

ANALISIS UKURAN BUTIRAN SEDIMEN PADA DAERAH HULU DAN HILIR SUDETAN WONOSARI SUNGAI BENGAWAN SOLO

Pury Mregawati¹⁾ Cahyono Ikhsan²⁾ Koosdaryani³⁾

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Program Studi teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

^{2) 3)} Pengajar Fakultas Teknik, Program Studi teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jln Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524.

Email : purymregawati@gmail.com

Abstract

Sedimentation is the deposition of rock material that have been transported by water or wind power. At the time of erosion occurs, the water carrying rocks flowing into rivers, lakes, and finally ended up in the sea. At the time of the transport force is reduced or run out, rocks deposited in the watershed, therefore this sedimentation can occur in rivers, lakes and the sea. Analysis of sediment grain size distribution is always associated with sediment transport that occurs and needed in the planning of the water related building. Among some of the granular nature of the sediment, sediment grain size is one of the most important properties and is widely used in sedimentation engineering. Grain size greatly affect the ease of determining the sediment transportation including more or less sediment is transported. This study aimed to determine the grain size distribution of sediment to find D_{50} which then can be used to determine the amount of sediment transportation that occurs in the upstream and downstream areas of Wonosari diversion. Sieve analysis showed an average sample of sediment from upstream diversion has a D_{50} of 0.276 mm and 0.446 mm in the downstream area. Sediment transport calculations using the Ackers-White methods showed that sediment transport in the upstream area of Wonosari diversion is 118,831 kg/year, while in the downstream area of Wonosari diversion is 91,476 kg/year.

Keywords: Ackers-White, D_{50} , sediment grain size, Wonosari diversion,

Abstrak

Sedimentasi adalah peristiwa pengendapan material batuan yang telah diangkut oleh tenaga air atau angin. Pada saat pengikisan terjadi, air membawa batuan mengalir ke sungai, danau, dan akhirnya sampai di laut. Pada saat kekuatan pengangkutannya berkurang atau habis, batuan diendapkan di daerah aliran air, karena itu pengendapan ini bisa terjadi di sungai, danau, dan di laut. Analisis distribusi ukuran butiran sedimen senantiasa berkaitan dengan angkutan sedimen yang terjadi dan dibutuhkan dalam perencanaan bangunan air. Diantara beberapa sifat butiran sedimen, ukuran butiran sedimen merupakan salah satu sifat yang penting dan banyak digunakan dalam bidang teknik sedimen. Ukuran butiran sangat mempengaruhi mudah tidaknya serta banyak sedikitnya sedimen yang ditranspor. Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran sampel sedimen untuk mencari D_{50} yang selanjutnya bisa digunakan untuk menentukan besarnya angkutan sedimen yang terjadi pada daerah hulu dan hilir Sudetan Wonosari. Analisis saringan menunjukkan rata-rata sampel sedimen dari daerah hulu sudetan mempunyai D_{50} sebesar 0,276 mm sedangkan daerah hilir 0,446 mm. Perhitungan angkutan sedimen menggunakan metode Ackers-White menunjukkan angkutan sedimen pada daerah hulu sudetan Wonosari sebesar 118,831 kg/tahun, dan pada daerah hilir sudetan Wonosari sebesar 91,476 kg/tahun.

Kata kunci: *Ackers-White, D_{50} , Sudetan Wonosari, ukuran butiran sedimen*

PENDAHULUAN

Sungai Bengawan Solo merupakan salah satu sungai terpanjang di Indonesia yang mengalir mulai dari area hulunya di Wonogiri dan Ponorogo hingga bermuara di daerah Gresik. Sungai Bengawan Solo merupakan sebuah sungai terbesar dan terpanjang di Pulau Jawa yang mempunyai panjang sekitar 548,53 km dan mengalir dua provinsi yaitu Jawa Tengah dan Jawa Timur. Sebagai sungai terpanjang di pulau jawa sudah pasti terjadi sedimentasi yang terus-menerus di dalam sungai Bengawan Solo. Sedimentasi merupakan proses pembentukan sedimen atau endapan, atau batuan sedimen yang diakibatkan oleh pengendapan atau akumulasi dari material pembentuk atau asalnya pada suatu tempat (Pettijohn dalam Mardiyanto, 2001). Analisis distribusi butiran sedimen senantiasa berkaitan dengan angkutan sedimen yang terjadi dan dibutuhkan dalam perencanaan bangunan air. Diantara beberapa sifat butiran sedimen, ukuran sedimen merupakan salah satu sifat yang penting dan banyak digunakan dalam bidang teknik sedimen.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka telah dilakukan suatu penelitian terhadap distribusi ukuran sedimen aliran sungai pada saluran terbuka dengan tampang trapesium Sungai Bengawan Solo. Melalui penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan wawasan dan memberikan masukan pada ilmu pengetahuan dimana karakter fisik material sedimen merupakan salah satu variabel yang sangat mempengaruhi perilaku aliran sedimen sehingga

