ANALISIS TRANSPOR SEDIMEN SERTA PENGARUH AKTIVITAS PENAMBANGAN PADA SUNGAI SOMBE, KOTA PALU, SULAWESI TENGAH

Muhammad Iqbal Pratama¹, Djoko Legono², Adam Pamudji Rahardjo²

¹Peneliti Keairan, Jl.Setia Budi Lrg IV B No.90, Palu, Sulawesi Tengah, Indonesia;
Pratamaiqbal4554@gmail.com

²Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

ABSTRAK : Permasalahan sedimentasi yang terjadi di Sungai Somba merupakan suatu fenomena terbawanya butiran atau partikel sedimen yang berasal dari longsoran tebing sungai. Hal tersebut diperparah ketika terjadi hujan dengan intensitas sedang hingga tinggi menyebabkan terbawanya material sedimen bersama banjir. Selain itu, adanya aktivitas penambangan pasir di Sungai Somba juga dapat mempengaruhi terjadinya perubahan pada dasar sungai. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi dan memperkirakan besaran angkutan sedimen dan pengaruh dari adanya aktifitas penambangan terhadap perubahan dasar sungai pada Sungai Somba. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran langsung di Sungai Somba untuk memperoleh sampel sedimen dan data morfologi sungai serta pengamatan terhadap aktivitas penambangan yang ada di Sungai Somba, kemudian data – data yang telah dikumpulkan akan di analisis menggunakan metode Rottner dan Van Rijn. Hasil analisis diperoleh nilai rata – rata debit sedimen di Sungai Somba dengan kala ulang 1 Tahunan, 2 Tahunan, 5 Tahunan dan 10 Tahunan, yaitu metode Rottner sebesar $2,1 \times 10^7$ - $3,8 \times 10^7$ Ton/tahun; dan metode Van Rijn sebesar $4,0 \times 10^7$ – $6,9 \times 10^7$ Ton/tahun.

Kata Kunci : Angkutan sedimen, Sungai Somba, Rottner, Van Rijn

ABSTRACT : *Sedimentation problems occurring in Somba River is a phenomenon of sediment grains or particles entrained from the riverbank avalanche. The problem is exacerbated when there is moderate to high intensity rainfall, causing sediment material transported by a flood. Moreover, sand mining activities also affect the changes in the riverbed. The research aims to identify and estimate the quantity of sediment transport and the effect of the mining activities on the riverbed changes in Somba River. In this research, direct measurement in Somba river and observation of the mining activities in Somba River are conducted to collect sediment samples and river morphology data. Thenceforth, the collected data will be analyzed using Rottner and Van Rijn method. According to the result of the calculation, the average of sediment discharge in Somba River with a return period of 1 year, 2 years, 5 years and 10 years are Rottner method is 2.1×10^7 – 3.8×10^7 Tons/year; Van Rijn method is 4.0×10^7 – 6.9×10^7 Tons/years.*

Keyword : *Sediment transport, Somba River, Rottner, Van Rijn.*

Sungai Sombe memiliki potensi yang sangat besar untuk berbagai keperluan baik untuk penduduk yang berada di sepanjang Sungai Sombe, maupun masyarakat Kota Palu. Selain dimanfaatkan untuk keperluan irigasi, dan air baku, juga digunakan untuk keperluan rekreasi yaitu dengan menyadap air Sungai Sombe bagi penyediaan air baku di tempat pemandian Porame. Material di sungai seperti pasir dan batu juga dimanfaatkan warga untuk pembangunan infrastruktur. Tetapi, dengan potensi yang ada tersebut Sungai Sombe memiliki permasalahan yaitu sedimentasi. Hal ini diperparah ketika musim penghujan tiba, dimana hujan yang terjadi dengan intensitas sedang hingga tinggi seringkali menyebabkan banjir dan mengakibatkan banyaknya material sedimen dari hulu terbawa hingga ke hilir. Hal tersebut dapat mengancam pemukiman penduduk, lahan perkebunan dan pertanian serta infrastruktur yang ada. Selain itu, adanya aktivitas penambangan pasir di Sungai Sombe juga mempengaruhi terjadinya perubahan pada dasar sungai. Oleh karena itu, maka perlu adanya suatu studi yang mengkaji mengenai proses dan besaran angkutan yang terjadi serta pengaruh aktifitas penambangan terhadap perubahan dasar sungai pada Sungai Sombe.

Angkutan Sedimen

Menurut Mulyanto (2007) ada tiga macam angkutan sedimen yang terjadi di dalam alur sungai, antara lain:

- Wash load* atau muatan bilas adalah angkutan partikel halus yang berupa lempung (*silk*) dan debu (*dust*) yang ikut terbawa masuk ke dalam sungai dan melayang sampai mencapai laut atau genangan air lainnya.
- Suspended load* atau muatan sedimen melayang yang terdiri dari pasir halus dan bergerak secara melayang dalam aliran.
- Bed load* atau muatan sedimen dasar adalah butiran material dengan ukuran yang besar bergerak di dasar sungai

dengan cara bergeser, menggelinding ataupun meloncat.

