Studi Evaluasi Pengerukan Sedimen pada *Central Sediment Sump* di Lokasi Penambangan Emas PT. Bumi Suksesindo Kabupaten Banyuwangi

Yana Cunanda^{1*}, Runi Asmaranto¹, Prima Hadi Wicaksono¹

¹ Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya,
Jalan MT. Haryono No. 167, Malang, 65145, INDONESIA

*Korespondensi Email : ycunanda@gmail.com

Abstract: Central Sediment Sump (CSS) is the biggest sedimentation pond in the gold mining of PT. Bumi Suksesindo. It accommodates total of sediment from some areas: Central Waste Dump (CWD), Pit E, and Pit B West. Starting in 2018, there is an increasing in ore production to 8.1 million tons/year and it caused the amount of sediment accumulated in CSS is getting bigger. Furthermore, the sum of sediment load trapped in CSS is also induced by catchment erosion. This present study assessed the amount of dredged sediment volume in the year of 2018 and total accumulated sediment in CSS. The amount of dredged sediment will be depending on the bucket size, unit cycle time and working/operating hours of excavators. The result of this study informed that the total volume of sediment accumulated in CSS was 2,004,551.730 m³. The total sediment volume dredged in 2018 was 11,755.310 m³, it was much lower than collected sediment volume in CSS.

Keywords: Dredging, Sediment, Volume

Abstrak: *Central Sediment Sump* merupakan kolam pengendapan sedimen terbesar di Penambangan Emas PT. Bumi Suksesindo. *Central Sediment Sump* menampung sedimen dari kawasan *Central Waste Dump* (CWD), Pit E, dan Pit B West. Adanya peningkatan produksi bijih mulai tahun 2018 menjadikan laju penambangan hingga 8,1 juta ton/tahun. Peningkatan ini mengakibatkan meningkatnya laju sedimen yang ditampung *Central Sediment Sump*. Evaluasi yang dilakukan pada studi ini berdasarkan pada jumlah volume sedimen terkeruk selama tahun 2018 terhadap volume sedimen yang tertangkap di *Central Sediment Sump*. Volume sedimen yang berasal dari hasil erosi di daerah tangkapan air *Central Sediment Sump* akan tertangkap di *Central Sediment Sump*. Volume sedimen terkeruk tergantung pada ukuran *bucket excavator*, waktu siklus *excavator*, dan waktu kerja *excavator*. Waktu kerja *excavator* menggambarkan waktu yang diperlukan untuk memindahkan volume sedimen yang sudah ditentukan. Hasil evaluasi pengerukan sedimen akan menggambarkan cukup atau tidaknya pengerukan sedimen tahun 2018 untuk mengeruk sedimen yang tertangkap di *Central Sediment Sump*. Berdasarkan hasil studi ini diperoleh volume sedimen yang tertangkap di *Central Sediment Sump* sebesar 2.004.551,730 m³. Volume sedimen terkeruk selama tahun 2018 sebesar 11.755,310 m³. Sehingga pengerukan sedimen tahun 2018 tidak mencukupi untuk mengeruk seluruh volume sedimen yang tertangkap di *Central Sediment Sump*.

Kata kunci: Pengerukan, Sedimen, Volume

1. Pendahuluan

Penambangan sistem terbuka konvensional banyak mengubah bentang lahan dan keseimbangan ekosistem permukaan tanah, menurunkan produktivitas tanah dan mutu lingkungan [1]. Pada Proyek Tujuh Bukit, sedimentasi merupakan dampak yang terjadi akibat dari penerapan sistem pertambangan terbuka. Untuk mengendalikan sedimentasi yang terjadi di area-area tersebut, salah satu usaha yang dilakukan adalah dengan membangun kolam pengendapan. *Central Sediment Sump* (CSS) merupakan kolam pengendapan terbesar yang ada di Penambangan Tujuh Bukit. Kolam ini memiliki fungsi menampung dan mengendapkan sedimen yang berasal dari *Central Waste Dump* (CWD), Pit E, dan Pit B West seluas 62,41 ha dan memiliki volume tampungan sebesar 12.235 m³. Terkait fungsinya untuk menampung dan mengendapkan sedimen selama masa penambangan, pemeliharaan dilakukan pada tampungan kolam adalah melakukan pengerukan sedimen menggunakan *excavator*. Sedimen yang sudah dikeruk selanjutnya dapat langsung diangkut ke area penimbunan untuk dikeringkan.

Tujuan dari studi ini adalah untuk menentukan laju erosi dan sedimentasi di Daerah Tangkapan Air (DTA) *Central Sediment Sump* setiap bulannya pada tahun 2018, menentukan volume total sedimen yang tertangkap di *Central Sediment Sump* pada tahun 2018, mengevaluasi pengerukan sedimen yang sudah dilakukan di tahun 2018, dan memberikan rekomendasi penggunaan alat berat yang sesuai untuk pengerukan sediment yang sesuai dengan kondisi tahun 2018.