dapat memberikan masukan berharga dalam upaya pengelolaan Sungai Bengawan Solo. Penelitian ini mengambil lokasi di Sudetan Wonosari yang merupakan daerah aliran sungai Bengawan Solo.

TINJAUAN PUSTAKA

Azhar Kholik Affandi dan Heron Surbakti (2012) melakukan studi Distribusi Sedimen Dasar di Perairan Pesisir Banyuasin, Sumatera Selatan Pengambilan sampel dilakukan menggunakan *Bottom Grab Sampler (Peterson Grab)*. Analisis ukuran butir menggunakan saringan ASTM. Menghasilkan kesimpulan Sedimen yang terdistribusi di perairan Banyuasin umumnya didominasi oleh ukuran kecil yaitu dalam kelompok lanau (silt) dengan kisaran sorting pada kategori poorly sorted dan moderately sorted serta skweness yang dominan simetris.

Anwar Khatib, dkk. melakukan Analisis Sedimentasi dan Alternatif Penanganannya di Pelabuhan Selat Baru Bengkalis menggunakan metode analisis saringan contoh sedimen Analisis kecepatan endap sedimen Perhitungan transpor sedimen menggunakan metode Ijama Sato. Dengan hasil analisis Hasil analisis ukuran butiran menunjukkan bahwa terdapat tiga fraksi sedimen yaitu pasir, lanau dan lempung dengan diameter yang beragam. Dari perhitungan analisa volume sedimen, diperoleh volume sedimen total yaitu 203,679 m³/hari dalam luasan alur pelayaran seluas 161.264,376 m², dengan tinggi sedimen yaitu 0,1 cm/hari.

Ratnasari Kusumaningrum (2015), telah melakukan analisis angkutan sedimen anak Sungai Bengawan Solo pada Sungai Dengkeng. Perhitungan angkutan sedimen menggunakan Metode Ackers-White, Englund-Hansen dan Yang's. Hasil analisis dan perhitungan menunjukkan angkutan sedimen terbesar akibat debit maksimum Sungai Dengkeng terjadi pada Bulan Desember dengan metode Ackers-White, Englund Hansen dan Yang's.

Klasifikasi Ukuran Butiran

Untuk dapat mendiskusikan ukuran butiran secara umum, perlu adanya penyeragaman nama atau klasifikasi suatu ukuran butiran. Klasifikasi ukuran butiran yang biasa digunakan oleh para ahli hidraulika adalah klasifikasi ukuran butiran yang diusulkan oleh The Subcommittee on Sediment Terminology dari AGU (*American Geophysical Union*) sebagaimana diperlihatkan pada tabel 2.4 di bawah ini.

Tabel 1. Klasifikasi Ukuran Butiran Menurut AGU

<i>Interval/range (mm)</i>	<i>Nama</i>
4 – 2	Kerikil sangat halus (Very Fine Gravel)
2 - 1	Pasir sangat kasar (Very Coarse Sand)
1 – 1/2	Pasir kasar (Coarse Sand)
1/2 – 1/4	Pasir sedang (Medium Sand)
1/4 – 1/8	Pasir Halus (Fine Sand)
1/8 – 1/16	Pasir sangat halus (Very Fine Sand)
1/16 – 1/32	Lumpur kasar (Coarse Silt)
1/32 – 1/64	Lumpur sedang (Medium Silt)
1/64 – 1/128	Lumpur halus (Fine Silt)
1/128 – 1/256	Lumpur sangat halus (Very Fine Silt)
1/256 – 1/512	Lempung Kasar (Coarse Clay)
1/512 – 1/1024	Lempung sedang (Medium Clay)
1/1024 – 1/2048	Lempung halus (Fine Clay)
1/2048 – 1/4096	Lempung sangat halus (Very Fine Clay)