Sungai disebut dalam keadaan seimbang jika kapasitas sedimen yang masuk (Q_{in}) pada suatu penampang memanjang sungai sama dengan kapasitas sedimen yang keluar (Q_{out}) dalam satuan waktu tertentu (Ismail Saud, 2008). Proses pengendapan di sungai dapat terjadi apabila jumlah sedimen yang masuk melebihi kapasitas sedimen seimbang dalam satuan waktu tertentu sedangkan proses erosi di sungai dapat terjadi apabila jumlah sedimen yang masuk kurang dari kapasitas sedimen seimbang dalam satuan waktu tertentu.

Gambar 1. Skema Angkutan Sedimen Melalui dua tampang sungai

Angkutan sedimen dapat menyebabkan terjadinya perubahan pada dasar sungai. pada Gambar 1. diperlihatkan bahwa angkutan sedimen pada suatu ruas sungai, akan mengalami penggerusan (erosi) atau pengendapan (deposisi), tergantung dari besar kecilnya angkutan sedimen yang terjadi sebagaimana yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Kondisi Dasar Sungai

Angkutan Sedimen (T)	Perubahan Dasar Sungai	
	Sedimen	Dasar Sungai
$T_1 = T_2$	Seimbang	Stabil
$T_1 < T_2$	Erosi	Degradasi
$T_1 > T_2$	Sedimentasi	Agradasi

Aktivitas Penambangan Pasir

Aktivitas penambangan yang dilakukan di beberapa titik di Sungai Sombe semakin meningkat dan tidak terkendali, hal dapat mempengaruhi keseimbangan atau stabilitas sungai yang dapat menimbulkan terjadinya erosi atau degradasi pada dasar sungai.

Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi (*hydrological phenomenon*) seperti besarnya : curah hujan, temperatur, penguapan, lama penyinaran matahari, kecepatan angin, debit sungai, tinggi muka air sungai, kecepatan aliran, dan konsentrasi sedimen sungai yang selalu berubah menurut waktu (Yuliana, 2008)

1. Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi merupakan prakiraan (*forecasting*) dalam arti probabilitas untuk terjadinya suatu peristiwa hidrologi dalam bentuk hujan rancangan yang berfungsi sebagai dasar perhitungan perencanaan hidrologi untuk antisipasi setiap kemungkinan yang akan terjadi di masa akan datang. Pada analisis ini dilakukan pemilihan distribusi yang cocok untuk digunakan antara lain distribusi Normal, Log Normal, Gumbel dan Log Pearson tipe III.

2. Uji kecocokan distribusi

Uji sebaran dilakukan dengan uji kecocokan distribusi yang dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat menggambarkan atau mewakili dari sebaran statistik sampel data yang dianalisis tersebut (Soemarto, 1999). Untuk dapat menguji apakah jenis distribusi yang dipilih sesuai dengan data yang ada, maka dapat digunakan uji *Chi-Kuadrat* dan *Smirnov-Kolmogorov* (Sri Harto, 2009).

Pola Distribusi Hujan

a. Intensitas Curah Hujan

Lokasi penelitian yang berada di Sungai Sombe, dalam hal ini di Kota Palu khususnya belum memiliki pola distribusi hujan jam – jaman, sehingga digunakan pola distribusi dari daerah lain yang dapat mewakili atau mendekati karakteristik pola hujan yang ada di Kota Palu. Sehingga digunakan pola distribusi hujan di Sulawesi Utara yang berkisar antara 6 -10 jam, dalam

penelitian ini diasumsikan pola distribusi hujan selama 6 jam.

b. *Alternating Block Method* (ABM)

Setelah diperoleh intensitas curah hujan maka dilakukan pengalihragaman curah hujan rancangan kedalam hujan jam – jaman (*Hyetograph*) menggunakan model distribusi hujan yaitu metode *Alternating Block Method* (ABM).

c. Hujan Efektif

Hujan efektif merupakan bagian dari hujan yang tidak masuk kedalam tampungan dan tidak tertahan diatas permukaan tanah atau dapat disebut sebagai bagian hujan yang menimbulkan terjadinya limpasan langsung. Dalam menghitung hujan efektif pada penelitian ini digunakan persamaan indeks infiltrasi (Φ_{Indeks}), tetapi dikarenakan tidak tersedianya data debit aliran di sungai sombe, maka digunakan Metode SCS-CN (*Soil Conservation Service Curve Number*) untuk memperkirakan kedalaman limpasan permukaan.

Debit Banjir Rancangan

Perencanaan banjir dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu dengan analisis frekuensi data banjir maksimum tercatat, atau perancangan dari analisis data hujan maksimum, kemudian ditransformasikan ke banjir rancangan dengan model hidrograf satuan sintetis Dalam penelitian ini digunakan hidrograf satuan sintetis (HSS) Nakayasu.