2. Metode Penelitian

2.1 Lokasi Studi

Lokasi studi adalah kolam pengendapan *Central Sediment Sump* (CSS) berada di wilayah Pertambangan Emas Tujuh Bukit (Tumpang Pitu). Pertambangan Tujuh Bukit berada di Pegunungan Tumpang Pitu, Desa Sumberagung Kecamatan Pesanggaran, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur. Kondisi awal dari Tumpang Pitu adalah kawasan hutan produksi yang memiliki topografi bergelombang dan curam dikarenakan berada di daerah perbukitan. Kondisi saat ini dari lokasi studi memiliki topografi yang bervariasi, dengan kemiringan antara 0% hingga lebih dari 40% menyesuaikan dengan kebutuhan wilayah Pertambangan Tujuh Bukit serta memiliki tata guna lahan yang bervariasi dengan didominasi oleh area tambang terbuka.

2.2 Metode

2.2.1 Uji Konsistensi Data Curah Hujan

Uji konsistensi data curah hujan menggunakan Metode *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS) [2]. Adapun persamaan-persamaan yang digunakan adalah berikut:

$$S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) \quad \text{Pers. 1}$$

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{D_y} \quad \text{Pers. 2}$$

$$D_y^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(Y_i - \bar{Y})^2}{N} \quad \text{Pers. 3}$$

$$Q_{Hitung} = |S_k^{**Maks}| \quad \text{Pers. 4}$$

$$R_{Hitung} = S_k^{**Maks} - S_k^{**Min} \quad \text{Pers. 5}$$

dengan:

S_k^* = Nilai kumulatif penyimpangan terhadap nilai rata-rata

Y_i = Nilai data Y ke-i

$\bar{Y}$ = Nilai Y rata-rata

S_k^{**} = *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS)

D_y = Standar deviasi seri data Y

2.2.2 Aliran Permukaan Metode SCS-CN

Persamaan untuk menentukan aliran permukaan adalah dengan metode SCS-CN [3]:

Untuk $P > Ia$

$$V_o = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia) + S} \quad \text{Pers. 6}$$

Untuk $P < Ia$

$$V_o = 0 \quad \text{Pers. 7}$$

$$Ia = 0,2S \quad \text{Pers. 8}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Pers. 9}$$

dengan:

V_o = Kedalaman aliran permukaan (mm)

P = Curah hujan (mm)

Ia = Abstraksi awal (mm)

S = Retensi potensial maksimum (mm)

CN = *Curve Number*

Nilai CN ditentukan berdasarkan tata guna lahan atau tutupan lahan, penanganan terhadap lahan, kondisi hidrologi pada lahan, dan kelompok tanah. Keempat faktor tersebut akan membentuk *Hydrological Soil-Cover Complex* [3]. Nilai CN dapat berbentuk komposit, yaitu merupakan nilai CN untuk sebuah daerah tangkapan dengan persamaan sebagai berikut:

$$CN_{Komposit} = \frac{\sum_{i=1}^n CN_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad \text{Pers. 10}$$

dengan:

CN_i = Nilai CN dengan jenis tutupan tanah i

A_i = Luas lahan dengan jenis tutupan tanah i

n = Jumlah tutupan lahan

2.2.3 Analisis Debit Puncak

US-SCS mengembangkan sebuah persamaan menggunakan koefisien yang berhubungan dengan elemen hidrograf dan karakteristik daerah tangkapan. Karakteristik daerah tangkapan yang digunakan adalah luas area, panjang maksimum aliran, dan *slope* [4]. Persamaan tersebut adalah sebagai berikut:

$$Qp = 0,2008 \cdot \frac{A \cdot Vo}{Tp} \quad \text{Pers. 11}$$

$$Tp = 0,7 \cdot Tc \quad \text{Pers. 12}$$

$$Tc = 0,0195 \cdot L^{0,77} \cdot I^{-0,385} \quad \text{Pers. 13}$$

dengan:

Qp = Debit puncak ($m^3/detik$)

A = Luas lahan (km^2)

Vo = Aliran permukaan (mm)

Tp = *Time peak* (jam)

Tc = Waktu konsentrasi (jam)

L = Panjang maksimum aliran (m)

I = *Slope*

2.2.4 Pendugaan Erosi Metode MUSLE

Metode ini merupakan modifikasi dari metode USLE. Metode MUSLE dikembangkan oleh *United States Department of Agriculture* (USDA) bekerja sama dengan Universitas Purdue pada tahun 1954. MUSLE tidak menggunakan faktor energi hujan sebagai penyebab terjadinya erosi melainkan menggunakan faktor limpasan permukaan, sehingga MUSLE tidak memberikan faktor *sediment delivery ratio* (SDR), karena nilainya bervariasi dari satu tempat ke tempat lainnya [5]. Metode MUSLE dapat memperhitungkan erosi maupun pergerakan sedimen pada DAS dengan baik berdasarkan kejadian hujan tunggal [6], dengan persamaan sebagai berikut:

$$SY = R_w \cdot K \cdot LS \cdot CP \quad \text{Pers. 14}$$

$$Qs = SY \cdot A \quad \text{Pers. 15}$$

dengan:

SY = Jumlah tanah tererosi (ton/ha/tahun)

R_w = Faktor limpasan permukaan

K = Faktor erodibilitas tanah

LS = Faktor kemiringan lereng

CP = Faktor pengelolaan tanaman dan konservasi tanah

Qs = Laju sedimentasi (ton/tahun)

A = Luas area (ha)

2.2.4.1 Indeks Erosivitas Limpasan Permukaan (R_w)

Untuk menduga hasil endapan dari setiap kejadian limpasan permukaan dengan cara mengganti indeks erosivitas (R) dengan indeks limpasan permukaan (R_w) [6] sebagai berikut:

$$R_w = 11,8 \cdot (V_o \cdot Q_p)^{0,56} \quad \text{Pers. 16}$$

dengan:

R_w = Indeks erosivitas limpasan permukaan

V_o = Volume limpasan permukaan (m^3)

Q_p = Debit puncak ($m^3/detik$)

2.2.4.2 Indeks Erodibilitas Tanah (K)

Faktor erodibilitas tanah (K) menunjukkan resistensi partikel tanah terhadap pengelupasan dan transportasi partikel-partikel tanah tersebut oleh adanya energi kinetik air hujan [6]. Perhitungan erosi lahan (USLE/MUSLE) perlu dibedakan antara faktor erodibilitas tanah pada musim kemarau dan musim penghujan karena adanya pengaruh kadar air dalam tanah [7]. Nilai erodibilitas tanah dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$100 K = 1,292 [2,1 M^{1,14} \cdot (10^{-4}) \cdot (12 - OM) + 3,25(b - 2) + 2,5(c - 3)] \quad \text{Pers. 17}$$

$$M = (m_{vfs} + m_{silt}) \cdot (100 - m_c) \quad \text{Pers. 18}$$

$$OM = 1,72 (orgC) \quad \text{Pers. 19}$$

dengan:

K = Nilai erodibilitas tanah

M = Persentase fraksi pasir sangat halus (diameter 0,1 – 0,05 mm) dan fraksi lebih halus (diameter 0,05 – 0,02 mm) x (100 - persentase lempung)

OM = Persentase bahan organik

b = Kode struktur tanah

c = Kode permeabilitas tanah

m_{vfs} = Persentase pasir sangat halus

m_{silt} = Persentase debu

m_c = Persentase liat

$orgC$ = Persentase karbon organik

2.2.4.3 Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng (LS)

Faktor indeks topografi L dan S masing-masing mewakili pengaruh panjang dan kemiringan lereng terhadap besarnya erosi [6]. Panjang lereng mengacu pada lokasi berlangsungnya erosi dan kemungkinan terjadinya deposisi sedimen. Kemiringan lereng digunakan sebagai faktor yang seragam. Faktor LS dapat ditentukan berdasarkan kemiringan lerengnya.

Tabel 1. Kode struktur tanah (b) [8]

Kelas Struktur Tanah	Kode (b)
Granuler sangat halus (< 1 mm)	1
Granuler halus (1 – 2 mm)	2
Granuler sedang sampai kasar (2 – 10 mm)	3
Berbentuk blok, pelat, masif	4

Tabel 2. Kode permeabilitas tanah (c) [8]

Kelas Permeabilitas	Kecepatan (cm/jam)	Kode (c)
Sangat lambat	< 0,5	6
Lambat	0,5 – 2,0	5
Lambat sampai sedang	2,0 – 6,3	4
Sedang	6,3 – 12,7	3
Sedang sampai cepat	12,7 – 25,4	2
Cepat	> 25,4	1

Tabel 3. Faktor LS berdasarkan kelas kemiringan lereng

Kelas Lereng	Kemiringan Lereng (%)	Faktor LS
I	0 – 8	0,40
II	8 – 15	1,40
III	15 – 25	3,10
IV	25 – 40	6,80
V	>40	9,50

2.2.4.4 Faktor Pengelolaan Tanaman dan Konservasi Tanah (CP)

Vegetasi dan tindakan konservasi tanah juga memengaruhi tingkat erosi yang terjadi. Lahan yang tidak ditanami dan tanpa tindakan konservasi akan memiliki nilai erosi yang lebih besar daripada lahan dengan kondisi vegetasi yang baik dan dikonservasi. Untuk tanah kosong atau tanah yang sedang dalam pembangunan proyek memiliki nilai C=1 dan P=1. Penilaian faktor P di lapangan akan lebih mudah bila digabungkan dengan faktor C karena kedua faktor ini memiliki kaitan yang erat.