Analisis Angkutan Sedimen Menggunakan Metode *Ackers-White*

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:

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

Dengan X adalah konsentrasi angkutan sedimen (ppm), G_{gr} adalah tingkat angkutan sedimen tak berdimensi, γ_s berat jenis sedimen, γ berat jenis air (kg/m³), D_{50} diameter butiran (m), H kedalaman air (m), U^* kecepatan geser (m/s), V adalah kecepatan aliran (m/s) dan n transisi eksponen.

METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis saringan sampel sedimen menggunakan saringan standar ASTM (*American Society for Testing and Materials*) untuk mengetahui besarnya D_{50} dari semua sampel sedimen yang ada. Pengujian berat jenis dilakukan menggunakan piknometer. Perhitungan angkutan sedimen Sudetan Wonosari bagian hulu dan hilir dilakukan menggunakan metode *Ackers-White*. Data-data sekunder seperti *cross section* Sudetan Wonosari didapat dari Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo. Selain itu dibutuhkan pula sampel sedimen dari sudetan Wonosari bagian hulu dan hilir. Lokasi pengambilan sampel sebanyak 10 titik di *cross section* P410 sampai dengan P419 dan sebanyak 10 titik di bagian hilir mulai dari *cross section* P461 sampai dengan P470.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Berat Jenis Menggunakan Piknometer

Hasil pengujian berat jenis sedimen menggunakan piknometer adalah sebagai berikut:

Tabel2. Hasil Penelitian Berat Jenis Sampel Sedimen Sudetan Wonosari

<i>Cross Section</i> (Hulu)	Berat Jenis Sampel Sedimen	<i>Cross Section</i> (Hilir)	Berat Jenis Sampel Sedimen
P.410	2,62	P.461	2,65
P.411	2,64	P.462	2,54
P.412	2,65	P.463	2,48
P.413	2,54	P.464	2,54
P.414	2,55	P.465	2,65
P.415	2,62	P.466	2,64
P.416	2,66	P.467	2,59
P.417	2,62	P.468	2,62
P.418	2,58	P.469	2,52
P.419	2,66	P.470	2,55
Rata-rata (Hulu)	2,61	Rata-rata (Hilir)	2,58

Analisis Saringan Sampel Sedimen

Dari grafik analisis saringan didapat D_{50} dari setiap sampel sedimen yang disajikan dalam tabel berikut ini:

Tabel 3. Analisis Saringan Seluruh Sampel Sedimen Sudetan Wonosari

<i>Cross Section</i> Hulu	D_{50} (mm)	<i>Cross Section</i> Hilir	D_{50} (mm)
P.410	0.25	P.461	0.29
P.411	0.24	P.462	0.48
P.412	0.35	P.463	0.40
P.413	0.26	P.464	0.49
P.414	0.22	P.465	0.47
P.415	0.30	P.466	0.48
P.416	0.45	P.467	0.48
P.417	0.22	P.468	0.40
P.418	0.22	P.469	0.49
P.419	0.25	P.470	0.48

Perhitungan Angkutan Sedimen Menggunakan Metode *Ackers-White*

Perhitungan angkutan sedimen dengan Metode *Ackers-White* pada daerah hulu sudetan Wonosari. Data yang diketahui:

$$Q = 57.971 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = 3.937 \text{ m}$$

$$D_{50} = 0,276 \text{ mm} = 0,000276 \text{ m}$$

$$S = 0,00043$$

$$B = 48,67 \text{ m}$$

$$\gamma_s = 2610$$

$$\gamma = 1000$$

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

Langkah Perhitungan:

$$A = (B+mH)H \\ = (48,67 + 2 \cdot 3.937) 3.937 = 222,613 \text{ m}^2$$

$$P = B+2H\sqrt{1+m} \\ = 48,67 + 2 \cdot 3,937 \sqrt{1+2} = 62,308 \text{ m}$$

$$U_* = \sqrt{g R S} \\ = \sqrt{9,81 \times 1,6012 \times 0,00043} = 0,082 \text{ m/s}$$

