

# ANALISIS ANGKUTAN SEDIMEN PADA SUNGAI BENGAWAN SOLO RUAS SERENAN-JURUG

Djirjize Abdul Hakim F<sup>1)</sup>, Suyanto<sup>2)</sup>, Solichin<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

<sup>2), 3)</sup> Pengajar Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524. Email: [djirjize.fatkhurrohman@gmail.com](mailto:djirjize.fatkhurrohman@gmail.com)

## Abstract

*River as a natural open channel (natural flow channel) has a flow rate that sometimes changes on stream. The flow rate changes affects the stability of the river itself as an open channel, because changes in the flow velocity can result in scour (scouring) on one side and deposition (sedimentation) on the other side. The rate of scour and deposition that occurs in the Bengawan Solo River depends on the amount of sediment transport that occurs on the Bengawan Solo River. The sediment samples are taken from the Bengawan Solo River Serenan-Jurug segment at 5 location points. Research is conducted at the Laboratory of Soil Mechanics to test the specific gravity of sediment, sieve analysis and hydrometer analysis. The amount of sediment transport is calculated using the Ackers-White, Englund-Hansen and Yang's methods. The results of the analysis and calculation of transport shows sediment due to maximum discharge in the Solo River produces the largest sediment transport in the amount of  $1,679 \times 10^{-3}$  kg / sec according to Ackers-White method,  $3,69 \times 10^{-3}$  kg / sec according to Englund Hansen method and 134,7 kg / dt according to Yang's method. As a result of the maximum discharge in Bengawan Solo River, the largest river bottom rise is  $1,37 \times 10^{-12}$  m and the biggest drop in the river bottom is  $1,251 \times 10^{-12}$  m in January.*

**Keywords:** Sediment transport, Bed load, Bengawan Solo, Serenan, Jurug

## Abstrak

Sungai sebagai saluran terbuka alami (natural flow channel) memiliki kecepatan aliran yang kadang berubah-ubah pada aliran sungai. Keadaan kecepatan aliran yang berubah-ubah ini mempengaruhi stabilitas sungai sendiri sebagai saluran terbuka, karena perubahan kecepatan aliran tersebut dapat mengakibatkan terjadinya gerusan (scouring) di satu sisi dan pengendapan (sedimentasi) di sisi lain. Laju penggerusan dan pengendapan yang terjadi di Sungai Bengawan Solo bergantung pada besarnya angkutan sedimen yang terjadi pada Sungai Bengawan Solo. Pengambilan sampel sedimen dilakukan di Sungai Bengawan Solo ruas Serenan-Jurug dengan mengambil 5 titik lokasi. Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dengan menguji berat jenis sedimen, analisis saringan dan analisis hidrometer. Perhitungan angkutan sedimen menggunakan Metode Ackers-White, Englund-Hansen dan Yang's. Hasil analisis dan perhitungan menunjukkan angkutan sedimen akibat debit maksimum di Sungai Bengawan Solo menghasilkan angkutan sedimen terbesar yaitu sebesar  $1,679 \times 10^{-3}$  kg/dt menurut Metode Ackers-White,  $3,69 \times 10^{-3}$  kg/dt menurut Metode Englund Hansen dan 134,7 kg/dt menurut Metode Yang's. Akibat debit maksimum Sungai Bengawan Solo kenaikan dasar sungai terbesar yaitu  $1,37 \times 10^{-12}$  m dan penurunan dasar sungai terbesar yaitu  $1,251 \times 10^{-12}$  m pada Bulan Januari.