Tabel 4. Nilai faktor CP [6]

Konservasi dan Pengelolaan Tanaman	Nilai CP
Hutan tak terganggu	0,01
Semak sebagian berumput	0,10
Perumputan tanah sempurna	0,01
Tanaman pertanian biji-bijian	0,36

2.2.5 Debit Sedimen

Dengan mengasumsikan bahwa konsentrasi sedimen merata pada seluruh penampang melintang sungai atau saluran, maka debit sedimen dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_s = 0,0864 \cdot Q_w \cdot C_s \quad \text{Pers. 20}$$

dengan:

$$Q_s = \text{Debit sedimen (ton/hari)}$$

$$Q_w = \text{Debit aliran sungai (m}^3\text{/detik)}$$

C_s = Konsentrasi sedimen

Untuk data debit aliran sungai atau saluran dan muatan sedimen sedimen bulanan atau tahunan dapat menggunakan kurva hubungan antara debit aliran sungai/saluran dengan debit sedimen yang disebut dengan *sediment discharge rating curve*. Dengan menggunakan persamaan regresi sederhana kurva berpangkat dapat dibuat hubungan antara debit aliran dengan besarnya aliran sedimen di lokasi pengamatan. Model regresi dianggap semakin baik jika nilai r^2 mendekati 1.

2.2.6 Metode Brune

Metode Brune digunakan untuk menentukan *trap efficiency* dari suatu tampungan untuk menahan sedimen [9]. Volume sedimen yang tertangkap di dalam tampungan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Y = 100 \cdot \left(1 - \frac{1}{1 + \alpha x}\right)^{n'} \quad \text{Pers. 21}$$

$$\begin{aligned} V_s \\ = Y \cdot Q_s \end{aligned} \quad \text{Pers. 22}$$

dengan:

Y = Efisiensi tampungan

x = Perbandingan kapasitas tampungan dengan *inflow*

α = Konstanta

n' = Konstanta

V_s = Volume sedimen tertahan (m^3)

Q_s = Debit sedimen (m^3)

2.2.7 Analisis Penggunaan Alat Berat

2.2.7.1 Produktivitas *Excavator*

Produksi kerja *excavator* secara umum dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut [10]:

$$P_e = \frac{60}{C_{me}} \cdot q \cdot E_e \quad \text{Pers. 23}$$

$$\begin{aligned} T_e \\ = \frac{V_s}{P_e} \end{aligned} \quad \text{Pers. 24}$$

dengan:

P_e = Produktivitas *excavator* (m^3/jam)

C_{me} = Waktu siklus *excavator* (menit)

q = Kapasitas aktual *bucket* (m^3)

E_e = Faktor efektivitas

T_e = Waktu kerja (jam)

2.2.7.2 Produktivitas *Dump Truck*

Produktivitas *dump truck* dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut [11]:

$$P_{dt} = \frac{60}{Cm_{dt}} \cdot C \cdot E_{dt} \quad \text{Pers. 25}$$

$$M = \frac{Pe}{P_{dt}} \quad \text{Pers. 26}$$

dengan:

P_{dt} = Produktivitas *dump truck* (m³/jam)

C = Kapasitas bak (m³)

Cm_{dt} = Waktu siklus *dump truck* (menit)

q = Kapasitas aktual *bucket* (m³)

E_{dt} = Faktor efektivitas

M = Jumlah *dump truck*

Waktu siklus *dump truck* ditentukan berdasarkan satu siklus pekerjaan (waktu muat, waktu angkut, waktu kembali, waktu buang, dan waktu tunggu).

2.2.7.3 Keserasian Kerja Alat Berat

Match factor digunakan untuk mengetahui jumlah alat angkut yang sesuai untuk melayani satu unit alat gali muat. Keserasian kerja alat angkut dan alat gali muat tercapai jika nilai $MF = 1$. *Match factor* dirumuskan sebagai berikut:

$$MF = \frac{N_{dt} \cdot s \cdot Cm_e}{N_e \cdot Cm_{dt}} \quad \text{Pers. 27}$$

dengan:

MF = *Match factor*

N_{dt} = Jumlah *dump truck*

s = Jumlah pengisian *dump truck*

N_e = Jumlah *excavator*

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Uji RAPS Data Curah Hujan

Hasil Uji RAPS data curah hujan tahun 2017 dan 2018 di Pos Hujan *Mine* tersaji pada Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi hasil uji RAPS Pos Hujan *Mine*

Tahun	Q_{kritis}	Q_{hitung}	Keterangan
2017	1,05	0,698	Diterima
2018	1,05	0,765	Diterima

Berdasarkan hasil perhitungan uji RAPS curah hujan tahun 2017 diperoleh nilai $Q_{hitung} < Q_{kritis}$, serta tahun 2018 diperoleh nilai $Q_{hitung} < Q_{kritis}$, sehingga dapat disimpulkan bahwa data curah hujan bersifat konsisten.

3.2 Analisis Aliran Permukaan

Jenis tutupan lahan pada DTA *Central Sediment Sump* adalah: hutan, *covercrop*, tanaman turi, tanaman kacang-kacangan, rumput, dan lahan terbuka. Dengan menggunakan Metode SCS-CN diperoleh nilai aliran permukaan yang tersaji pada Tabel 6.

