasan.
5. Kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis peta DAS Bogowonto didapat peta DTH Bendungan Bener yang terlihat pada Gambar 1. *Sediment delivery ratio* (SDR) empiris dihitung dengan 12 persamaan yang berbeda. Setiap persamaan dihitung dengan menggunakan karakteristik DTH Bendungan Bener. Hasil analisis karakteristik DTH Bendungan Bener sebagai berikut:



Gambar 1. DTH Bendungan Bener

Luas Basin (A)

Berdasarkan pengolahan data menggunakan *software Arc.GIS*, diperoleh luas basin DTH Bendungan Bener seluas 113,97 km² atau 11397,08 ha. Luas basin yang diperoleh tergantung dari sumber peta dan digitasi peta, sehingga tidak akan sama persis dengan hasil perhitungan peneliti lain.

Panjang Basin (L)

Panjang basin merupakan panjang sungai utama pada DTH Bendungan Bener. Panjang basin diperoleh sepanjang 37,08 km.

Relief Basin (Rb)

Relief basin dihitung menggunakan nilai elevasi tertinggi dan nilai elevasi terendah pada DTH Bendungan Bener. Nilai elevasi tertinggi yang didapat yaitu +3284 m sedangkan elevasi terendah yang didapat yaitu +248 m. Sehingga $relief\ basin = (+3284) - (+248) = +3036\ m$.

Drainage Density (Dd)

Nilai *drainage density* dihitung menggunakan data panjang jaringan sungai dan luas DTH yang diperoleh dengan *software Arc.GIS*. Panjang jaringan sungai adalah total panjang jaringan sungai yang ada di DTH Bendungan Bener. Total panjang jaringan sungai didapat sepanjang 346,876 km. Nilai D_d adalah total panjang jaringan sungai dibagi dengan luas DTH. Jadi, $D_d = 346,876 / 113,97 = 3,043\ km/km^2$.

Slope Sungai Utama (S_{LP})

Nilai *slope* sungai utama dihitung menggunakan data panjang sungai utama, elevasi sungai utama paling hulu dan elevasi sungai utama paling hilir. Elevasi sungai utama paling hulu yaitu +3280 m sedangkan elevasi sungai utama paling hilir yaitu +248 m. *Slope* sungai utama adalah perbedaan elevasi sungai utama dibagi dengan panjang sungai utama. Nilai S_{LP} didapat sebesar 8,18 %.

Bifurcation Ratio (Br)

Bifurcation ratio atau percabangan sungai dihitung berdasarkan urutan orde sungai. Orde sungai merupakan posisi percabangan dari alur sungai yang di dalamnya terdapat urutan terhadap sungai utama pada suatu DAS. *Bifurcation ratio* merupakan perbandingan jumlah alur sungai pada orde ke- u dan orde ke- $(u+1)$. Hasil perbandingan orde sungai tersebut lalu direrata untuk mendapatkan nilai *bifurcation ratio*. Berikut tabel yang menjabarkan hasil perhitungan *bifurcation ratio*.

Tabel 1. Hasil Analisis Nilai *Bifurcation Ratio* (Br)

Orde Sungai	Jumlah Alur	<i>Bifurcation Ratio</i> (Br)
1	179	6,39
2	28	28,00
3	1	-
Rata-Rata <i>Bifurcation Ratio</i> (Br)		17,20