**Kata kunci:** Angkutan sedimen, Sedimen dasar, Bengawan Solo, Serenan, Jurug

## PENDAHULUAN

Sungai merupakan salah satu sumber daya air yang memiliki banyak manfaat bagi kehidupan umat manusia. Manfaat sungai bagi kehidupan umat manusia antara lain, sebagai sumber air minum, pembangkit tenaga listrik, perikanan, pariwisata, pengendali intrusi air laut, maupun sebagai saluran drainase alami. Sungai dapat berfungsi dengan baik apabila sungai berada dalam keadaan stabil. Sungai yang ada pada kategori stabil adalah sungai yang tidak mengalami perubahan kedalaman dasar perairan dan bentuk dari sungai tersebut. Namun, sungai sebagai saluran terbuka alami (natural flow channel) memiliki kecepatan aliran yang kadang berubah-ubah pada aliran sungai. Keadaan kecepatan aliran yang berubah-ubah ini mempengaruhi stabilitas sungai sendiri sebagai saluran terbuka, karena perubahan kecepatan aliran tersebut dapat mengakibatkan terjadinya gerusan (scouring) di satu sisi dan pengendapan (sedimentasi) di sisi lain. Terjadinya gerusan (scour) dan sedimentasi tadi tentunya akan mempengaruhi stabilitas sungai seperti yang diungkapkan oleh Coleman (1986), partikel-partikel angkutan sedimen berpengaruh pada pengurangan kecepatan aliran pada wilayah dalam, demikian pula ketebalan. Pengaruh lainnya adalah, angkutan sedimen dapat mengakibatkan menurunnya kualitas air yang berdampak negatif pada pemakaian air karena terhambatnya distribusi air yang ada pada sungai tersebut. Bengawan Solo sebagai saluran terbuka alami salah satu sungai besar di Pulau Jawa yang dimanfaatkan banyak sekali warga dengan berbagai fungsinya memiliki laju sedimentasi yang tinggi baik dari erosi lahan, erupsi gunung maupun sedimentasi akibat sumbangan dari anak-anak sungai Bengawan Solo dan campur tangan manusia. Hal ini tentu merupakan suatu fenomena yang harus diperhitungkan karena berhubungan dengan kepentingan banyak aspek, dari ekonomi, ekologi, dan tentu saja aspek sosial masyarakat. Berdasarkan uraian di atas, maka perlu dilakukan penelitian tentang besar angkutan sedimen yang terjadi di Bengawan Solo dan pola angkutan sedimen baik laju

penggerusan maupun laju pengendapan, dua hal itu menjadi titik berat penelitian ini. Penelitian ini akan menggunakan metode Ackers-White, Englund Hansen dan Yang's untuk mengetahui besaran dan pola angkutan sedimen yang terjadi pada Sungai Bengawan Solo akibat debit maksimum tahun 2009-2013 di ruas Serenan-Jurug.

**LANDASAN TEORI**

Sasaran utama dari penelitian ini ialah menentukan besar angkutan sedimen dasar dengan menggunakan metode Ackers-White, Englund-Hansen dan Yang's. Sebelum menentukan besar angkutan sedimeterlebih dahulu kita harus mengetahui permulaan gerak butiran sedimen dan kecepatan jatuh sedimen.

Ackers-White mengembangkan teori untuk angkutan sedimen beban total. Persamaan ini dikembangkan berdasarkan ukuran diameter butiran sedimen tak berdimensi dan mobilitas partikel sedimen. Parameter ukuran yang tidak berdimensi digunakan untuk membedakan antara ukuran sedimen halus, transisi dan kasar. Rumus umum Ackers-White (1973) sebagai berikut:

$$X = \frac{G_{gr} \cdot \frac{\gamma_s}{\gamma} \cdot D_{50}}{H \cdot \left(\frac{U_*}{V}\right)^n} \dots\dots\dots [1]$$

Dimana  $X$  konsentrasi angkutan sedimen (ppm),  $G_{gr}$  tingkat angkutan sedimen tak berdimensi,  $\gamma_s$  dan  $\gamma$  berat jenis sedimen dan berat jenis air ( $\text{kg/m}^3$ ),  $D_{50}$  diameter butiran (m),  $H$  kedalaman air (m),  $U_*$  kecepatan geser (m/dt),  $V$  kecepatan aliran (m/dt) dan  $n$  transisi eksponen.

Englund-Hansen (1972) mernerapkan konsep Bagnold dan prinsip persamaan

$$\phi = \frac{q_s}{\gamma_s} \left[ \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) g D_{50}^3 \right]^{-1/2} \dots\dots\dots [2]$$

Dimana  $\phi$  parameter dari Englund Hansen,  $q_s$  konsentrasi angkutan sedimen ( $\text{kg/m} \cdot \text{dt}$ ),  $\gamma_s$  dan  $\gamma$  berat jenis sedimen dan berat jenis air ( $\text{kg/m}^3$ ),  $g$  percepatan gravitasi ( $\text{m/dt}^2$ ) dan  $D_{50}$  diameter butiran (m).

