

Analisis Angkutan Sedimen Dasar (*Bed Load*) pada Saluran Primer Bendung Kalisemo

Riyan Nurrohman^{1,*}, Agung Setiawan¹, Muhamad Taufik¹

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purworejo¹

Jl. K.H. Ahmad Dahlan No.3, Purworejo, Jawa Tengah

Email: nurrohmanriyan9@gmail.com

Abstrak. Saluran Primer Bendungan Kalisemo terletak di Kecamatan Loano, Kabupaten Purworejo. Saluran ini sangat bermanfaat bagi pertanian dan masyarakat sekitar, namun seiring berjalannya waktu saluran ini mengalami pendangkalan sehingga mengakibatkan penurunan debit air irigasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik sedimen dasar berdasarkan ukuran butir pada Saluran Primer Bendung Kalisemo dan memperoleh volume angkutan sedimen dasar pada Saluran Primer Bendung Kalisemo. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif yang menitikberatkan pada pengumpulan data (pengukuran langsung, pengamatan langsung, dan pengujian sampel sedimen dasar) dan analisis data. Sampel sedimen dasar diambil pada lima titik di Saluran Primer Bendung Kalisemo. Analisis volume angkutan sedimen dasar dilakukan dengan menggunakan Metode Meyer Peter Muller dan Metode Einstein. Hasil analisis menunjukkan bahwa karakteristik sedimen dasar berdasarkan ukuran butir pada Saluran Primer Bendungan Kalisemo dari yang terbesar hingga yang terkecil yaitu kerikil sedang, kerikil halus, kerikil sangat halus, pasir kuarsa, pasir sedang, pasir halus, pasir sangat halus, dan lanau. Volume angkutan sedimen dasar di Saluran Primer Bendungan Kalisemo dengan Metode M.P.M sebesar 3,02 m³/hari dan dengan Metode Einstein sebesar 0,8668 m³/hari.

Kata Kunci : karakteristik sedimen, transportasi sedimen, sedimen dasar

Abstrack. *Kalisemo Dam Primary Channel is located in Loano Sub-district, Purworejo Regency. This channel is very beneficial for agriculture and the surrounding community, but over time this channel has silted up resulting in a decrease in irrigation water discharge. This research aims to analyze the characteristics of bottom sediment based on grain size in the Primary Channel of Kalisemo Weir and obtain the volume of bottom sediment transport in the Primary Channel of Kalisemo Weir. This research uses quantitative methods that focus on data collection (direct measurement, direct observation, and bottom sediment sample testing) and data analysis. Bottom sediment samples were taken at five points in the Kalisemo Weir Primary Channel. Bed sediment transport volume analysis was conducted using the Meyer Peter Muller Method and the Einstein Method. The analysis shows that the characteristics of bottom sediments based on grain size in the Primary Channel of Kalisemo Dam from the largest to the smallest, namely, medium gravel, fine gravel, very fine gravel, quartz sand, medium sand, fine sand, very fine sand, and silt. The volume of bottom sediment transport in the Kalisemo Dam Primary Channel using the M.P.M Method is 3,02 m³/day and with the Einstein Method is 0,8668 m³/day.*

Keyword : *bed Load, characteristics, sediment transport.*

1. Pendahuluan

Sedimentasi yang terjadi pada saluran irigasi menjadi masalah yang perlu ditangani karena dapat menyebabkan pengendapan di saluran irigasi, yang mengarah pada pengurangan kapasitas debit pada penampang saluran irigasi. Berkurangnya kapasitas debit dapat mengakibatkan penurunan produksi pertanian bahkan sampai gagal panen (Hermawan & Afiato, 2021)

Saluran Primer Bendung Kalisemo berada di wilayah Kecamatan Loano, Kabupaten Purworejo dengan panjang saluran 10.380 meter dan luas area 504,87 hektar. Saluran ini sangat bermanfaat bagi pertanian dan masyarakat di sekitarnya, tetapi seiring berjalannya waktu saluran ini mengalami pendangkalan karena pengendapan sedimen yang mengakibatkan penurunan debit air irigasi.

Sedimen merupakan hasil dari proses erosi, baik itu berupa erosi permukaan, erosi parit, dan jenis tanah lainnya. Sedimen biasanya mengendap di bagian bawah kaki bukit, genangan banjir, saluran air, sungai, dan waduk (Asdak, 2010). Sedimentasi adalah pengendapan material yang telah dipecah oleh air melalui proses erosi. Proses pengendapan sedimen adalah proses pengumpulan partikel-partikel tanah yang disebabkan oleh kecepatan arus air pembawa sedimen yang mencapai kecepatan pengendapan.