$$V = 0,610 \text{ m/s}$$

$$D_{gr} = D_{50} \left[\frac{g \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)}{v^2} \right]^{1/3} \\ = 0,000276 \left[\frac{9,81 \left(\frac{2610}{1000} - 1 \right)}{1,25 \times 10^{-6} \cdot 2} \right]^{1/3} = 5,967$$

$$m = \frac{9,66}{D_{gr}} + 1,34 \\ = \frac{9,66}{5,967} + 1,34 = 2,959$$

$$n = 1 - 0,56 \log D_{gr} \\ = 1 - 0,56 \log 5,967 = 0,565$$

$$C = 10^{(2,86 \log D_{gr} - (\log D_{gr})^2 - 3,53)} \\ = 10^{(2,86 \log 5,967 - (\log 5,967)^2 - 3,53)} = 0,012$$

$$A_1 = \frac{0,23}{(D_{gr})^{1/2}} + 0,14 \\ = \frac{0,23}{(5,967)^{1/2}} + 0,14 = 0,234$$

$$F_{gr} = \frac{U_*^n}{\left(g D_{50} \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) \right)^{1/2}} \left[\frac{V}{\sqrt{32 \log \left(\frac{\alpha H}{D_{50}} \right)}} \right]^{1-n}$$

$$= \frac{0,082^{0,565}}{[(9,81 \times 0,000276 \times 1.61)]^{1/2}} \left[\frac{0,610}{\sqrt{32 \log\left(\frac{10 \times 3.937}{0,000276}\right)}} \right]^{1-0,565} = 0,736$$

$$\begin{aligned} G_{gr} &= C \left(\frac{F_{gr}}{A_1} - 1 \right)^m \\ &= 0,012 \left(\frac{0,736}{0,234} - 1 \right)^{2,959} = 0,115 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X &= \frac{G_{gr} D_{50} \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} \right)}{D \left(\frac{U_*}{v} \right)^n} \\ &= \frac{0,115 \times 0,000276 \times \left(\frac{2610}{1000} \right)}{3,937 \times \left(\frac{0,082}{0,610} \right)^{0,565}} = 0,000065 \text{ ppm} = 6,5 \times 10^{-5} \\ &= 6,5 \times 10^{-8} \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_s &= X \cdot Q \\ &= 6,5 \times 10^{-8} \times 57.971 = 3,768 \times 10^{-6} \text{ kg/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_s &= 3,768 \times 10^{-6} \times 86400 \\ &= 0,325 \text{ kg/hari} = 118,831 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

Perhitungan angkutan sedimen dengan Metode Ackers-White pada daerah hilir sudetan Wonosari. Data yang diketahui:

$$Q = 47.709 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = 2,400 \text{ m}$$

$$D_{50} = 0,446 \text{ mm} = 0,000446 \text{ m}$$

$$S = 0,00043$$

$$B = 42,355 \text{ m}$$

$$\gamma_s = 2580$$

$$\gamma = 1000$$

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

Langkah Perhitungan:

$$\begin{aligned} A &= (B+mH)H \\ &= (42,355 + 2 \cdot 2,400) 2,400 = 113,172 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= B + 2H\sqrt{1+m} \\ &= \sqrt{9,81 \times 1,886 \times 0,00043} = 0,089 \text{ m/s m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_* &= \sqrt{g R S} \\ &= \sqrt{9,81 \times 1,886 \times 0,00043} = 0,089 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$V = 0,630 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} D_{gr} &= D_{50} \left[\frac{g \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)}{v^2} \right]^{1/3} \\ &= 0,000446 \left[\frac{9,81 \left(\frac{2580}{1000} - 1 \right)}{1,25 \times 10^{-6}} \right]^{1/3} = 9,583 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{9,66}{D_{gr}} + 1,34 \\ &= \frac{9,66}{9,583} + 1,34 = 2,348 \end{aligned}$$