Persamaan Yang's didasarkan pada konsep bahwa jumlah angkutan sedimen berbanding lurus dengan jumlah energi aliran. Dari hasil analisa dan interpretasi data, baik data lapangan maupun data percobaan diperoleh hubungan antara konsentrasi angkutan sedimen dengan unit stream power dengan persamaan:

$$\log C_t = 5,435 - 0,286 \log \left[ \frac{\omega \cdot D_{50}}{v} \right] - 0,457 \log \left[ \frac{U_*}{\omega} \right] + 1,799 - 0,409 \log \left[ \frac{\omega \cdot D_{50}}{v} \right] - 0,314 \log \left[ \frac{U_*}{\omega} \right] \log \left[ \frac{V \cdot S}{\omega} - \frac{V_{cr} \cdot S}{\omega} \right] \dots [3]$$

Dimana  $C_t$  konsentrasi angkutan sedimen (ppm),  $\omega$  kecepatan jatuh (m/dt),  $D_{50}$  diameter butiran (m),  $v$  viskositas ( $\text{m}^2/\text{dt}$ ),  $V$  kecepatan aliran (m/dt),  $V_{cr}$  kecepatan kritis (m/dt) dan  $S$  kemiringan saluran.

**Tahapan Penelitian**

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah mengumpulkan data hidraulik meliputi debit dan *cross section* dan *long profile* Sungai Bengawan Solo pada ruas yang diteliti yaitu Serenan-Jurug. Dari data yang diperoleh, diambil debit bulanan maksimum yang terjadi pada sungai Bengawan Solo dalam kurun 5 tahun terakhir. Selain itu dibutuhkan sampel sedimen Sungai Bengawan Solo. Lokasi pengambilan sampel sedimen dasar (*bed load*) sebanyak 5 titik lokasi, yaitu sesuai dengan data *cross section* dari BPSDA Bengawan Solo. Kemudian sampel sedimen dibawa ke laboratorium untuk dilakukan uji yang meliputi: analisis berat jenis sedimen, analisis saringan dan analisis hidrometer. Sebelum menghitung angkutan sedimen terlebih dahulu menghitung permulaan gerak sedimen. Bila sedimen bergerak maka dilakukan perhitungan angkutan sedimen. Perhitungan angkutan sedimen menggunakan Metode Ackers-White, Englund-Hansen dan Yang's.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Analisis Sedimen**

Berat jenis sedimen dapat diketahui dengan percobaan Specific Gravity yang menggunakan Picnometer. Dari hasil percobaan didapat nilai  $\gamma_s = 3297,6537 \text{ kg/m}^3$  dan  $\gamma = 996,27 \text{ kg/m}^3$ . Diameter butiran sedimen dapat diketahui dengan melakukan analisis hidrometer (hydrometer anlysis) dan analisis saringan (sieve analysis). Awalnya sampel sedimen diuji dengan analisis hidrometer, kemudian sedimen yang tertinggal di saringan no 200 ASTM diuji dengan analisis saringan. Besar diameter butiran yang didapat sebesar  $D_{50} = 0,4828 \text{ mm}$ .

**Analisis Debit**

Debit yang digunakan adalah debit maksimum yang terjadi antara tahun 2009-2013 pada Sungai Bengawan Solo. Besarnya debit Sungai Sungai Bengawan Solo dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Debit Sungai Bengawan Solo

Bulan	Debit (m <sup>3</sup> /dt)	Bulan	Debit (m <sup>3</sup> /dt)
Januari	2401.49	Juli	201.53
Februari	1944.38	Agustus	160.20
Maret	1087.35	September	718.96
April	806.80	Oktober	561.30
Mei	1986.72	November	1501.20
Juni	747.37	Desember	1174.86

Sumber: BPSDA Bengawan Solo

### Analisis Angkutan Sedimen

#### Metode Ackers-White

Contoh perhitungan angkutan sedimen dengan Metode Ackers-White pada sta 4 bulan Januari akibat debit bulanan maksimum Sungai Bengawan Solo pada bulan Januari.

Data yang diketahui:

$$Q = 2401,05 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = 8,417 \text{ m}$$

$$D_{50} = 0,000483 \text{ m}$$

$$S = 0,000421$$

$$B = 82,9 \text{ m}$$

$$\gamma_s = 3297,654 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_w = 996,27 \text{ kg/m}^3$$