Pada dasarnya sedimen yang terangkut oleh aliran dapat diklasifikasikan sebagai berikut : (Priyantoro, 1987)

1. Muatan Cuci (*Wash Load*)

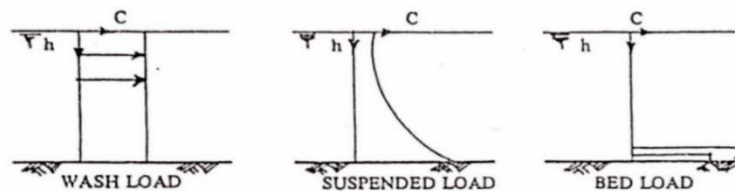
Partikel yang sangat halus bergerak melayang di bagian atas aliran dan tidak mengendap di dasar aliran.

2. Muatan Layang (*Suspended Load*)

Partikel yang bergerak dalam pusaran aliran cenderung terus-menerus melayang dengan aliran. Ukuran partikelnya lebih kecil dari 0,1 mm.

3. Muatan Dasar (*Bed Load*)

Partikel yang bergerak pada dasar saluran dengan cara berguling, meluncur, dan meloncat. Ketiga klasifikasi angkutan sedimen tersebut dapat dilihat pada Gambar 1. berikut ini.



Gambar 1. Klasifikasi Angkutan Sedimen.

Saluran terbuka, dibagi menjadi dua jenis yaitu : (Priyantoro, 1987)

1. Saluran Alami (*Natural Channels*)

Saluran alami adalah saluran yang terbentuk akibat proses alam dan tidak mengalami perubahan yang berarti, seperti saluran kecil, sungai kecil, dan besar yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut.

2. Saluran Buatan (*Artificial Channels*)

Saluran buatan adalah saluran buatan manusia, termasuk saluran irigasi, saluran pembangkit listrik, saluran drainase, dan lainnya.

Debit aliran adalah volume yang mengalir melalui suatu penampang melintang saluran per satuan waktu. Biasanya dinyatakan dalam satuan meter kubik perdetik (m^3/dt) atau liter perdetik (l/dt). Debit aliran akan berubah-ubah menurut waktu (Soewarno, 1991). Persamaan yang digunakan untuk menghitung debit aliran saluran adalah:

$$Q = A \cdot U \quad (1)$$

dengan:

Q = debit (m^3/dt),

A = luas penampang basah (m^2),

U = kecepatan aliran (m/dt)

Kemiringan dasar saluran dicari menggunakan persamaan *Manning* sebagai berikut.

$$I = \left[\frac{n \cdot U}{R^{2/3}} \right]^2 \quad (2)$$

dengan :

I = kemiringan dasar saluran

n = koefisien manning pada saluran

U = kecepatan aliran (m/dt)

R = jari-jari hidrolis (m)

Harga koefisien *manning* (n) pada saluran dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.** berikut ini.

Tabel 1. Harga Koefisien *Manning* pada Saluran

Bahan	Koefisien <i>Manning</i> (n)
Besi tuang lapis	0,014
Kaca	0,010
Saluran beton	0,013
Bata dilapis mortar	0,015
Pasangan batu disemen	0,025
Saluran tanah bersih	0,022
Saluran tanah	0,030
Saluran dengan dasar batu dan tebing rumput	0,040
Saluran pada galian batu padas	0,040

Sumber : *Triatmodjo, 2009*

Persamaan yang digunakan untuk menghitung pergerakan sedimen atau untuk memeriksa stabilitas butiran pada permukaan dasar saluran adalah sebagai berikut :

$$U^* = \sqrt{g \cdot R \cdot I} \quad (3)$$

dengan :

U^* = kecepatan geser butiran (m/dt),

g = percepatan gravitasi (m²/dt)

R = jari-jari hidrolis (m)

I = kemiringan dasar saluran

Apabila kecepatan aliran sangat kecil, material dasar tidak bergerak sama sekali. Pada saat kecepatan bertambah secara bertahap, suatu saat akan dicapai di mana sebagian material dasar mulai bergerak. Keadaan ini disebut gerakan awal sedimen (*incipient motion*). Pada saat tersebut, gaya geser yang terjadi disebut gaya geser kritis (*critical tractive force* : τ_{cr}) sedangkan aliran pada butiran tersebut disebut kecepatan geser kritis (*critical shear velocity*: U^*_{cr})

Menurut Lane (1955) dari teori di atas dapat disimpulkan bahwa Bergeraknya butiran dapat dilihat dari perbandingan τ_o dengan τ_{cr} dan U^* dengan U^*_{cr} , apabila :