$$n = 1 - 0,56 \log D_{gr}$$

$$= 1 - 0,56 \log 9,583 = 0,4503$$

$$C = 10^{(2,86 \log D_{gr} - (\log D_{gr})^2 - 3,53)}$$

$$= 10^{(2,86 \log 9,583 - (\log 9,583)^2 - 3,53)} = 0,022$$

$$A_1 = \frac{0,23}{(D_{gr})^{1/2}} + 0,14$$

$$= \frac{0,23}{(9,583)^{1/2}} + 0,14 = 0,214$$

$$F_{gr} = \frac{U_*^n}{\left(g D_{50} \left(\frac{y_s}{y} - 1\right)\right)^{1/2}} \left[\frac{V}{\sqrt{32 \log \left(\frac{\alpha H}{D_{50}}\right)}} \right]^{1-n}$$

$$= \frac{0,089^{0,4503}}{[(9,81 \times 0,000446 \times 1,58)]^{1/2}} \left[\frac{0,458}{\sqrt{32 \log \left(\frac{10 \times 2,400}{0,000446}\right)}} \right]^{1-0,4503} = 0,474$$

$$G_{gr} = C \left(\frac{F_{gr}}{A_1} - 1\right)^m$$

$$= 0,022 \left(\frac{0,474}{0,214} - 1\right)^{2,348} = 0,0347$$

$$X = \frac{G_{gr} D_{50} \left(\frac{y_s}{y}\right)}{D \left(\frac{U_*}{V}\right)^n}$$

$$= \frac{0,0347 \times 0,000446 \times \left(\frac{2580}{1000}\right)}{2,400 \times \left(\frac{0,089}{0,630}\right)^{0,4503}} = 0,0000608 \text{ ppm} = 6,08 \times 10^{-5}$$

$$= 6,08 \times 10^{-8} \text{ kg/m}^3$$

$$Q_s = X \cdot Q$$

$$= 6,08 \times 10^{-8} \times 47.709 = 2,91 \times 10^{-6} \text{ kg/dt}$$

$$Q_s = 2,095 \times 10^{-3} \times 86400$$

$$= 0,251 \text{ kg/hari} = 91,476 \text{ kg/tahun}$$

Dari hasil perhitungan angkutan sedimen menggunakan metode *Ackers-White*, angkutan sedimen pada daerah hulu lebih besar daripada daerah hilir. Angkutan sedimen pada daerah hulu Sudetan Wonosari sebesar 118,831 kg/tahun, dan pada daerah hilir Sudetan Wonosari sebesar 91,476 kg/tahun.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil penelitian dengan metode saringan didapat rata-rata D_{50} sampel sedimen daerah hulu Sudetan Wonosari adalah 0.276 mm sedangkan rata-rata D_{50} untuk sampel sedimen daerah hilir Sudetan Wonosari adalah 0.446 mm.
2. Perhitungan angkutan sedimen menggunakan metode *Ackers-White* menunjukkan angkutan sedimen pada daerah hulu Sudetan Wonosari sebesar 118,831 kg/tahun, dan pada daerah hilir Sudetan Wonosari sebesar 91,476 kg/tahun.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih saya ucapkan kepada Bapak Dr. Cahyono Ikhsan, S.T., M.T. dan Ibu Ir. Koosdaryani, M.T. yang telah membimbing, memberi arahan dan masukan dalam penelitian ini.

REFERENSI

- Ackers, P. & W.R. White, 1973, *Sediment Transport: New Approach and Analysis*, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, vol. 99, no. HY II, pp. 2041 -2060
- Khatib, Anwar, dkk. 2013. *Analisis Sedimentasi dan Alternatif Penanganannya di Pelabuhan Selat Baru Bengkalis*. Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Riau.

- Kholik, Azhar dan Surbakti, Heron. 2012. *Distribusi Sedimen Dasar di Perairan Pesisir Banyuasin, Sumatera Selatan*. Program Studi Ilmu Kelautan Fakultas MIPA Universitas Sriwijaya
- Kusumanigrum, Ratnasari. 2015. *Analisis Angkutan Sedimen Anak Sungai Bengawan Solo Pada Sungai Dengkeng*. Surakarta. Universitas Sebelas Maret
- Mardiyanto, Edi. 2001. Studi Tentang Sebaran Sedimen di Perairan Segara Anakan Menggunakan Data Lansat-TM Multitemporal. Skripsi Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan UNDIP Semarang