Langkah perhitungan:

$$A = (B+mH)H \\ = (82,9 + 4 \cdot 8,417)8,417 = 941,681 \text{ m}^2$$

$$P = B+2H\sqrt{1+m} \\ = 82,9+2 \cdot 8,417\sqrt{1+4} = 150,176 \text{ m}$$

$$R = A/P \\ = 941,681/150,176 = 6,2705 \text{ m}$$

$$U_* = \sqrt{g R S} \\ = \sqrt{9,81 \times 6,2705 \times 0,000421} = 0,161 \text{ m/dt}$$

$$V = Q/A = 2401,05,07/941,681 \\ = 2,550 \text{ m/dt}$$

$$D_{gr} = D_{50} \cdot ((\Delta \cdot g) / v^2)^{1/3} \\ = 0,000483 \cdot ((2,241 \times 9,81) / ((1,25 \cdot 10)^{-6})^2)^{1/3} \\ = 11,775$$

$$m = 1,34 + 9,66 / D_{gr} \\ = 1,34 + 9,66 / 11,775 \\ = 2,160$$

$$n = 1 - (0,56 \log^{0,01}(D_{gr})) \\ = 1 - (0,56 \log 11,775) = 0,400254$$

$$C = (10)^{(-3,53 + 2,86 \log^{0,01}(D_{gr}) + (\log^{0,01}(D_{gr}))^2)} \\ = (10)^{(-3,53 + 2,86 \log^{0,01}11,775 + (\log^{0,01}11,775)^2)} \\ = 0,024$$

$$A_1 = 0,14 + 0,23 / \sqrt{D_{gr}} \\ = 0,14 + 0,23 / \sqrt{11,775} = 0,207$$

$$F_{gr} = ((U_*^n) / \sqrt{(\Delta \cdot g \cdot D_{50}))} \cdot (V / (\sqrt{32 \log^{0,01}(\alpha \cdot H) / D_{50}}))^{(1-n)} \\ = ((0,161)^{0,400254} / \sqrt{2,310 \cdot 9,81 \cdot 0,000444}) \cdot (2,4375 / (\sqrt{32 \log^{0,01}((10 \cdot 8,417) / (0,000483))}))^{(1-0,400254)} \\ = 1,058$$

$$G_{gr} = C \cdot [F_{gr} / A_1 - 1]^m \\ = 0,024 \cdot [1,058 / 0,207 - 1]^2,160 \\ = 0,516$$

$$\begin{aligned}
X &= (G_{gr} \cdot \gamma_s / \gamma_w \cdot D_{50}) / (H \cdot (U_* / V)^n) \\
&= (0,516 \cdot (3297,654) / 996,27 \cdot 0,000483) / (8,417 \cdot (0,161 / (2,550))^0,400254) \\
&= 0,00031 \text{ ppm} \\
&= 3,06 \times 10^{-7} \text{ kg/m}^3 \\
Q_s &= X \cdot Q \\
&= 3,06 \times 10^{-7} \times 2401,05 = 7,35 \times 10^{-3} \text{ kg/dt} \\
Q_s &= 7,34 \times 10^{-4} \times 86400 \\
&= 63,473 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

### Metode Englund-Hansen

Contoh perhitungan angkutan sedimen dengan Metode Englund-Hansen pada sta 2 bulan Januari akibat debit bulanan maksimum Sungai Bengawan Solo pada bulan Januari.

Data yang diketahui:

$$\begin{aligned}
Q &= 2401,05 \text{ m}^3/\text{s} \\
H &= 11,464 \text{ m} \\
D_{50} &= 0,000483 \text{ m} \\
S &= 0,000421 \\
B &= 36 \text{ m} \\
\gamma_s &= 3297,654 \text{ kg/m}^3 \\
\gamma_w &= 996,27 \text{ kg/m}^3 \\
g &= 9,81 \text{ m/s}^2
\end{aligned}$$

Langkah perhitungan:

$$\begin{aligned}
A &= (B+mH)H \\
&= (36+4 \cdot 11,464) \cdot 11,464 = 938,344 \text{ m}^2 \\
P &= B+2H\sqrt{1+m} \\
&= 36+2 \cdot 11,464\sqrt{1+4} = 130,531 \text{ m} \\
V &= Q/A = 2401,05,07 / (938,344) \\
&= 2,559 \text{ m/dt} \\
\tau_o &= \gamma_w H S \\
&= 996,27 \times 11,464 \times 0,000421 = 4,81 \text{ kg/m}^2 \\
f' &= 2 \cdot g \cdot S \cdot H / V^2 \\
&= (2 \times 9,81 \times 0,000421 \times 11,464) / (2,559)^2 \\
&= 0,014 \\
\theta &= \tau_o / ((\gamma_s - \gamma_w) D_{50}) \\
&= (4,81) / ((3297,654 - 996,27) \cdot 0,000483) \\
&= 4,33032 \\
\phi &= 0,1 / f' \theta^{(1/2)} \\
&= 0,1 / 0,014 \cdot [4,33032]^{(1/2)} \\
&= 269,705 \\
q_s &= \phi \cdot \gamma_s \cdot [((\gamma_s - \gamma_w) / \gamma_w) g [D_{50}]^3]^{(1/2)} \\
&= 269,705 \times 3297,654 \cdot [((3297,654 - 996,27) / 996,27) \cdot 9,81 \times [0,000483]^3]^{(1/2)} \\
&= 44,923 \text{ kg/m} \cdot \text{dt} \\
Q_{s1} &= B q_s \\
&= 36 \times 44,923 = 1617,219 \text{ kg/dt} \\
G_w &= \gamma_w B H V \\
&= 996,27 \times 36 \times 11,464 \times 2,559 = 1052253,74 \text{ kg/dt} \\
C_t &= Q_{s1} / G_w \\
&= 1617,219 / 1052253,74 = 0,00154 \text{ ppm} \\
&= 1,54 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3 \\
Q_s &= C_t \cdot Q \\
&= 1,54 \times 10^{-3} \times 2401,05 = 3,691 \times 10^{-3} \text{ kg/dt} \\
Q_s &= 3,691 \times 10^{-3} \times 86400 \\
&= 318,893 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

### Metode Yang's

Contoh perhitungan angkutan sedimen dengan Metode Yang's pada sta 2 bulan Januari akibat debit bulanan maksimum Sungai Bengawan Solo pada bulan Januari.

Data yang diketahui:

$$Q = 2401,05 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = 11,464 \text{ m}$$

$$D_{50} = 0,000483 \text{ m}$$

$$S = 0,000421$$

$$B = 36 \text{ m}$$

$$\gamma_s = 3297,654 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma = 996,27 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Langkah perhitungan:

$$A = (B+mH)H \\ = (36+4 \cdot 11,464) \cdot 11,464 = 938,344 \text{ m}^2$$

$$P = B + 2H\sqrt{1+m} \\ = 36 + 2 \cdot 11,464 \sqrt{1+4} = 130,531 \text{ m}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{2401,05,07}{938,344} \\ = 2,559 \text{ m/dt}$$

$$\omega = \frac{1}{18} \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w} g \frac{D_s^2}{v} \\ = \frac{1}{18} \frac{3297,654 - 996,27}{996,27} \cdot 9,81 \frac{0,000483^2}{1,25 \times 10^{-6}} = 0,235 \text{ m/dt}$$

$$R = A/P \\ = 941,681/150,176 = 6,2705 \text{ m}$$

$$U_* = \sqrt{g R S} \\ = \sqrt{9,81 \times 6,2705 \times 0,000421} = 0,161 \text{ m/dt}$$

$$V_{cr} = \left[ \frac{2,5}{\log\left(\frac{U_* D_{50}}{v}\right) - 0,06} + 0,66 \right] \times \omega \\ = \left[ \frac{2,5}{\log\left(\frac{0,161 \times 0,000483}{1,25 \times 10^{-6}}\right) - 0,06} + 0,66 \right] \times 0,235 \\ = 2,0777 \text{ m/dt}$$

$$M_1 = 5,435 - 0,286 \log\left[\frac{\omega \cdot D_{50}}{v}\right] - 0,457 \log\left[\frac{U_*}{\omega}\right] \\ = 5,435 - 0,286 \log\left[\frac{0,235 \times 0,000483}{1,25 \times 10^{-6}}\right] - 0,457 \log\left[\frac{0,161}{0,235}\right] \\ = 4,936$$

$$N_1 = 1,799 - 0,409 \log\left[\frac{\omega \cdot D_{50}}{v}\right] - 0,314 \log\left[\frac{U_*}{\omega}\right] \\ = 1,799 - 0,409 \log\left[\frac{0,235 \times 0,000483}{1,25 \times 10^{-6}}\right] - 0,314 \log\left[\frac{0,161}{0,235}\right] \\ = 1,040$$

$$\log C_t = M_1 + N_1 \log\left[\frac{V \cdot S}{\omega} - \frac{V_{cr} \cdot S}{\omega}\right] \\ \log C_t = 4,937 + 1,069 \log\left[\frac{2,559 \times 0,000421}{0,189} - \frac{2,0777 \times 0,000421}{0,189}\right]$$

$$\log C_t = 1,749$$

$$C_t = 10^{1,749} = 56,10591 \text{ ppm}$$

$$C_t = 0,0561 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_s = C_t \times Q$$