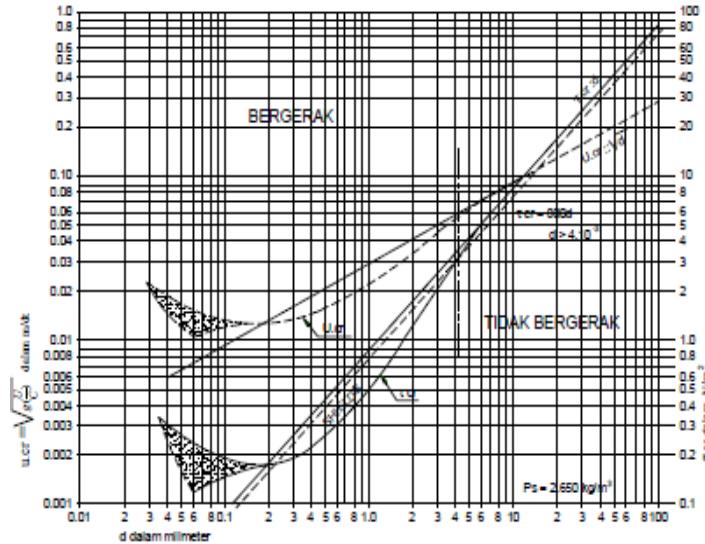
$\tau_o > \tau_{cr}$: butiran bergerak

$\tau_o < \tau_{cr}$: butiran diam

$U^* > U^*_{cr}$: butiran bergerak

$U^* < U^*_{cr}$: butiran diam

Nilai kecepatan geser kritis (U_{cr}^*) dan nilai gaya geser kritis (τ_{cr}) dapat dicari melalui Grafik *Shield* dengan melihat besar diameter butiran untuk masing-masing percobaan. Grafik *Shields* dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.** berikut ini.



Gambar 2. Grafik *Shields* Menentukan Nilai Kecepatan Geser Kritis
 Sumber : Priyantoro, 1987

Ukuran butiran sedimen memiliki bentuk yang tidak teratur. Setiap diameter akan memberikan bentuk kelompok butiran. Analisis saringan adalah metode yang paling umum dan banyak digunakan untuk menganalisis ukuran partikel. Skala kelas pengelompokan partikel yang diusulkan oleh Persatuan Geofisika Amerika (*American Geophysical Union*) dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.**

Tabel 2. Skala Kelas Pengelompokan Partikel yang Diusulkan Oleh AGU

Ukuran			Kelas
Milimeter	Mikron	Inchi	
4000 – 2000		160 – 80	Berangkal sangat besar
2000 – 1000		80 – 40	Berangkal besar
1000 – 500		40 – 20	Berangkal sedang
500 – 250		20 – 10	Berangkal kecil
250 – 130		10 – 5	Kerakal besar
130 – 64		5 – 2,5	Kerakal kecil
64 – 32		2,5 – 1,3	Kerakal sangat berkwarasa
32 – 16		1,3 – 0,6	Kerikil berkwarasa
16 – 8		0,6 – 0,3	Kerikil sedang
8 – 4		0,3 – 0,16	Kerikil halus
4 – 2		0,16 – 0,08	Kerikil sangat halus
2 – 1	2000 – 1000		Pasir sangat berkwarasa
1 – 0,5	1000 – 500		Pasir berkwarasa
0,5 – 0,25	500 – 250		Pasir sedang
0,25 – 0,125	250 - 125		Pasir halus
0,125 – 0,062	125 – 62		Pasir sangat halus
0,062 – 0,031	62 – 31		Lanau berkwarasa
0,031 – 0,016	31 – 16		Lanau sedang
0,016 – 0,008	16 – 8		Lanau halus
0,008 – 0,004	8 – 4		Lanau sangat halus
0,004 – 0,002	4 – 2		Lempung berkwarasa

Milimeter	Ukuran		Kelas
	Mikron	Inchi	
0,002 – 0,001	2 – 1		Lempung sedang
0,001 – 0,0005	1 – 0,5		Lempung halus
0,0005 – 0,00025	0,5 – 0,24		Lempung sangat halus

Sumber : Priyantoro, D., 1987

Einstein (1950) menetapkan persamaan muatan dasar sebagai persamaan yang menghubungkan material dasar dengan pengaliran setempat (*local flow*). Persamaan itu menggambarkan keadaan seimbang dari pada pertukaran butiran dasar antara lapisan dasar (*bed layer*) dan dasarnya. Einstein menggunakan $D = D_{35}$ untuk parameter angkutan, sedangkan untuk kekasaran digunakan $D = D_{65}$.

Berdasarkan uraian di atas perlu untuk mengadakan penelitian tentang “Analisis Angkutan Sedimen Dasar (*bed load*) pada Saluran Primer Bendung Kalisemo” yang diharapkan dapat membantu peningkatan efisiensi pengelolaan bendung dan pemeliharaan infrastruktur saluran. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik sedimen dasar (*bed load*) berdasarkan ukuran butiran pada Saluran Primer Bendung Kalisemo dan mendapatkan volume angkutan sedimen dasar (*bed load*) pada Saluran Primer Bendung Kalisemo.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yaitu fokus pada pengumpulan data (survei, pengamatan langsung, pengukuran langsung, dan uji sampel sedimen) dan analisis data. Penelitian dilakukan di Saluran Primer Bendung Kalisemo, Kecamatan Loano, Kabupaten Purworejo. Pengujian sampel sedimen dasar dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Muhammadiyah Purworejo. Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