Analisis Angkutan Sedimen

Persamaan yang digunakan untuk memperkirakan angkutan sedimen dalam penelitian ini yaitu antara lain:

Metode Rottner

Rottner mengembangkan suatu persamaan untuk menyatakan debit pada angkutan sedimen termasuk dalam parameter aliran berdasarkan analisis regresi untuk mengetahui pengaruh parameter kekasaran relatif. Bentuk persamaan Rottner dapat dilihat pada Persamaan (1)

$$\frac{Q_s}{\rho_s \sqrt{(\rho_s - \rho_w) / \rho_w \sqrt{gh^3}}} = \left\{ \frac{[0,667(d/h)^{2/3} + 0,14] \times V}{\sqrt{(\rho_s - \rho_w) / \rho_w \sqrt{gh^3}}} - 0,778(d/h)^{2/3} \right\}^3$$

Dengan Q_s adalah debit sedimen (kg/s/m), ρ_s adalah massa jenis sedimen (kg/m³), ρ_w adalah massa jenis air, g adalah gravitasi (m/s²), h adalah kedalaman aliran (m), V adalah kecepatan aliran (m/s), d_{50} adalah diameter butiran (mm).

Metode Van Rijn

Menurut Van Rijn tingkat angkutan sedimen dapat didefinisikan dengan dua parameter pokok tak berdimensi (*dimensionless parameters*), yaitu parameter butiran (d_*) dan *transport stage parameter* (T).

a. Parameter butiran (*particle parameter*)

$$d_* = d_{50} \left(\frac{(s-1)g}{\nu^2} \right)^{1/3} \quad (3)$$

Dimana d_* adalah parameter butiran, g adalah percepatan gravitasi (9,81 m/s²), ν adalah viskositas kinematik yang diperoleh dari Tabel sifat-sifat air (*Properties of*

(1) *Water*) yang dikondisikan dengan temperatur atau suhu air.

b. *Transport stage parameter*

$$T = \frac{(u_*)^2 - (u_{*cr})^2}{(u_{*cr})^2} \quad (4)$$

Dimana T adalah *transport stage parameter*, u_* adalah kecepatan geser dasar (berhubungan dengan butiran partikel, (m/s) yang dapat dihitung menggunakan Persamaan (5), C' adalah koefisien Chezy,

$$u_* = \left(\frac{\frac{1}{2} g}{C'} \right) \times V \quad (5)$$

Nilai kecepatan geser dasar kritis (u_{*cr}) dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan (6)

$$u_{*cr} = \sqrt{(s-1)gd_{50}\theta_{cr}} \quad (6)$$

Nilai θ_{cr} diperoleh dari persamaan yang ada pada diagram Shield (Gambar 2) dan disesuaikan dengan nilai dari perhitungan parameter butiran (d_*).

Gambar 2. Diagram Shield

Untuk C' (koefisien chezy) dapat dihitung dengan persamaan (7).

$$C' = 18 \log \left(\frac{12R_b}{3d_{90}} \right) \quad (7)$$

Dimana R_b adalah jari-jari hidrolis, d_{90} adalah ukuran butiran (mm). Maka, jumlah

angkutan sedimen dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (8).

$$q_s = \frac{0,053T^{2,1}[(s-1)g]^{0,5}d_{50}^{1,5}}{d_*^{0,3}} \quad (8)$$

Debit angkutan sedimen dasar untuk seluruh lebar dasar saluran dihitung dengan menggunakan Persamaan (9)

$$Q_s = q_s \times B \times \rho_s \quad (9)$$

Dimana Q_s adalah angkutan sedimen dasar total (m^2/s) dan b adalah lebar sungai (m) dan ρ_s adalah massa jenis sedimen (m^3/s)

BAHAN DAN METODE

Lokasi penelitian berada di Sungai Sombe yang merupakan salah satu anak Sungai Palu. Sungai Sombe memiliki luas DAS yaitu $56,67 \text{ km}^2$, panjang sungai $10,65 \text{ km}$ dan kemiringan $7,54\%$. Secara administratif terletak di Kabupaten Sigi, Kota Palu, Provinsi Sulawesi Tengah. Penelitian

dilakukan dengan mengumpulkan data primer yaitu pengambilan sampel sedimen sebanyak 10 sampel di 10 titik di Sungai Sombe, dengan jarak tiap titik yaitu $\pm 150 \text{ m}$. Sampel-sampel tersebut kemudian di uji di Laboratorium dengan pengujian analisa saringan untuk memperoleh nilai gradasi butiran.

Data sekunder berupa data curah hujan (antara 2003-2017) dan data karakteristik DAS (mencakup peta kelerengan, peta geologi dan peta tata guna lahan) yang diperoleh dari BWS Sulawesi III.