$$= 0,0561 \times 2401,005 = 134,738 \text{ kg/dt}$$

$$Q_s = 134,73 \times 86400$$

$$= 11641367,650 \text{ kg/hari}$$

### Analisis Penggerusan dan Pengendapan

Dari hasil perhitungan angkutan sedimen dapat digunakan untuk mengetahui kondisi dasar sungai mengalami penggerusan ataupun pengendapan. Yaitu dengan cara membandingkan besar angkutan sedimen pada dua

penampang yang berdekatan. Untuk mengetahui besarnya perubahan dasar sungai dengan menggunakan persamaan  $\Delta s = \frac{\Delta T}{\gamma_s \times B \times \Delta x}$ , dimana  $\Delta s$  penurunan/kenaikan dasar sungai (m),  $\Delta T$  selisih angkutan sedimen (kg/dt),  $\gamma_s$  berat jenis sedimen (kg/m<sup>3</sup>), B lebar dasar sungai (m) dan  $\Delta x$  jarak antar penampang (m).

Contoh perhitungan perubahan dasar sungai pada sta 1 dan sta 2 pada bulan Januari akibat debit bulanan maksimum Sungai Bengawan Solo dengan Metode Englund Hansen.

Data yang diketahui:

$$T_1 = 0.00369 \text{ kg/dt}$$

$$T_2 = 0.00311 \text{ kg/dt}$$

$$B = 61,1502 \text{ m}$$

$$\Delta x = 2285,633 \text{ m}$$

$$\gamma_s = 3297,654 \text{ kg/m}^3$$

Penyelesaian :

$$T_2 > T_1, \text{ mengalami pengendapan}$$

$$\begin{aligned} \Delta s &= \frac{\Delta T}{\gamma_s \times B \times \Delta x} \\ &= \frac{0.00369 - 0.00311}{3297,654 \times 61,1502 \times 2285,633} \\ &= 1,306 \times 10^{-12} \text{ m} \end{aligned}$$

### Pembahasan Angkutan Sedimen

Dari hasil perhitungan yang dilakukan, diketahui bahwa pada analisis pergerakan awal butiran sedimen yang dilakukan di 5 titik penampang menghasilkan seluruh butiran berada pada kondisi  $\tau_o > \tau_c$ , atau butiran bergerak. Perhitungan angkutan sedimen akibat debit maksimum Bengawan Solo menggunakan Metode Ackers-White, Englund-Hansen, dan Yang's menghasilkan angka angkutan sedimen yang didapat dari perhitungan menggunakan metode Yang's mendapatkan hasil paling besar. Hasil perhitungan menggunakan metode Ackers-White menghasilkan nilai terkecil dibanding metode perhitungan yang lainnya. Sedangkan analisis menggunakan metode Englund Hansen menghasilkan angka angkutan sedimen diantara kedua metode sebelumnya. Besar angkutan sedimen terbesar pada setiap bulan akibat debit bulanan maksimum pada Sungai Bengawan Solo dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Angkutan Sedimen Terbesar Setiap Bulan Akibat Debit Maksimum bulanan pada Sungai Bengawan Solo

Bulan	Q	Ackers-White	Englund Hansen	Yang's
	(m/dt)		(kg/dt)	
Januari	2401.50	0.000735	0.003691	134.738
Februari	1944.38	0.001680	0.002667	70.200
Maret	1087.35	0.000348	0.001058	65.017
April	806.80	0.000113	0.000660	60.953
Mei	1986.72	0.000556	0.002708	57.317
Juni	747.37	0.000152	0.000585	59.242
Juli	201.53	0.000085	0.000585	59.242
Agustus	160.20	0.000065	0.000048	23.922
September	718.96	0.000258	0.000550	58.312
Oktober	561.30	0.000215	0.000370	51.707
November	1501.20	0.000776	0.001753	60.558
Desember	1174.86	0.000368	0.001195	65.040

Dari Tabel 3 diketahui besar angkutan sedimen terbesar menurut Metode Ackers-White terjadi pada bulan Februari yaitu sebesar  $1,679 \times 10^{-3}$  kg/dt. Besar angkutan sedimen terbesar menurut Metode Englund Hansen terjadi pada bulan Januari sebesar  $3,69 \times 10^{-3}$  kg/dt sedangkan besar angkutan sedimen terbesar menurut Metode Yang's terjadi pada bulan Januari sebesar 134,7 kg/dt. Angkutan sedimen akibat debit bulanan maksimum dari Sungai Bengawan Solo menghasilkan tiga nilai yang berbeda antar metode. Dari ketiga metode yang digunakan Metode Yang's menghasilkan nilai yang terbesar. Dari perhitungan dapat diketahui bahwa saat debit maksimum terjadi pengendapan/sedimentasi. Hasil angkutan sedimen yang digunakan untuk menghitung perubahan dasar sungai akibat debit maksimum Sungai Bengawan Solo adalah perhitungan dengan Metode Englund Hansen.