- Current meter*, digunakan untuk mengukur kecepatan aliran,
- Cetok, digunakan untuk mengambil sampel sedimen dasar,
- Botol plastik, digunakan untuk menempatkan sampel sedimen,
- Tongkat bambu, digunakan untuk mengukur kedalaman air,
- Rol meter dan meteran, digunakan untuk mengukur,
- Software autoCAD 2017*, digunakan untuk mencari luas dan keliling penampang,
- Oven, digunakan untuk mengeringkan sampel sedimen,
- Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram,
- Botol pipet, digunakan untuk uji berat jenis,
- Termometer, digunakan untuk uji berat jenis,
- Piknometer tipe ukuran 25 ml, digunakan untuk uji berat jenis,
- Satu set saringan, digunakan untuk uji analisis saringan,
- Mesin pengguncang, digunakan untuk uji analisis saringan,
- Hp, digunakan untuk dokumentasi selama penelitian berlangsung,
- Alat penunjang lainnya untuk penelitian,

Tahapan penelitian meliputi:

- Persiapan yang terdiri atas studi literatur dan survei penelitian.
- Pengumpulan Data yang terdiri atas data sekunder dan data primer
- Pengukuran di Lapangan yang terdiri atas pengukuran kecepatan aliran saluran, tinggi muka air, penampang saluran, dan pengambilan sampel sedimen
- Pengujian di Laboratorium yang terdiri atas uji analisis saringan dan uji berat jenis
- Analisis Data dengan menganalisis karakteristik Aliran dan Karakteristik Sedimen, permulaan Gerak Sedimen, dan volume Angkutan Sedimen.
- Hasil dan Pembahasan

g. Simpulan dan Saran

3. Hasil Penelitian

3.1 Deskripsi Data

Data diperoleh dari pengukuran dan pengambilan sampel sedimen dasar di bagian hulu Saluran Primer Bendung Kalisemo sebanyak lima titik dengan jarak antar titiknya 15m. Sampel sedimen dasar dilakukan uji berat jenis dan uji analisis saringan yang kemudian diolah dan dilakukan langkah-langkah perhitungan.

3.2 Analisis Karakteristik Aliran

a. Kecepatan Aliran (U)

Pengukuran kecepatan aliran pada penelitian ini menggunakan *current meter*. Metode pengukuran kecepatan aliran menggunakan metode tiga titik karena kedalaman aliran di saluran lebih dari 6 kali diameter baling-baling *current meter*. Baling-baling *current meter* diletakkan pada kedalaman 0,2h; 0,6h; dan 0,8h dari muka air. Hasil pengukuran kecepatan aliran dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Kecepatan Aliran

Titik	Pias	h (m)	Kecepatan Aliran (m/dt)			\bar{U} (m/dt)	\bar{U} (m/dt)
			0,2h	0,6h	0,8h		
1	Kanan	0,66	13,857	13,048	12,466	13,105	12,358
	Tengah	0,66	12,961	12,349	12,176	12,459	
	Kiri	0,62	11,994	11,654	10,743	11,511	
2	Kanan	0,58	11,377	11,060	10,780	11,069	12,038
	Tengah	0,60	12,367	12,077	11,869	12,098	
	Kiri	0,60	13,512	13,032	12,208	12,946	
3	Kanan	0,37	11,375	0,9794	0,7975	0,9735	10,845
	Tengah	0,53	12,714	10,089	0,8064	10,239	
	Kiri	0,63	12,941	12,605	12,088	12,560	
4	Kanan	0,55	0,8746	0,8662	0,8604	0,8669	10,276
	Tengah	0,60	0,9590	0,9517	0,9290	0,9479	
	Kiri	0,59	13,568	13,060	11,034	12,681	
5	Kanan	0,61	11,124	10,723	0,9492	10,516	0,9686
	Tengah	0,72	0,9589	0,9354	0,9009	0,9327	
	Kiri	0,67	0,9554	0,9309	0,8684	0,9214	

Sumber: Hasil Perhitungan Data Primer

b. Luas Penampang (A), Keliling Basah (P), dan Jari-jari Hidrolis (R)

Luas penampang dan keliling basah didapatkan setelah melakukan pengukuran di lapangan selanjutnya dengan memanfaatkan fasilitas area *software AutoCAD 2017* didapatkan luas penampang dan keliling basah. Hasil perhitungan luas penampang (A), keliling basah (P), dan jari-jari hidrolis (R) dapat dilihat pada

Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Luas Penampang, Keliling Basah, dan Jari-jari Hidrolis

Titik	A (m ²)	P (m)	R (m)
1	25,8080	9,7428	2,6489
2	23,8900	9,6949	2,4642

Titik	A (m ²)	P (m)	R (m)
3	19,7070	9,0494	2,1777
4	21,8850	9,0881	2,4081
5	23,5880	9,0614	2,6031