Gambar 3. Titik Lokasi pengambilan sampel dan penambangan pasir di Sungai Sombe

Data curah hujan dianalisis untuk memperoleh debit banjir rancangan. Dari hasil pengumpulan data dan pengujian dilakukan perhitungan angkutan sedimen menggunakan metode Rottner dan Van Rijn. Dari kedua metode tersebut akan dibandingkan dan dipilih metode yang cocok sebagai tolak ukur dalam analisis angkutan sedimen yang ada di Sungai Sombe. Debit banjir rancangan yang digunakan adalah bersumber dari data curah hujan yang dianalisis dengan analisis frekuensi, selanjutnya digunakan metode Hidrograf satuan sintetik (HSS) Nakayasu untuk mentransformasikan hujan menjadi

aliran. Sehingga diperoleh nilai debit puncak banjir rancangan adalah $28,50 \text{ m}^3/s$; $45,81 \text{ m}^3/s$; $48,66 \text{ m}^3/s$; $49,01 \text{ m}^3/s$ dengan interval kejadian (periode ulang) yaitu 1 tahunan, 2 tahunan, 5 tahunan dan 10 tahunan. Diasumsikan debit puncak banjir yang diperoleh dari perhitungan merupakan debit banjir yang terjadi sekali dalam peristiwa atau kejadian banjir dengan kala ulang yang ada. sedangkan data sampel yang diperoleh dari pengujian analisa saringan di Laboratorium dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Sampel Sedimen Hasil pengujian analisa saringan di Laboratorium

Sampel	Ukuran Sedimen		
	d ₃₅ mm	d ₅₀ mm	d ₉₀ mm
1	3,6	6,5	25,5
2	3,2	8,2	33,3
3	3,7	7	23,6
4	3,8	7,3	28
5	3,4	7,7	27
6	2,3	7,2	28,4
7	2,1	6,6	32,5
8	2	4,6	26
9	3,4	8	30
10	1,9	4,2	25

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada contoh perhitungan dibawah ini digunakan sampel 1 dengan data sebagai berikut:

Sampel	= 1
Massa jenis air, ρ_w	= 1000 kg/m ³ = 1 gram/cm ³
Massa jenis sedimen, ρ_s	= 2650 kg/m ³ = 2,65 gram/cm ³
Gravitasi, g	= 9,81 m/s ² = 981 cm/s ²
Kemiringan sungai, S	= 0,0754
Lebar sungai, b	= 36,5 m = 3650 cm
Suhu air, T	= 28,1 ⁰ C = 82,58 ⁰ F
Gradasi butiran, d ₃₅	= 3,6 mm = 0,360 cm = 0,0036 m
d ₅₀	= 6,5 mm = 0,650 cm = 0,0065 m
d ₉₀	= 22,5 mm = 2,550 cm = 0,0255 m
Debit 1 tahunan, Q _b	= 28,51 m ³ /s = 2,85 x 10 ⁷ cm ³ /s

Sebelum melakukan perhitungan angkutan sedimen, dilakukan perhitungan luas penampang (A), keliling basah (P), kecepatan rata-rata (V) dan kedalaman

aliran (h) menggunakan persamaan manning dengan data yang ada serta data tambahan (diasumsikan) yaitu nilai manning, n = 0,035 dan nilai m = 1. Persamaan yang digunakan, yaitu :

$$A = (b + mh)h;$$

$$P = b + 2h\sqrt{1 + m^2};$$

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}, \text{ maka};$$

$$Q = A \times V$$

$$Q = (b + mh)h \times \frac{1}{n} \times \left(\frac{(b + mh)h}{b + 2h\sqrt{1 + m^2}} \right)^{2/3} \times S^{1/2}$$

$$28,51 = (36,5 + 1 \times h)h \times \frac{1}{0,035} \times \left(\frac{(36,5 + 1 \times h)h}{36,5 + 2h\sqrt{1 + 1^2}} \right)^{2/3} \times 0,0754^{1/2}$$

Dengan menggunakan cara coba-coba dengan h = 0,25 m, diperoleh :

$$28,51 = (36,5 + 1 \times 0,25) \times 0,25 \times \frac{1}{0,035} \times \left(\frac{(36,5 + 1 \times 0,25) \times 0,25}{36,5 + 2 \times 0,25\sqrt{1 + 1^2}} \right)^{2/3} \times 0,0754^{1/2}$$

$$28,51 = 28,51$$

Maka diperoleh nilai h = 0,25 m = 25,1 cm, sehingga kecepatan aliran dapat dihitung :