Tabel 6. Rekapitulasi aliran permukaan

Tahun	Jenis Lahan	CN	Aliran Permukaan (m ³)	
			Min	Maks
2017	Hutan	70	0,000	27.896,525
	<i>Covercrop</i>	80	0,000	9.000,112
	Tanaman Turi	82	0,000	3.944,756
	Rumput	74	0,000	19.058,226
	Lahan Terbuka	89	0,737	220.538,898
2018	Hutan	70	0,000	41.762,752
	<i>Covercrop</i>	80	0,000	14.405,669
	Tanaman Turi	82	0,000	5.717,511
	Tanaman Kacang-Kacangan	82	0,000	1.485,217
	Lahan Terbuka	89	0,000	314.700,237
	Rumput	74	5.712,81	28.199,074

Berdasarkan hasil analisis aliran permukaan diperoleh aliran permukaan yang bervariasi pada masing-masing jenis lahan.

3.3 Analisis Debit Puncak

Dengan panjang aliran utama drainase 1.888 meter dan *slope* rata-rata 0,097, maka nilai $T_c=0,266$ jam dan nilai $T_p=0,186$ jam diperoleh debit puncak yang tersaji pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi debit puncak

Tahun	Jenis Lahan	Debit Puncak (m ³ /detik)	
		Min	Maks
2017	Hutan	0,000	30,084
	<i>Covercrop</i>	0,000	9,706
	Tanaman Turi	0,000	4,254
	Rumput	0,000	20,553
	Lahan Terbuka	0,001	237,831
2018	Hutan	0,000	45,037
	<i>Covercrop</i>	0,000	14,136
	Tanaman Turi	0,000	6,166
	Tanaman Kacang-Kacangan	0,000	0,074
	Lahan Terbuka	0,000	339,376
	Rumput	6,161	30,410

Berdasarkan hasil analisis debit puncak diperoleh debit puncak yang bervariasi pada masing-masing jenis lahan.

3.4 Indeks Limpasan Permukaan (Rw)

Indeks limpasan permukaan (Rw) diperoleh berdasarkan jenis lahan (hutan, covercrop, tanaman turi, tanaman kacang-kacangan, rumput, dan lahan terbuka) dan menggunakan Persamaan 16, hasil yang diperoleh tersaji pada Tabel 8.

Tabel 8. Rekapitulasi nilai Rw

Tahun	Jenis Lahan	Rw	
		Min	Maks
2017	Hutan	0,000	24.505,140
	Covercrop	0,000	6.902,378
	Tanaman Turi	0,000	2.740,208
	Rumput	0,000	15.993,129
	Lahan Terbuka	0,183	248.281,573
2018	Hutan	0,000	38.505,687
	Covercrop	0,000	10.516,906
	Tanaman Turi	0,000	4.152,531
	Tanaman Kacang-Kacangan	0,000	193,985
	Lahan Terbuka	0,000	369.730,931
	Rumput	4.148,707	24.802,993

Berdasarkan hasil analisis indeks limpasan permukaan diperoleh indeks limpasan permukaan yang bervariasi pada masing-masing jenis lahan.

3.5 Indeks Erodibilitas Tanah (K)

Indeks erodibilitas tanah (K) diperoleh dari hasil sampel tanah yang diambil di area hutan, rehabilitasi dan lahan terbuka. Parameter - parameter pendukung diperoleh dengan melakukan pengujian di Laboratorium Fisika dan Laboratorium Kimia Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Dengan menggunakan Persamaan 17 diperoleh nilai K yang tersaji pada Tabel 9.

Tabel 9. Nilai erodibilitas tanah

No.	Nama Area	K
1.	Hutan	0,321
2.	Rehabilitasi	0,404
3.	Lahan Terbuka	0,510

Berdasarkan Tabel 9, diperoleh nilai erodibilitas tanah yang berbeda pada setiap nama area. Area Hutan memiliki nilai erodibilitas terendah dan Area Lahan Terbuka memiliki nilai erodibilitas tertinggi.

3.6 Faktor LS dan Faktor CP

Untuk pendugaan erosi, faktor panjang dan kemiringan lereng (LS) menggunakan nilai dari Tabel 3 dan faktor pengelolaan tanaman dan konservasi tanah (CP) menggunakan nilai dari Tabel 4.

3.7 Pendugaan Erosi Metode MUSLE

Hasil pendugaan erosi Metode MUSLE diperoleh dengan mengalikan faktor Rw, K, LS, dan CP. Dan untuk memperoleh hasil sedimentasi yang terjadi adalah dengan mengalikan hasil erosi yang terjadi dengan luas area masing-masing. Hasil pendugaan erosi dan sedimentasi tersaji pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil pendugaan erosi dan sedimentasi

Tahun	SY (ton/ha/tahun)	Qs (ton/tahun)
2017	227.565,413	2.837.682,773
2018	331.098,955	4.437.185,232

Pada tahun 2017, laju erosi yang terjadi sebesar 227.565,413 ton/ha/tahun dan laju sedimentasi yang terjadi sebesar 2.837.682,773 ton/tahun. Pada tahun 2018 laju erosi yang terjadi sebesar 331.098,955 ton/ha/tahun dan laju sedimentasi yang terjadi sebesar 4.437.185,232 ton/tahun.