## Pembahasan Penggerusan dan Pengendapan

Analisis angkutan sedimen yang telah dilakukan sebelumnya digunakan untuk mengetahui besarnya kenaikan atau penurunan dasar sungai yang terjadi di Sungai Bengawan Solo dari Serenan hingga Jurug pada saat debit bulanan maksimum. Analisis gerusan dan endapan menggunakan hasil angkutan sedimen dari metode Englund-Hansen karena metode ini menghasilkan angka yang tidak terlalu kecil dan tidak terlalu besar dibandingkan 2 metode yang lain.

Besar kenaikan dan penurunan terbesar dasar Sungai Bengawan Solo akibat debit bulanan maksimum dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Besar Kenaikan dan Penurunan Terbesar Dasar Sungai Bengawan Solo pada Debit Maksimum

Bulan	Q	Kenaikan	Penurunan
	(m/dt)	(m)	(m)
Januari	2401.50	1.307 x10 <sup>-12</sup>	-1.251x10 <sup>-12</sup>
Februari	1944.38	9.774 x10 <sup>-13</sup>	-9.153 x10 <sup>-13</sup>
Maret	1087.35	3.844 x10 <sup>-13</sup>	-3.513 x10 <sup>-13</sup>
April	806.80	2.500 x10 <sup>-13</sup>	-2.164 x10 <sup>-13</sup>
Mei	1986.72	8.955 x10 <sup>-13</sup>	-8.922 x10 <sup>-13</sup>
Juni	747.37	2.236 x10 <sup>-13</sup>	-1.905 x10 <sup>-13</sup>
Juli	201.53	2.236 x10 <sup>-13</sup>	-1.905 x10 <sup>-13</sup>
Agustus	160.20	2.092 x10 <sup>-14</sup>	-1.101 x10 <sup>-14</sup>
September	718.96	2.111 x10 <sup>-13</sup>	-1.786 x10 <sup>-13</sup>
Oktober	561.30	1.464 x10 <sup>-13</sup>	-1.172 x10 <sup>-13</sup>
November	1501.20	6.071 x10 <sup>-13</sup>	-5.830 x10 <sup>-13</sup>
Desember	1174.86	4.297 x10 <sup>-13</sup>	-3.974 x10 <sup>-13</sup>

Dari perhitungan Angkutan sedimen dan perhitungan laju penggerusan dan laju pengendapan yang terlampir, diketahui bahwa pola angkutan sedimen yang terjadi di Sungai Bengawan Solo dari Serenan hingga Jurug, jumlah pengendapan dan penggerusan yang terjadi di 5 titik penampang yang diteliti, seimbang kecuali pada bulan Desember dimana lebih banyak terjadi gerusan dibanding endapan. Pada tabel 4, diketahui bahwa kenaikan dasar sungai terbesar terjadi pada bulan Januari yaitu sebesar 1,37x10<sup>-12</sup>, sedangkan penurunan terbesar juga terjadi pada bulan Januari yaitu sebesar 1,251x10<sup>-12</sup>.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari analisis pergerakan awal butir sedimen : Analisis pergerakan awal butir sedimen yang dilakukan di 5 titik penampang menghasilkan seluruh butir beradaptasi pada kondisi  $\tau_o > \tau_c$ , atau butir bergerak.
2. Perhitungan angkutan sedimen di Sungai Bengawan Solo ruas Serenan hingga Jurug akibat debit maksimum dari tahun 2009-2013 menggunakan Metode Ackers-White, Englund Hansen dan Yang's menghasilkan hasil yang berbeda-beda. Metode Yang's menghasilkan angkutan sedimen terbesar, sedangkan metode Ackers-White menghasilkan angka angkutan sedimen terkecil dan metode Englund Hansen menghasilkan angka angkutan sedimen di antara kedua metode lainnya sehingga penulis menggunakan hasil dari metode Englund Hansen untuk menghitung analisis penggerusan dan pengendapan.
3. Akibat debit maksimum di Sungai Bengawan Solo menghasilkan angkutan sedimen terbesar yaitu sebesar 1,679 x10<sup>-3</sup> kg/dt menurut Metode Ackers-White, 3,69x10<sup>-3</sup> kg/dt menurut Metode Englund Hansen dan 134,7 kg/dt menurut Metode Yang's.
4. Akibat debit maksimum di Sungai Bengawan Solo pada ruas yang diteliti sepanjang 16,209 km dengan pembagian 5 titik penelitian, laju penggerusan dan laju pengendapan yang terjadi seimbang kecuali pada bulan Desember dimana sepanjang ruas tersebut lebih banyak mengalami pengendapan. Dengan adanya perbedaan angkutan sedimen setiap titik tinjauan dapat diketahui kenaikan dan penurunan dasar Sungai Bengawan Solo, yaitu:
5. Akibat debit maksimum Sungai Bengawan Solo kenaikan dasar sungai terbesar yaitu 1,37x10<sup>-12</sup> m dan penurunan dasar sungai terbesar yaitu 1,251x10<sup>-12</sup> m pada Bulan Januari.