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{28,51}{(36,5 + 1 \times 0,25) \times 0,25}$$

$$= 3,09 \text{ m/s} = 309,44 \text{ cm/s}$$

Kemudian dilakukan perhitungan angkutan sedimen menggunakan persamaan Rottner (Persamaan 1), sehingga :

$$\frac{Q_s}{\rho_s \sqrt{(\rho_s - \rho_w) / \rho_w \sqrt{gh^3}}} = \left\{ \frac{[0,667(d/h)^{2/3} + 0,14] \times V}{\sqrt{(\rho_s - \rho_w) / \rho_w \sqrt{gh^3}}} - \frac{0,778(d/h)^{2/3}}{0,778(d/h)^{2/3}} \right\}^3$$

$$\frac{Q_s}{2,65 \sqrt{(2,65 - 1) / 1 \sqrt{981 \times 25,1^3}}} = \left\{ \frac{[0,667(0,650 / 25,1)^{2/3} + 0,14] \times 309,44}{\sqrt{(2,65 - 1) / 1 \sqrt{981 \times 25,1^3}}} - \frac{0,778(0,650 / 25,1)^{2/3}}{0,778(0,650 / 25,1)^{2/3}} \right\}^3$$

$$\begin{aligned} Q_s &= 177,37 \text{ g/s/cm} \\ &= 177,37 \text{ g/s/cm} \times 3650 \text{ cm} \\ &= 6,5 \times 10^5 \text{ g/s} \approx 6,5 \times 10^2 \text{ kg/s} \\ &= 6,5 \times 10^{-1} \text{ Ton/s} \times (24 \times 60 \times 60) \end{aligned}$$

$$= 5,6 \times 10^4 \text{ Ton/hari} \times (365 \text{ hari})$$

$$= 2,0 \times 10^7 \text{ Ton/tahun}$$

metode Rottner dan Van Rijn dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4 serta Gambar 4 s/d Gambar 7.

Selanjutnya hasil perhitungan debit angkutan sedimen dengan menggunakan

Tabel 3. Rekapitulasi perhitungan debit sedimen metode Rottner

Nomor Sampel	Debit Sedimen Dasar (<i>Bed Load</i>) dengan Periode ulang (Ton/Tahun)			
	1 Tahun	2 Tahun	5 Tahun	10 Tahun
1	$2,0 \times 10^7$	$3,5 \times 10^7$	$3,8 \times 10^7$	$3,8 \times 10^7$
2	$2,1 \times 10^7$	$3,7 \times 10^7$	$3,9 \times 10^7$	$4,0 \times 10^7$
3	$2,1 \times 10^7$	$3,6 \times 10^7$	$3,8 \times 10^7$	$3,9 \times 10^7$
4	$2,1 \times 10^7$	$3,6 \times 10^7$	$3,9 \times 10^7$	$3,9 \times 10^7$
5	$2,1 \times 10^7$	$3,6 \times 10^7$	$3,9 \times 10^7$	$3,9 \times 10^7$
6	$2,1 \times 10^7$	$3,6 \times 10^7$	$3,8 \times 10^7$	$3,9 \times 10^7$
7	$2,0 \times 10^7$	$3,5 \times 10^7$	$3,8 \times 10^7$	$3,8 \times 10^7$
8	$1,9 \times 10^7$	$3,3 \times 10^7$	$3,6 \times 10^7$	$3,6 \times 10^7$
9	$2,1 \times 10^7$	$3,7 \times 10^7$	$3,9 \times 10^7$	$4,0 \times 10^7$
10	$1,9 \times 10^7$	$3,3 \times 10^7$	$3,5 \times 10^7$	$3,6 \times 10^7$
Rata - Rata	$2,1 \times 10^7$	$3,5 \times 10^7$	$3,8 \times 10^7$	$3,8 \times 10^7$

Tabel 4. Rekapitulasi perhitungan debit sedimen metode Van Rijn

Nomor Sampel	Debit Sedimen Dasar (<i>Bed Load</i>) dengan Periode ulang (Ton/Tahun)			
	1 Tahun	2 Tahun	5 Tahun	10 Tahun
1	$3,4 \times 10^7$	$5,6 \times 10^7$	$6,0 \times 10^7$	$6,1 \times 10^7$
2	$3,8 \times 10^7$	$6,1 \times 10^7$	$6,5 \times 10^7$	$6,5 \times 10^7$
3	$2,9 \times 10^7$	$4,8 \times 10^7$	$5,1 \times 10^7$	$5,2 \times 10^7$
4	$3,4 \times 10^7$	$5,6 \times 10^7$	$6,0 \times 10^7$	$6,0 \times 10^7$
5	$3,1 \times 10^7$	$5,1 \times 10^7$	$5,4 \times 10^7$	$5,5 \times 10^7$
6	$3,5 \times 10^7$	$5,8 \times 10^7$	$6,1 \times 10^7$	$6,2 \times 10^7$
7	$4,6 \times 10^7$	$7,3 \times 10^7$	$7,8 \times 10^7$	$7,9 \times 10^7$
8	$5,4 \times 10^7$	$8,8 \times 10^7$	$9,4 \times 10^7$	$9,5 \times 10^7$
9	$3,4 \times 10^7$	$5,5 \times 10^7$	$5,9 \times 10^7$	$5,9 \times 10^7$
10	$6,0 \times 10^7$	$9,8 \times 10^7$	$1,0 \times 10^7$	$1,0 \times 10^7$
Rata - Rata	$4,0 \times 10^7$	$6,4 \times 10^7$	$6,9 \times 10^7$	$6,9 \times 10^7$