3.8 Perbandingan Hasil Pendugaan Erosi Dengan Data Lapangan

Data lapangan yang digunakan adalah data konsentrasi TSS harian yang tercatat pada tanggal 27 Desember 2017, 11 Januari 2018, dan 1 Februari 2018. Dari data konsentrasi sedimen yang tercatat, dibentuklah kurva hubungan antara debit air dan debit sedimen.

Gambar 1: Kurva debit air-sedimen

Pada Gambar 1, didapatkan nilai nilai $r^2 = 0,9922$ dan persamaan $y = 4.945,9x - 786,06$. Nilai $r^2 = 0,9922$ menunjukkan bahwa model persamaan regresi di atas dapat menjelaskan variasi yang ada pada nilai Q_s karena nilai r^2 mendekati 1. Selanjutnya dengan mengganti variabel x dengan debit air (Q_w), maka persamaan di atas digunakan untuk menentukan debit sedimen setiap bulan atau setiap tahun di DTA *Central Sediment Sump*. Hasil perbandingan antara debit sedimen aktual dan debit sedimen hasil perhitungan tersaji pada Tabel 11.

Tabel 11. Perbandingan debit sedimen aktual dan debit sedimen hasil perhitungan

Tahun	Qs Aktual (ton/tahun)	Qs Perhitungan (ton/tahun)	KR (%)
2017	2.620.452,023	2.837.682,773	8,29
2018	5.505.997,479	4.437.185,232	19,41

Berdasarkan tabel di atas terdapat penyimpangan antara debit sedimen aktual dan debit sedimen hasil perhitungan. Penyimpangan ini menunjukkan perbedaan antara debit sedimen aktual dengan debit sedimen hasil perhitungan. Pengukuran sampel TSS yang dilakukan tidak beragam, sehingga terdapat beberapa kondisi yang tidak terwakili di kurva hubungan debit air dan debit sedimen.

3.9 Volume Sedimen Tertangkap

Volume total tampungan *Central Sediment Sump* sebesar 12.235 m^3 . Efektifitas *Central Sediment Sump* dalam menangkap sedimen diperoleh dengan menggunakan Persamaan 21 dan untuk volume sedimen yang tertangkap di *Central Sediment Sump* diperoleh dengan menggunakan Persamaan 22. Besarnya *trap efficiency Central Sediment Sump* setiap bulannya memengaruhi besarnya volume sedimen yang tertangkap di tampungan. Nilai α dan nilai n' yang digunakan pada studi ini menggunakan nilai rata-rata, yaitu nilai $\alpha = 100$ dan nilai $n' = 1,5$. Debit sedimen yang masuk dan volume sedimen yang tertangkap tersaji pada Tabel 12.

Tabel 12. Rekapitulasi volume sedimen tertangkap

Tahun	Q_s (ton)	V_s (m^3)
2017	2.837.682,773	837.777,734
2018	4.437.185,232	1.166.773,996

Pada tahun 2017 didapatkan volume sedimen yang terendap sebesar $837.777,734 \text{ m}^3$. Dan pada tahun 2018 sebesar $1.166.773,996 \text{ m}^3$. Sehingga total volume sedimen yang terendap selama tahun 2017 hingga tahun 2018 sebesar $2.004.551,730 \text{ m}^3$. Dengan volume tampungan *Central Sediment Sump* sebesar 12.235 m^3 , maka diperlukan pengerukan sedimen untuk memelihara *Central Sediment Sump* tetap dapat mengendapkan sedimen dari daerah tangkapannya dengan baik.

3.10 Evaluasi Pengerukan Sedimen Eksisting Tahun 2018

Pengerukan sedimen di *Central Sediment Sump* tahun 2018 dilakukan dengan menggunakan *excavator* sebagai alat pengeruk sedimen dan *articulated dump truck* sebagai alat pengangkut sedimen ke tempat pembuangan.

Pengerukan sedimen tahun 2018 menggunakan *excavator* 20 ton dengan total waktu kerja 15 jam serta produktivitas alat sebesar $46,154 \text{ m}^3/\text{jam}$ dan *excavator long arm* 20 ton dengan total waktu kerja 481 jam serta produktivitas alat sebesar $23 \text{ m}^3/\text{jam}$. Sehingga total volume sedimen yang berhasil dikeruk pada tahun 2018 sebesar $11.755,310 \text{ m}^3$. Dengan kerja *excavator* yang sudah dilakukan masih terdapat volume sedimen tersisa di *Central Sediment Sump* sebesar $1.992.796,420 \text{ m}^3$. Maka pengerukan sedimen yang sudah dilakukan di tahun 2018 belum dapat mengeruk seluruh sedimen yang terendapkan di *Central Sediment Sump*.

Articulated dump truck yang digunakan pada tahun 2018 berjumlah 1-3 buah dengan total waktu kerja sebesar 243,66 jam yang digunakan tidak selalu bersamaan dengan penggunaan *excavator* untuk mengeruk sedimen. Hal ini dikarenakan terdapat *drying pad* untuk mengeringkan sedimen sementara sedimen yang terlalu cair.