Sumber: Hasil Perhitungan Data Primer

- c. Debit Aliran (Q), Kemiringan Dasar Saluran (I), dan Kecepatan Geser Butiran (U*)
 Hasil perhitungan debit aliran, kemiringan dasar saluran, dan kecepatan geser butiran dapat dilihat pada Tabel 5 berikut ini.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Debit Aliran

Titik	Q (m ³ /dt)	(I)	U* (m/dt)
1	31,8935	0,00026	0,0822
2	28,7588	0,00027	0,0808
3	21,3722	0,00026	0,0745
4	22,4890	0,00020	0,0687
5	22,8473	0,00016	0,0639

Sumber: Hasil Perhitungan Data Primer

3.3 Analisis Karakteristik Sedimen

- a. Berat Jenis (*Bulk Density*)

Hasil perhitungan berat jenis sedimen dasar dapat dilihat pada Tabel 6 berikut ini.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Berat Jenis di Tiap-tiap Titik

Titik	Nomor Piknometer	Berat Jenis	Berat Jenis Rata-rata
1	I	2,8549	2,8178
	II	2,7807	
2	I	2,8907	2,8437
	II	2,7967	
3	I	2,7751	2,8302
	II	2,8853	
4	I	2,8978	2,8345
	II	2,7711	
5	I	2,8610	2,8074
	II	2,7537	

Sumber: Hasil Perhitungan Data Primer

- b. Ukuran (*Size*)

Hasil analisis saringan butiran sedimen dasar di titik 1 dapat dilihat pada Tabel 7 berikut ini.

Tabel 7. Hasil Analisis Saringan Butiran di Titik 1

No. Saringan	Diameter Saringan (mm)	Berat Saringan (gram)	Berat Tertahan + Saringan		Total Lolos (gram)	Berat Tertahan (%)	Total Lolos (%)	Jenis Butiran
			(gram)	(gram)				
1"	25	466,73	466,73	0,00	988,43	0,00	100,00	Kerikil berkwarasa
3/4"	19	396,22	396,22	0,00	988,43	0,00	100,00	Kerikil berkwarasa
1/2"	12,5	382,75	403,01	20,26	968,17	2,05	97,95	Kerikil sedang
3/8"	9,5	431,21	446,94	15,73	952,44	1,59	96,36	Kerikil sedang
1/4"	6,3	452,11	522,12	70,01	882,43	7,08	89,28	Kerikil halus
4	4,75	400,92	454,41	53,49	828,94	5,41	83,86	Kerikil halus
8	2,36	399,44	587,58	188,14	640,80	19,03	64,83	Kerikil sangat halus

No. Saringan	Diameter Saringan (mm)	Berat Saringan (gram)	Berat Tertahan + Saringan		Total Lolos (gram)	Berat Tertahan (%)	Total Lolos (%)	Jenis Butiran
			(gram)	(gram)				
10	2	280,90	376,36	95,46	545,34	9,66	55,17	Kerikil sangat halus
20	0,85	375,39	574,31	198,92	346,42	20,12	35,05	Pasir berkwarsa
40	0,425	361,27	547,36	186,09	160,33	18,83	16,22	Pasir sedang
60	0,25	393,61	496,88	103,27	57,06	10,45	5,77	Pasir sedang
80	0,18	360,48	400,15	39,67	17,39	4,01	1,76	Pasir halus
100	0,15	350,17	365,58	15,41	1,98	1,56	0,20	Pasir halus
200	0,075	347,50	348,45	0,95	1,03	0,10	0,10	Pasir sangat halus
Pan		321,45	322,48	1,03	0,00	0,10	0,00	Lanau
Total				988,43		100,00		

Sumber: Data Primer Analisis Saringan

c. Nilai D_{35} , D_{55} , D_{65} , dan D_{90}

Hasil perhitungan interpolasi D_{35} , D_{55} , D_{65} , dan D_{90} dapat dilihat pada Tabel 8 berikut ini.