Gambar 4. Hasil analisis debit sedimen dasar (*bed load*) pada periode ulang 1 Tahunan

Gambar 5. Hasil analisis debit sedimen dasar (*bed load*) pada periode ulang 2 Tahunan

Gambar 6. Hasil analisis debit sedimen dasar (*bed load*) pada periode ulang 5 Tahunan

Gambar 7. Hasil analisis debit sedimen dasar (*bed load*) pada periode ulang 10 Tahunan

Hasil perhitungan dan analisis debit sedimen menggunakan metode yang ada yaitu metode Rottner dan Van Rijn, menunjukkan nilai yang berbeda-beda. Perbedaan tersebut dikarenakan karakteristik serta parameter – parameter yang dimiliki kedua metode, selain itu nilai gradasi butiran dari tiap sampel yang berbeda juga menjadi faktor.

Menurut Van Rijn (1984), persamaan dalam menghitung angkutan sedimen dapat sesuai atau disyaratkan untuk diameter butiran yang memiliki nilai range antara 200 -2000 μm (0,2 – 2 mm) sedangkan hasil diameter butiran sampel (untuk metode Van Rijn, diameter butiran yang digunakan adalah d_{50} dan d_{90}) yang diperoleh dari hasil pengukuran melebihi 2 mm.

Sedangkan Rottner dalam persamaannya menggunakan atau merujuk dari data pengukuran yang dilakukan Gilbert, C.H.MacDougall, S.D.Chyn, Jorissen, U.S.W.E.S., T.Y Liu, C.H.Yen, M.P.O'Brien, H.C Casey dan Pang-Yuang Ho. Dimana pada pengukuran tersebut digunakan diameter butiran yang memiliki nilai range 0,2 – 15 mm yang artinya diameter butiran yang diperoleh dari hasil pengukuran sesuai atau termasuk dalam range yang ada.

Atas pertimbangan nilai diameter butiran yang tidak sesuai dan nilai perhitungan yang diperoleh dari metode Van Rijn, maka metode tersebut tidak sesuai untuk digunakan sedangkan untuk

metode Rottner sendiri dari nilai diameter butiran dan hasil perhitungan sudah sesuai untuk menggambarkan kondisi dilapangan. Sehingga metode Rottner dipilih sebagai tolak ukur dalam analisis angkutan sedimen di Sungai Sombe.

Analisis terkait aktivitas penambangan dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap perubahan dasar sungai di Sungai Sombe. Pengamatan aktivitas penambangan dilakukan selama 7 hari dengan durasi pengamatan selama 2 jam. Dimana lokasi penambangan tersebut berada diantara titik 9 dan titik 10 dari pengambilan sampel (T.L₉ – T.L₁₀) sehingga diperoleh data sebagai berikut, terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Data Penambangan Pasir di Sungai Sombe

Hari	Jam	Jumlah Truk	Total Penambangan (Jumlah Truk x Jam Kerja)	Volume penambangan (Total Penambangan x Kapasitas Truk)	
				m ³ /hari	Ton/tahun
1	08.36 -10.03	3	21	147	116,87
2	08.20 - 10.08	3	21	147	116,87
3	08.12 - 10.05	10	70	490	389,55
4	08.20 - 10.08	9	63	441	350,60
5	08.02 - 10.04	3	21	147	116,87
6	08.01 - 09.58	9	63	441	350,60
7	08.11 - 10.09	2	14	98	77,91
Total				1911	1519,25

Keterangan :

- Kapasitas 1 truk = 7 m³
- Jam kerja penambang rata – rata berkisar antara 7 jam (08.00 – 15.00) dengan waktu kerja selama 25 hari dalam sebulan (300 hari kerja)
- Pengamatan dilakukan selama 2 jam (artinya 5 jam sisanya diasumsikan jumlah truk yang menambang sama dengan pada saat diamati)

Dari Tabel 5 dapat diketahui bahwa volume aktivitas penambangan pasir yang ada di Sungai Sombe adalah sebesar 1911 m³/hari. Dengan perkiraan waktu kerja selama 25 hari dalam sebulan (300 hari kerja dalam setahun), maka diperoleh volume penambangan per tahun adalah sebesar 1519,25 Ton/tahun.