3.11 Analisis Alternatif Penggunaan Alat Berat

Analisis alternatif pengerukan sedimen dilakukan untuk menentukan alternatif penggunaan alat berat yang dibutuhkan untuk mengeruk sedimen di *Central Sediment Sump*. Alat berat yang digunakan pada analisis ini adalah *excavator* dan *articulated dump truck*.

Selanjutnya dari analisis ini akan diperoleh waktu kerja *excavator* yang diperlukan untuk mengeruk sedimen yang terendapkan di *Central Sediment Sump* dan waktu kerja serta jumlah *articulated dump truck* yang diperlukan untuk mengangkut sedimen yang sudah dikeruk menuju ke tempat pembuangan. Alternatif yang digunakan pada analisis ini adalah sebagai berikut:

- Pengerukan sedimen dengan 1 *excavator* dengan kapasitas *bucket* 1 m^3 dan pengangkutan sedimen menggunakan *articulated dump truck* dengan kapasitas bak 25 m^3 untuk pembuangan ke *Central Waste Dump*.

- b. Digunakan tambahan 1 buah *excavator* dengan kapasitas *bucket* 1 m³ jika waktu kerja *excavator* sebelumnya melebihi waktu kerja maksimum dalam 1 bulan dan menggunakan tambahan tambahan *articulated dump truck* dengan kapasitas bak 20,6 m³ dan pembuangan sedimen ke *Central Waste Dump*.
- c. Kerja *excavator* dibagi ke dalam dua *shift* kerja, yaitu *day shift* selama 10 jam dan *night shift* selama 9 jam.
- d. Kerja *articulated dump truck* juga dibagi ke dalam dua *shift* kerja, yaitu *day shift* dan *night shift*.

Produktivitas *excavator* yang digunakan adalah sebagai berikut.

Spesifikasi *Excavator*

Tipe	: 20 ton
Volume <i>bucket</i>	: 1 m ³
Faktor pengisian <i>bucket</i>	: 1
Waktu siklus	: 0,4 menit
Efisiensi alat	: 0,75
Waktu siklus	: 0,4 menit

$$q_0 = 1,00 \text{ m}^3$$

$$k = 1$$

$$q = q_0 \cdot k$$

$$q = 1,00 \cdot 1$$

$$q = 1,00 \text{ m}^3$$

$$C_{me} = 0,4 \text{ menit}$$

$$E_e = 0,75$$

$$P_e = \frac{60}{C_{me}} \cdot q \cdot E_e$$

$$P_e = \frac{60}{0,4} \cdot 1,00 \cdot 0,75$$

$$P_e = 112,500 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Produktivitas *dump truck* yang digunakan adalah sebagai berikut:

Spesifikasi *dump truck*

Tipe	: <i>Articulated Dump Truck</i>
Efisiensi alat	: 0,69
Kapasitas bak	: 20,6 m ³

Waktu siklus *dump truck*

$$\text{Waktu muat (Wm)} = 8,4 \text{ menit}$$

$$\text{Waktu angkut (Wa)} = 3,170 \text{ menit}$$

$$\text{Waktu buang (t}_1\text{)} = 0,7 \text{ menit}$$

$$\text{Waktu kembali (Wk)} = 3,659 \text{ menit}$$

$$\text{Waktu persiapan angkut (t}_2\text{)} = 0,871 \text{ menit}$$

$$C_{m_{dt}} = W_m + W_a + W_k + t_1 + t_2$$

$$C_{m_{dt}} = 8,4 + 3,170 + 3,659 + 0,7 + 0,871$$

$$C_{m_{dt}} = 16,8 \text{ menit}$$

$$P_{dt} = \frac{60}{C_{m_{dt}}} \cdot C_b \cdot E_{dt}$$

$$P_{dt} = \frac{60}{16,8} \cdot 20,6 \cdot 0,69$$

$$P_{dt} = 50,764 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Jumlah *dump truck* yang digunakan

$$M = \frac{P_e}{P_{dt}}$$

$$M = \frac{112,500}{50,764} = 2,26 \approx 2 \text{ buah}$$

Match factor antara *excavator* dan *dump truck*

$$MF = \frac{N_{dt} \cdot s \cdot C_{m_e}}{N_e \cdot C_{m_{dt}}}$$

$$MF = \frac{2 \cdot 21 \cdot 0,4}{1 \cdot 16,8}$$

$$MF = 1$$

Sehingga efektivitas pengerukan sedimen maksimal jika setiap 1 buah *excavator* bekerja sama dengan 2 buah *articulated dump truck*. Alternatif waktu kerja *excavator* dan *articulated dump truck* di tahun 2017 dan 2018 tersaji pada Tabel 13 dan Tabel 14.