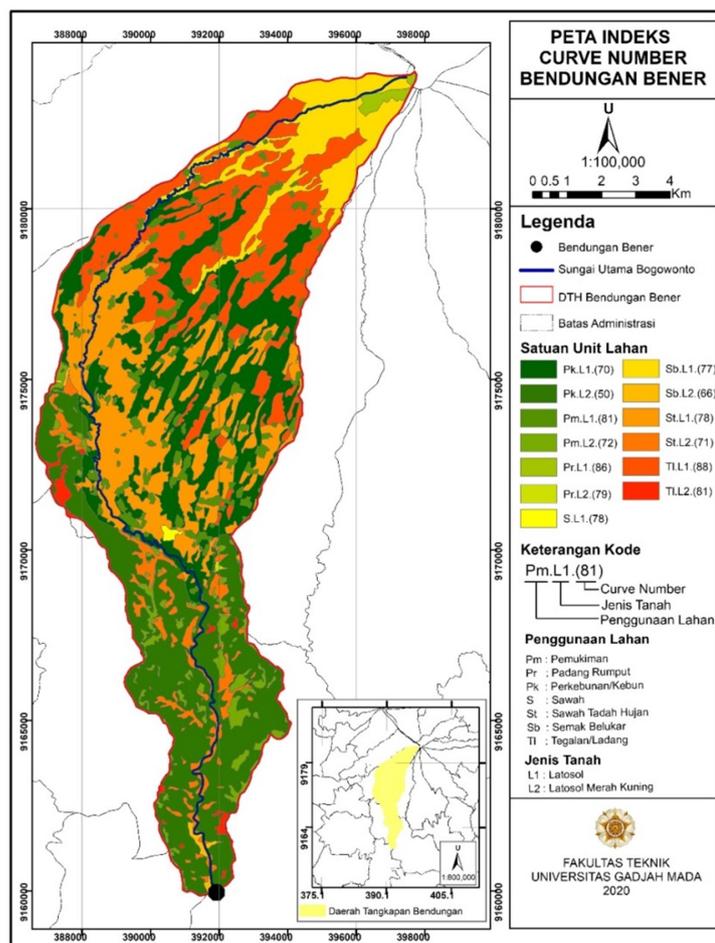
Berdasarkan perhitungan, didapat nilai Br sebesar 17,20 yang menunjukkan bahwa nilai Br masuk dalam klasifikasi $Br > 5$ yang berarti alur sungai mempunyai kenaikan muka air banjir dengan cepat demikian pula dengan penurunannya berjalan dengan cepat.

Indeks SCS Curve Number

Nilai indeks SCS CN diperoleh dengan *overlay* peta penggunaan lahan dan peta jenis tanah yang menghasilkan peta indeks SCS CN untuk DTH Bendungan Bener. Jenis tanah pada DTH Bendungan Bener diantaranya latosol dan latosol kuning kemerahan. Untuk menentukan nilai CN pada masing-masing jenis tanah, dilakukan dengan mencocokkan jenis tanah dan tata guna lahan pada tanah tersebut. Peta SCS CN dapat dilihat pada Gambar 2. Hasil dari penggolongan kelompok tanah dan penentuan indeks SCS CN pada DTH Bendungan Bener akan dijabarkan pada tabel berikut:

Tabel 2. Hasil Analisis Indeks SCS CN DTH Bendungan Bener

No	Tata Guna Lahan	Jenis Tanah	Kelompok Hidrologi Tanah	CN
1	pemukiman	latosol	C	81
2	pemukiman	latosol merah kuning	B	72
3	padang rumput	latosol	C	86
4	padang rumput	latosol merah kuning	B	79
5	perkebunan	latosol	C	70
6	perkebunan	latosol merah kuning	B	55
7	sawah	latosol	C	78
8	sawah tadah hujan	latosol	C	78
9	sawah tadah hujan	latosol merah kuning	B	71
10	semak belukar	latosol	C	77
11	semak belukar	latosol merah kuning	B	66
12	tegalan/ladang	latosol	C	88
13	tegalan/ladang	latosol merah kuning	B	81



Gambar 2. Peta Indeks CN DTH Bendungan Bener

Persentase Hutan dan Sawah (F_L dan F_W)

Nilai persentase hutan dan sawah diperoleh dari peta penggunaan lahan DTH Bendungan Bener. Dari hasil perhitungan diperoleh persentase hutan sebesar 0% dikarenakan tidak ada hutan pada DTH Bendungan Bener. Sedangkan persentase sawah diperoleh sebesar 21,24 %.

Hasil Analisis *Sediment Delivery Ratio* (SDR)

Hasil analisis *Sediment delivery ratio* untuk DTH Bendungan Bener akan dijabarkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Analisis *Sediment Delivery Ratio* (SDR)

No	Peneliti	Persamaan	SDR
1	Manner (1958)	$\text{Log} (SDR) = 2.962 + 0.869 \log R_b - 0.854 \log L$	1,091
2	Roehl (1962)	$\text{Log} (SDR) = 4.5 - 0.23 \log A - 0.510 \text{Log} (L/R_b) - 2.786 \log Br$	0,013
3	Manner (1962)	$\text{Log} (SDR) = 1.8768 - 0.14191 \log (3.861 A)$	0,317
4	William dan Berndt (1972)	$SDR = 0.627 S_{LP}^{0.403}$	0,229
5	Vanoni (1975)	$SDR = 0.42 A^{-0.125}$	0,262
6	Renfro (1975)	$\text{Log} (SDR) = 2.94259 + 0.82362 \log (R_b/L)$	1,115
7	Renfro (1975)	$\text{Log} (SDR) = 1.7935 - 0.14191 \log (A)$	0,317
8	Boyce (1975)	$SDR = 0.41 A^{-0.3}$	0,132
9	William (1977)	$SDR = 4.40 \times 10^{-12} (A)^{-0.217} (R_b/L)^{0.3940} (CN)^{5.680}$	0,416
10	William (1977)	$SDR = 1.366 \times 10^{-11} (A)^{-0.0998} (R_b/L)^{0.3629} (CN)^{5.444}$	0,707
11	Auerwald (1992)	$SDR = -0.02 + 0.385 A^{-0.2}$	0,161
12	Suripin (1998)	$\text{Log} (SDR) = 2,31 + 3,07 \log D_a + 0,41 \log S_{LP} - 1,26 \log (F_L + F_W)$	3,131