Adapun hasil perhitungan volume penambangan dapat dijabarkan seperti berikut ini :

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Penambangan} &= \text{Total Penambangan} \times \text{Kapasitas Truk} \\
 &= 21 \times 7 \text{ m}^3 \\
 &= 147 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 147 \text{ m}^3/\text{hari} \times 300 \text{ hari} \times \frac{\rho_s}{1000} \\
 &= 147 \text{ m}^3/\text{hari} \times 300 \text{ hari} \times \frac{2,65}{1000} \\
 &= 116,87 \text{ Ton/tahun}
 \end{aligned}$$

Seperti dipaparkan pada bab sebelumnya , bahwa sungai dapat dikatakan dalam keadaan seimbang apabila kapasitas

sedimen yang masuk (Q_{in}) pada suatu penampang memanjang sungai sama dengan kapasitas sedimen yang keluar (Q_{out}) dalam satuan waktu tertentu. Apabila kapasitas sedimen yang masuk kurang dari kapasitas sedimen yang keluar

Tabel 6. Imbangan Sedimen di Sungai Sombe

Titik Lokasi	Debit Sedimen Ton/tahun	Imbangan Sedimen		Debit Sedimen Ton/tahun	Imbangan Sedimen		Debit Sedimen Ton/tahun	Imbangan Sedimen		Debit Sedimen Ton/tahun	Imbangan Sedimen	
T.L ₁	2,0,E+07	-1,E+06	erosi	3,5,E+07	-2,E+06	erosi	3,8,E+07	-2,E+06	erosi	3,8,E+07	-2,E+06	erosi
T.L ₂	2,1,E+07	7,E+05	deposisi	3,7,E+07	1,E+06	deposisi	3,9,E+07	1,E+06	deposisi	4,0,E+07	1,E+06	deposisi
T.L ₃	2,1,E+07	-2,E+05	erosi	3,6,E+07	-3,E+05	erosi	3,8,E+07	-3,E+05	erosi	3,9,E+07	-3,E+05	erosi
T.L ₄	2,1,E+07	-2,E+05	erosi	3,6,E+07	-4,E+05	erosi	3,9,E+07	-4,E+05	erosi	3,9,E+07	-4,E+05	erosi
T.L ₅	2,1,E+07	3,E+05	deposisi	3,6,E+07	5,E+05	deposisi	3,9,E+07	5,E+05	deposisi	3,9,E+07	5,E+05	deposisi
T.L ₆	2,1,E+07	3,E+05	deposisi	3,6,E+07	6,E+05	deposisi	3,8,E+07	6,E+05	deposisi	3,9,E+07	6,E+05	deposisi
T.L ₇	2,0,E+07	1,E+06	deposisi	3,5,E+07	2,E+06	deposisi	3,8,E+07	2,E+06	deposisi	3,8,E+07	2,E+06	deposisi
T.L ₈	1,9,E+07	-2,E+06	erosi	3,3,E+07	-3,E+06	erosi	3,6,E+07	-3,E+06	erosi	3,6,E+07	-3,E+06	erosi
T.L ₉	2,1,E+07	2,E+06	deposisi	3,7,E+07	4,E+06	deposisi	3,9,E+07	4,E+06	deposisi	4,0,E+07	4,E+06	deposisi
T.L ₁₀	1,9,E+07			3,3,E+07			3,5,E+07			3,6,E+07

Gambar 8. Skema Angkutan Sedimen dan aktivitas penambangan pasir yang ada pada ruas T.L₉-T.L₁₀ di Sungai Sombe.

Dari Tabel 6 dan Gambar 8 diketahui bahwa, debit sedimen yang terdapat aktivitas penambangan didalamnya, memiliki nilai yaitu T.L₉ = $2,1 \times 10^7$ dan T.L₁₀ = $1,9 \times 10^7$, maka :

$$\begin{aligned}
 &= T.L_9 - T.L_{10} \\
 &= 2,1 \times 10^7 - 1,9 \times 10^7 \\
 &= 2,0 \times 10^6
 \end{aligned}$$

Aliran yang masuk (Q_{in}) pada ruas T.L₉ memiliki nilai lebih besar dibandingkan aliran yang keluar T.L₁₀ (Q_{out}), artinya pada lokasi tersebut terjadi pengendapan atau deposisi. Oleh karena itu, pada lokasi tersebut masih dapat untuk dilakukan

maka terjadi penggerusan atau erosi, sebaliknya ketika kapasitas sedimen yang masuk lebih dari kapasitas sedimen yang keluar maka terjadi pengendapan atau deposisi. sehingga diperoleh hasil seperti pada Tabel 6 dan Gambar 8.

penambangan. Adapun beberapa opsi lain atau pilihan lokasi yang bisa dipilih selain ruas T.L₉ – T.L₁₀ sebagai lokasi penambangan yaitu pada ruas T.L₂ – T.L₃; ruas T.L₅ – T.L₆; ruas T.L₆ – T.L₇ dan ruas T.L₇ – T.L₈.