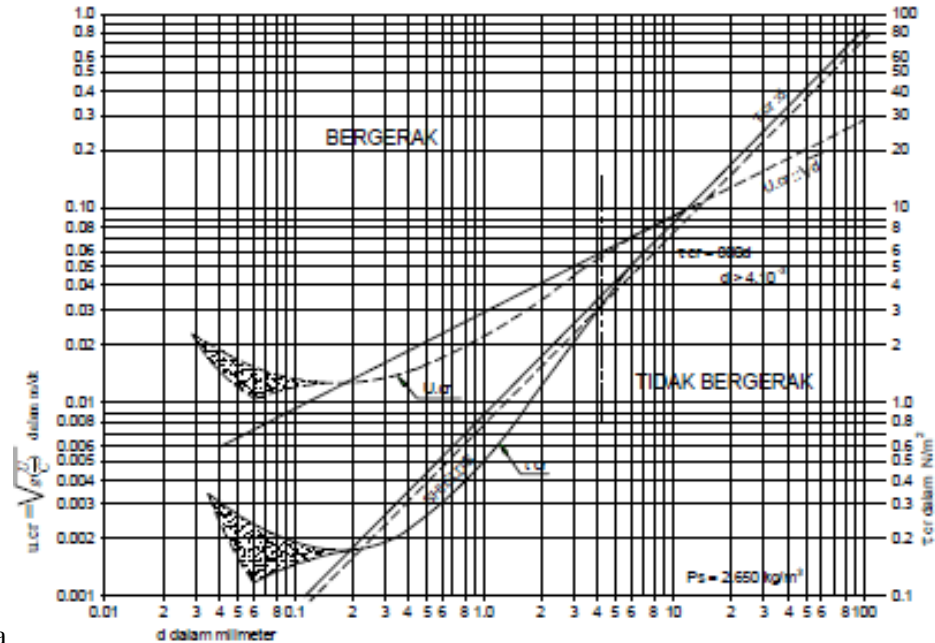
Tabel 8. Hasil Perhitungan D_{35} , D_{55} , D_{65} , dan D_{90}

Titik	D_{35}	D_{55}	D_{65}	D_{90}
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	0,8489	1,9902	2,3813	6,6271
2	0,7865	1,7861	2,2584	6,3891
3	0,7892	1,7333	2,2196	6,3065
4	0,7779	1,7048	2,1479	5,8678
5	0,7338	1,6213	2,1527	5,7686

Sumber: Hasil Perhitungan Data Primer

3.4 Analisis Permulaan Gerak Butiran

Nilai kecepatan geser lebih besar daripada nilai kecepatan geser kritis ($U^* > U^*_{cr}$) berarti butiran sedimen tersebut bergerak. Hasil analisis stabilitas butiran di titik 1 dengan menggunakan Grafik *Shields*



dapat dilihat pada

Gambar 3.

3.5 Analisis Volume Angkutan Sedimen

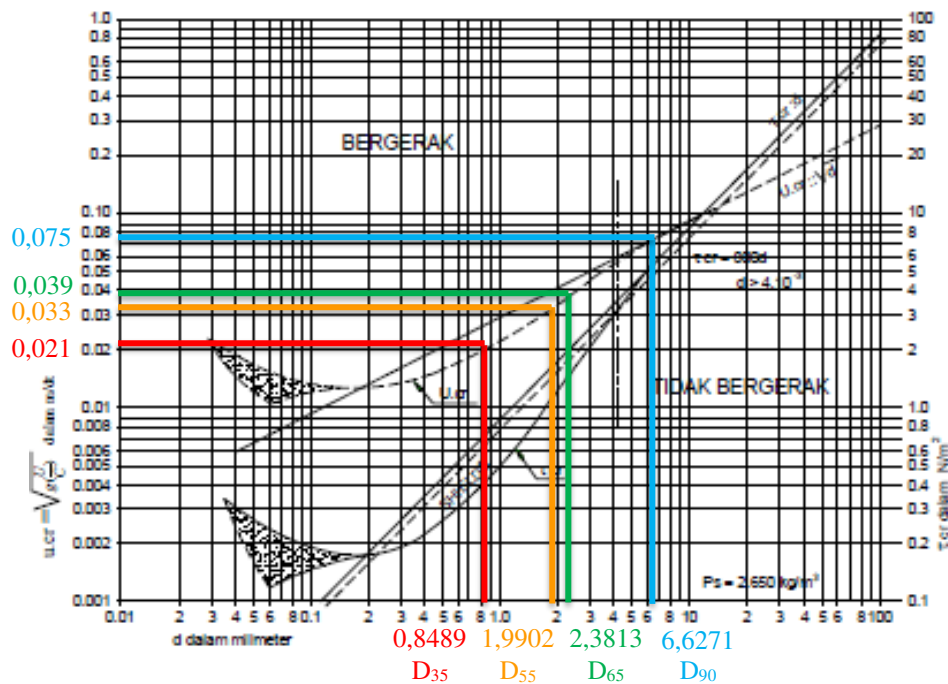
a. Metode M.P.M

Hasil perhitungan volume angkutan sedimen dasar Metode M.P.M dapat dilihat pada Tabel 9 berikut ini.