## UCAPAN TERIMA KASIH

UcapanterimakasihkepadaIr. Suyanto, MM dan Ir. Solichin, MT yang telah membimbing, memberiarahandanmasukandalampenelitianini.

## REFERENSI

- AASHO, 1992, Pedoman Drainase Jalan Raya, UI Press : Jakarta.
- Alfarobi, M.Y.Y, 2010, Pengendalian Sedimentasi di Saluran Irigasi dengan Membangkitkan Arus Turbulensi, JTS FT UNS : Surakarta.
- Ang, Alfredo H.S., dan Wilson H.Tang., 1987, Konsep Konsep Probabilitas Dalam Perencanaan dan Perancangan Rekayasa, Erlangga : Jakarta.
- Azwar Samitra, 2013. Pengaruh Aliran Terhadap Formasi Bed Load Di Sungai Cikapundung - Bandung. Universitas Pendidikan Indonesia : Bandung
- Bambang, T., 2003, Hidraulika II, Beta Offset : Yogyakarta.
- Chow, V.T, 1985, Hidrolika Saluran Terbuka, Erlangga : Jakarta.
- Dyah Ari Wulandari, Kirno Kirno, 2010. Penyelidikan Pola Aliran Embung Samiran Dengan Uji Model Hidrolik Fisik. Universitas Diponegoro : Semarang
- Einstein, H. A., 1950. The Bed-Load Function for Sediment Transportation in Open Channel Flows. Washington D.C.
- Frijlink, H.C., 1985, Introduction To River Engineering. Vol 1, I.C.H.E. : New York.
- Garde, R.J., and K.G. Ranga Raju, 1977, Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems, Willey Eastern Ltd : New Delhi.
- Kironoto, B.A., 1997, Diktat Kuliah Transportasi Sedimen, Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada.
- Kusumaningrum, R., 2014, Analisis Angkutan Sedimen Anak Sungai Bengawan Solo pada Sungai Dengkeng, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret : Surakarta.
- Mokonio, O., 2013, Analisis di Muara Sedimentasi Di Muara Sungai Saluwangko di Desa Tounelet Kecamatan Kakas Kabupaten Minahasa, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi : Makassar
- Nur HYN., 2013, Kajian Angkutan Sedimen pada Sungai Bengawan Solo (Serenan-Jurug), JTS FT UNS : Surakarta.
- Pragnjono, M, 1987, Angkutan Endapan, PAU, Ilmu Teknik UGM : Yogyakarta.
- Ranga Raju, K.G., 1986, Aliran Melalui Saluran Terbuka, (Ed. Yan Piter Pangaribuan). Erlangga : Jakarta.
- Suyanto, dkk., 2001, Analisis Hidrolika dan Transportasi Sedimen pada Jaringan Anak Sungai Bengawan Solo, UNS : Surakarta.
- Sasrodarsono, Suyono, 1994, Perbaikandan Pengaturan Sungai, Pradnya Pramita, Jakarta.
- Suripin. 2004. Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan. Penerbit Andi, Yogyakarta
- Susanto, Dimas Bayu, 2008, Pengaruh Loncatan Hidraulik Terhadap Karakteristik Gerusan Lokal dan Timbunan Lokal di Hilir Pelimpah, JTS FT UNS : Surakarta.
- Vanoni VA, 1977, Sedimentation Engineering, Headquarters of USCE Society : New York.
- W Burner, Garry., 2002, HEC-RAS: River Analysis System Hydraulic Reference Manual US Army Corp of Engineers, United State.