KESIMPULAN

1. Pada perhitungan dan analisis diperoleh besaran debit sedimen dengan interval kejadian (Periode ulang) yaitu 1 tahunan, 2 tahunan, 5 tahunan, dan 10 tahunan yaitu Metode Rottner sebesar $2,1 \times 10^7 - 3,8 \times 10^7$ Ton/tahun, metode Van Rijn sebesar $4,0 \times 10^7 - 6,9 \times 10^7$ Ton/tahun. Berdasarkan perbandingan dari kedua metode yang digunakan, diperoleh bahwa metode Rottner dipilih sebagai tolak ukur dalam analisis angkutan sedimen di Sungai Sombe.
2. Adanya perbedaan hasil debit sedimen yang diperoleh dari kedua metode, dipengaruhi oleh nilai gradasi atau diameter butiran dari tiap sampel yang berbeda, serta karakteristik dari

- metode yang digunakan juga menentukan hasil tersebut.
- Hasil pengamatan yang dilakukan selama 7 hari dilapangan diperoleh volume penambangan pasir di Sungai Sombe adalah sebesar $1911 \text{ m}^3/\text{hari}$. Dengan perkiraan waktu kerja selama 25 hari dalam sebulan (300 hari kerja dalam setahun), maka diperoleh volume penambangan per tahun adalah sebesar 1519,25 Ton/tahun.
 - Berdasarkan analisis diketahui bahwa aliran yang masuk (Q_{in}) pada lokasi penambangan pasir yakni pada ruas T.L₉ – T.L₁₀ memiliki nilai lebih besar dibandingkan dengan debit yang keluar (Q_{out}), yang artinya pada lokasi tersebut terjadi pengendapan atau deposisi. Oleh karena itu, pada lokasi tersebut tidak disarankan untuk dilakukan penambangan. Adapun pilihan atau opsi lokasi yang bisa dipilih sebagai lokasi penambangan selain ruas T.L₉ – T.L₁₀ yaitu pada ruas T.L₂ – T.L₃; ruas T.L₅ – T.L₆; ruas T.L₆ – T.L₇ dan ruas T.L₇ – T.L₈.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, Chay., 2010. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W., 1988. Applied Hydrology. McGraw-Hill International Edition, New York.
- Fauziyah, Risky., 2018. Study of Sediment Transport At Pabelan River, Magelang Regency, Central Java. Tesis. Yogyakarta: Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Ikhwan, Rifyanul., Siddhi Saputro., dan Hariadi, 2015. Studi Sebaran Sedimen Dasar di Sekitar Muara Sungai Pekalongan, Kota Pekalongan. Jurnal Oseanografi, Vol.4, No.3. Hal. 617-624, Semarang.
- Mulyanto H R., 2007. *Sungai Fungsi & Sifat – sifatnya*. Yogyakarta : Graha Ilmu
- Pratama, Muhammad Iqbal., 2019. Analisis Angkutan Sedimen pada Sungai Sombe, Palu, Sulawesi Tengah. Tesis. Yogyakarta : Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Pratama, Muhammad Iqbal., Djoko Legono., dan Adam Pamudji Raharjo 2019. Analisis Angkutan Sedimen pada Sungai Sombe, Palu, Sulawesi Tengah. Civil Engineering and Environmental Symposium. 1 September: V-1
- Rafsanjani, H., 2017. Bed Load Analysis of Sesayap River, Malinau District, North Kalimantan Province. Journal of The Civil Engineering Forum, Vol.3 No.3
- Rijn, L. C. Van., 1981. Computation of Bed-Load Concentration and Bed-Load Transport. Delft Hydraulics Laboratory, Research Report 487-I, Delft, The Netherlands
- Rottner, J., 1959. A Formula for Bed-Load Transportation. La Houille Blanche, Vol.14 No.3. pp. 285-307
- Saud, Ismail., 2008, Prediksi Sedimentasi Kali Mas Surabaya, Surabaya : FTSP-ITS
- Soemarto, CD., 1995. *Hidrologi Teknik*, Edisi II, Erlangga, Jakarta.
- Sri Harto Br., 2009, *Hidrologi, Teori-Masalah-Penyelesaian*, Nafiri Offset, Yogyakarta
- Sudira, I Wayan., Tiny Mananoma., H.Manalip. 2013. *Analisis Angkutan Sedimen Pada Sungai Mansahan*. Publikasi. Jurnal Ilmiah Media Engineering, Vol.3, No.1, Hal. 54-57.
- Sumarauw, Jeffry., 2016. *Pola Distribusi Hujan Jam – Jaman Daerah Minahasa Selatan dan Tenggara*. Jurnal Sipil Statik. Vol.4 No.11

Triatmodjo, B., 2009, *Hidrologi Terapan*,
Cetakan kedua, Beta Offset,
Yogyakarta
U.S. Interagency Committe., 1957.
Measurement and Analysis of

Sediment Loads in Stream.
Minneapolis, Minnesota
Yuliana, Silvy., 2008. *Kajian Ulang*
Hidrologi. Buku Ajar Fakultas
Teknik Universitas Indonesia,
Jakarta.