Tabel 9. Hasil Perhitungan Volume Angkutan Sedimen Dasar Metode M.P.M

Titik	C	C'	μ	ψ	ϕ	S (m ³ /dt)	S (m ³ /hari)
1	470,900	662,566	0,5992	0,1141	0,1391	5,2153 x 10 ⁻⁵	45,060
2	466,696	659,764	0,5949	0,1199	0,1575	5,0727 x 10 ⁻⁵	43,828
3	455,768	651,087	0,1047	0,1047	0,1109	3,3813 x 10 ⁻⁵	29,214
4	468,244	664,599	0,0913	0,0913	0,0746	2,2182 x 10 ⁻⁵	19,165
5	474,612	672,029	0,0844	0,0844	0,0579	1,5897 x 10 ⁻⁵	13,735

Sumber: Hasil Perhitungan Data Primer



Gambar 3. Grafik Shields Kontrol Stabilitas Butiran

b. Metode Einstein

Hasil perhitungan volume angkutan sedimen dasar Metode Einstein dapat dilihat pada

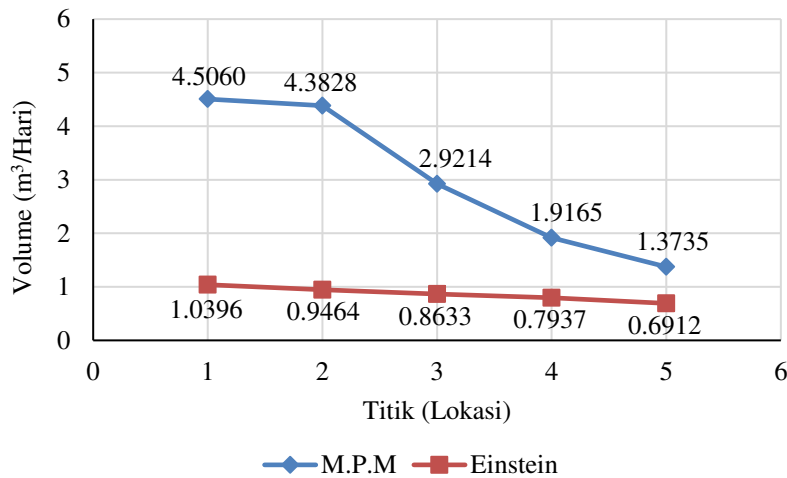
Tabel 10 berikut ini.

Tabel 10. Hasil Perhitungan Volume Angkutan Sedimen Dasar Metode Einstein

Titik	C	C'	μ	ψ	ϕ	S (m ³ /dt)	S (m ³ /hari)
1	47,0900	74,2578	0,5050	0,2254	0,1152	1,2032 x 10 ⁻⁵	1,0396
2	46,6696	74,1015	0,4998	0,2283	0,1160	1,0954 x 10 ⁻⁵	0,9464
3	45,5768	73,2749	0,4905	0,1921	0,1062	9,9920 x 10 ⁻⁵	0,8633
4	46,8244	74,3115	0,5002	0,1684	0,0994	9,1860 x 10 ⁻⁵	0,7937
5	47,4612	74,9202	0,5042	0,1592	0,0967	8,0000 x 10 ⁻⁵	0,6912

Sumber : Hasil Perhitungan Data Primer

Dari hasil perhitungan kedua metode yaitu Metode M.P.M dan Metode Einstein dapat dibuat grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4. dapat dilihat bahwa angkutan sedimen dasar di Saluran Primer Bendung Kalisemo dengan Metode M.P.M lebih besar dari pada Metode Einstein. Selisih volume angkutan sedimen dasar Metode M.P.M dan Metode Einstein pada titik 1 sebesar 3,4664 m³/hari, pada titik 2 sebesar 3,4364 m³/hari, pada titik 3 sebesar 2,0581 m³/hari, pada titik 4 sebesar 1,1228 m³/hari, pada titik 5 sebesar 0,6823 m³/hari. Rata-rata volume angkutan sedimen dasar dengan Metode M.P.M sebesar 3,02 m³/hari dan dengan Metode Einstein sebesar 0,8668 m³/hari. Volume angkutan sedimen dasar dari hulu ke hilir semakin kecil karena dipengaruhi oleh kecepatan aliran air yang semakin kecil dari hulu ke hilir.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Volume Angkutan Sedimen Dasar Metode M.P.M dan Metode Einstein
 Sumber: Hasil Perhitungan Data Primer

Berdasarkan Gambar 4. dapat dilihat bahwa angkutan sedimen dasar di Saluran Primer Bendung Kalisemo dengan Metode M.P.M lebih besar dari pada Metode Einstein. Selisih volume angkutan sedimen dasar Metode M.P.M dan Metode Einstein pada titik 1 sebesar 3,4664 m³/hari, pada titik 2 sebesar 3,4364 m³/hari, pada titik 3 sebesar 2,0581 m³/hari, pada titik 4 sebesar 1,1228 m³/hari, pada titik 5 sebesar 0,6823 m³/hari. Rata-rata volume angkutan sedimen dasar dengan Metode M.P.M sebesar 3,02 m³/hari dan dengan Metode Einstein sebesar 0,8668 m³/hari. Volume angkutan sedimen dasar dari hulu ke hilir semakin kecil karena dipengaruhi oleh kecepatan aliran air yang semakin kecil dari hulu ke hilir.