Pada hasil analisis SDR menggunakan persamaan Manner (1959) yaitu 1,091, persamaan Renfro (1975) yaitu 1,115 dan persamaan suripin (1998) yaitu 3,131. Hasil analisis menggunakan 3 persamaan tersebut tidak mungkin karena besaran SDR maksimal senilai 1 yang menunjukkan bahwa semua tanah yang tererosi masuk ke dalam waduk. Oleh karena itu, ketiga persamaan tersebut tidak dapat diterapkan pada DTH Bendungan Bener.

Nilai SDR terkecil adalah pada persamaan Roehl (1962) sebesar 0,013 sedangkan SDR terbesar yang bisa digunakan pada DTH Bendungan Bener yaitu pada persamaan William (1977) dengan nilai 0,707. Dengan demikian rentang SDR pada DTH Bendungan Bener yaitu antara 0,013 sampai 0,707.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis *sediment delivery ratio* (SDR) diperoleh rentang SDR empiris yang dapat digunakan pada DTH Bendungan Bener yaitu dari 0,013 sampai 0,707. Hal tersebut menunjukkan bahwa prediksi besar persentase erosi permukaan lahan yang masuk ke waduk pada DTH Bendungan Bener berkisar antara 1,3% sampai dengan 70,7%.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, Sitanala., 2010. *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: IPB Press.
- Asdak, Chay., 2010. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Banuwa, I.S., 2013. *Erosi*. Jakarta: Kencana Prenada Media Group.
- Hardiyanto, D.I., 2014. *Kajian Sediment Delivery Ratio di Daerah Tangkapan Waduk Kedung Ombo*. Tesis. Magister Pengelolaan Bencana Alam. Universitas Gadjah Mada.
- Kartasapoetra., 2010. *Teknologi Konservasi Tanah dan Air*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Kironoto, BA dan Yulistiyanto, B., 2000. *Konservasi Lahan*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Nifen, S.Y., 2014. *Kajian Sediment Delivery Ratio untuk Daerah Tangkapan Hujan Waduk Sermo Kabupaten Kulon Progo Daerah Istimewa Yogyakarta*. Tesis. S2 Teknik Keairan. Universitas Gadjah Mada.
- Olii, M.R., 2015. *Model Sediment Delivery Ratio untuk Daerah Aliran Sungai Pulau Jawa*. Prosiding Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS) 2015 Bandung, 12 November 2015, ISSN: 2477-0086.
- Purwanto, Ajun., 2015. *Pemanfaatan Citra Landsat 8 Untuk Identifikasi Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) di Kecamatan Silat Hilir Kabupaten Kapuas Hulu*. Jurnal Edukasi Volume 13, No. 1. Juni 2015.
- Samalehu, H., 2013. *Analisis Erosi dan Teknik Konservasi Lahan pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Waeruhu Kota Ambon*. Tesis. Magister Pengelolaan Sumber Daya Air. Universitas Gadjah Mada.
- Suripin, 2004. *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air Pendidikan*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Sutapa, I.W., 2010. *Analisis Potensi Erosi pada Daerah Aliran Sungai (DAS) di Sulawesi Tengah*. Jurnal SMARTek Volume 8, No. 3. Agustus 2010: 169-181.
- Virama karya, PT, 2015, *Laporan Hidrologi Bendungan Bener*, Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak, Yogyakarta.
- Wijaya, R. A., 2016. *Kajian Erosi dan Sedimentasi Kaitannya dengan Konservasi Tanah Daerah Tangkapan Air Rawa Pening*. Tesis. Magister Perencanaan dan Pengelolaan Pesisir dan Daerah Aliran Sungai. Universitas Gadjah Mada.