Tabel 13. Alternatif waktu kerja *excavator* dan *dump truck* tahun 2017

Bulan	Shift	Waktu Kerja <i>Excavator</i> (jam)	Waktu Kerja DT (jam)
Jun	DS	300	332,419
	NS	204,3	226,430
	DS	300	332,419
Jul	DS	81,4	90,153
Ags	Tidak ada pengerukan		
Sep	DS	52,2	57,879
	DS	310	343,499
	NS	253,8	281,202
Okt	DS	310	343,499
	NS	253,8	281,197
	DS	300	332,419
Nov	NS	270	299,177
	DS	300	332,419
	NS	270	299,177
Des	DS	310	343,499

Bulan	Shift	Waktu Kerja <i>Excavator</i> (jam)	Waktu Kerja DT (jam)
	NS	279	309,149
	DS	310	343,499
	NS	279	309,149

Pada tahun 2017, terdapat bulan dengan menggunakan 1 buah *excavator* yang bekerja sama dengan 2 buah *articulated dump truck* dan terdapat bulan dengan 2 buah *excavator* yang bekerja sama dengan 4 buah *articulated dump truck*.

Tabel 14. Alternatif waktu kerja *excavator* dan *dump truck* tahun 2018

Bulan	Shift	Waktu Kerja <i>Excavator</i> (jam)	Waktu Kerja DT (jam)
Jan	DS	310	343,499
	NS	279	309,149
	DS	310	343,499
	NS	279	309,149
Feb	DS	280	310,257
	NS	252	279,232
	DS	280	310,257
	NS	252	279,232
Mar	DS	310	343,499
	NS	279	309,149
	DS	310	343,499
	NS	279	309,149
Apr	DS	300	332,419
	NS	270	299,177
	DS	300	332,419
	NS	270	299,177
Mei	DS	310	343,499
	NS	279	309,149
	DS	310	343,499
	NS	279	309,149
Jun	DS	300	332,419
	NS	270	299,177
	DS	300	332,419
	NS	270	299,177
Jul	DS	310	343,499
	NS	279	309,149
	DS	310	343,499
	NS	279	309,149
Ags	DS	310	343,499
	NS	279	309,149
	DS	310	343,499
	NS	279	309,149
Sep	DS	300	332,419
	NS	270	299,177
	DS	300	332,419
	NS	270	299,177
Okt	DS	243,6	269,972
	DS	300	332,419
	NS	270	299,177
	DS	300	332,419
Nov	NS	270	299,177
	DS	310	343,499
	NS	279	309,149
	DS	310	343,499

Bulan	Shift	Waktu Kerja <i>Excavator</i> (jam)	Waktu Kerja DT (jam)
	DS	310	343,499
	NS	279	309,149

Pada tahun 2018, dalam satu tahun digunakan 2 buah *excavator* yang bekerja sama dengan 4 buah *articulated dump truck*, kecuali pada bulan Oktober hanya menggunakan 1 buah *excavator* dan 2 buah *articulated dump truck*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan studi yang sudah dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa laju erosi dan laju sedimentasi yang tinggi terjadi pada tahun 2017 dan tahun 2018 di DTA *Central Sediment Sump* menjadikan volume sedimen yang terendapkan pada tampungan *Central Sediment Sump* pun tinggi dan membutuhkan pengerukan sedimen untuk menjaga fungsinya dalam mengendapkan sedimen. Pengerukan sedimen yang sudah dilakukan di tahun 2018 belum dapat mengeruk seluruh sedimen yang terendapkan di *Central Sediment Sump* sehingga dilakukan alternatif penggunaan *excavator* dan *articulated dump truck* untuk sebagai rekomendasi untuk pengerukan sedimen di *Central Sediment Sump* berdasarkan kondisi di tahun 2017 dan 2018.

Daftar Pustaka

- [1] G. Subowo, "Penambangan Sistem Terbuka Ramah Lingkungan dan Upaya Reklamasi Pasca Tambang Untuk Memperbaiki Kualitas Sumberdaya Lahan dan Hayati Tanah," *Jurnal Sumberdaya Lahan*, vol. 5, no. 2, pp. 83-94, 2011
- [2] I. M. Kamiana, Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2010
- [3] USDA, National Engineering Handbook. USA: USDA, 2004
- [4] C. N. Widiyati, "Application of US-SCS Curve Number Method and GIS for Determining Suitable Land Cover of Small Watershed," *IJG*, vol. 2, no. 1, pp. 69-89, 2016
- [5] M. M. Rantung, A. Binilang, M. E. Wulsan, and F. Halim, "Analisis Erosi dan Sedimentasi Lahan di Sub DAS Panasen Kabupaten Minahasa," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 1, no. 5, pp. 309-317, April 2013
- [6] C. Asdak, Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada Press, 2004
- [7] R. Asmaranto, R. A. A. Soemitro, and N. Anwar, "Changes of Soil Erodibility Due To Wetting and Drying Cycle Repetitions On The Residual Soil," *International Journal Of Academic Research*, vol. 2, no. 5, pp. 149-152, 2010
- [8] H. C. Hardiyatmo, Penanganan Tanah Longsor dan Erosi. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada Press, 2006
- [9] R. K. Linsley Jr., M. A. Kohler, and J. L. H. Paulhus, Hidrologi Untuk Insinyur. Jakarta: Erlangga, 1986
- [10] S. F. Rostiyanti, Alat Berat Untuk Proyek Konstruksi. Jakarta: Rineka Cipta, 2008
- [11] A. T. Tenriajeng, Pemindahan Tanah Mekanis. Jakarta: Gunadarma, 2003