3.6 Pembahasan

Kecepatan aliran air menjadi faktor terpenting angkutan sedimen dasar dapat bergerak. Pada penelitian ini kecepatan aliran air di titik 1 sebesar 1,2358 m/dt, titik 2 sebesar 1,2038 m/dt, titik 3 sebesar 1,0845 m/dt, titik 4 sebesar 1,0276 m/dt, dan titik 5 sebesar 0,9686 m/dt. Karakteristik angkutan sedimen dasar (*bed load*) berdasarkan ukuran butiran dari yang paling besar ke yang paling kecil yaitu, kerikil sedang, kerikil halus, kerikil sangat halus, pasir berkwarasa, pasir sedang, pasir halus, pasir sangat halus, dan lanau. Volume angkutan sedimen dasar di Saluran Primer Bendung Kalisemo dengan Metode M.P.M di titik 1 sebesar 4,5060 m³/hari, titik 2 sebesar 4,3828 m³/hari, titik 3 sebesar 2,9214 m³/hari, titik 4 sebesar 1,9165 m³/hari, dan titik 5 sebesar 1,3735 m³/hari. Volume angkutan sedimen dasar dengan Metode Einstein sebesar 1,0396 m³/hari, titik 2 sebesar 0,9464 m³/hari, titik 3 sebesar 0,8633 m³/hari, titik 4 sebesar 0,7937 m³/hari, dan titik 5 sebesar 0,6912 m³/hari. Rata-rata volume angkutan sedimen dasar dengan Metode M.P.M sebesar 3,02 m³/hari dan dengan Metode Einstein sebesar 0,8668 m³/hari.

4. Simpulan dan Saran

4.1 Simpulan

1. Karakteristik angkutan sedimen dasar (*bed load*) berdasarkan ukuran butiran di Saluran Primer Bendung Kalisemo dari yang paling besar ke yang paling kecil yaitu, kerikil sedang, kerikil halus, kerikil sangat halus, pasir berkwarasa, pasir sedang, pasir halus, pasir sangat halus, dan lanau.
2. Volume angkutan sedimen dasar (*bed load*) di Saluran Primer Bendung Kalisemo dengan Metode Meyer-Peter & Muller (M.P.M) diperoleh rata-rata volume angkutan sedimen dasar sebesar 3,02 m³/hari dan dengan Metode Einstein diperoleh rata-rata volume angkutan sedimen dasar sebesar 0,8668 m³/hari.

4.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya dapat menambah jumlah titik lokasi penelitian di saluran supaya hasil yang didapat lebih akurat.
2. Penelitian selanjutnya dapat menambah metode perhitungan volume angkutan sedimen dasar (*bed load*) seperti Metode Du Boys (1879) dan Metode Kalinske (1947).

Daftar Pustaka

- Anggrahini. 1997. *Hidrolika Saluran Terbuka*. Surabaya: Dieta Pratama.
- Anggrahini. 2005. *Hidrolika Saluran Terbuka*. Surabaya: Srikandi.
- Asdak. 2010. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Badan Standardisasi Nasional. 1990. *SNI 03-1968-1990 Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar dan Halus*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. *SNI 1964:2008 Cara Uji Berat Jenis Tanah*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2015. *SNI 3408:2015 Tata Cara Pengukuran Kecepatan Aliran pada Uji Model Hidraulik Fisik (UMH-Fisik) dengan Alat Ukur Arus Tipe Baling-Baling*. Jakarta.
- Dewana, A. P. 2022. Analisis Laju Sedimentasi di Muara Sungai Panjang, Desa Bejalen, Kecamatan Ambarawa, Kabupaten Semarang Sebagai Kontributor Sedimentasi di Rawa Pening. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Gianete, B. P. 2023. Analisis Angkutan Sedimen Dasar (*Bed Load*) dengan Menggunakan Metode M.P.M dan Einstein pada Bendung Pesongoran Lombok Barat. *Artikel Ilmiah*, 1-20.
- Hermawan, A., & Afiato, E. 2021. Analisis Angkutan Sedimen Dasar (*Bed Load*) pada Saluran Irigasi Mataram Yogyakarta. *Teknisia*, XXVI(1), 20-30.
- Kehutanan, D. 1998. *Pedoman Penyusunan Rencana Teknik Lapangan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Daerah Aliran Sungai*. Jakarta.
- Priyantoro, D. 1987. *Teknik Pengangkutan Sedimen*. Malang: Himpunan Mahasiswa Pengairan Fakultas Teknik Unibraw Malang.
- Putra, I. B. G., et.al. 2022. Analisis Angkutan Sedimen Bed Load dan Sedimen Suspended Load pada Sungai Ngolang dan Sungai Tebelo di Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Mandalika. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 19(2), 182–190.
- Utami, R. 2020. *Analisis Angkutan Sedimen pada Sungai Renggung dan Saluran Primer Bendung Katon dengan Metode M.P.M dan Einstein*. Universitas Mataram, Mataram.
- Soewarno. 1991. *Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri)*. Bandung: Nova.
- Triatmodjo, B. 2009. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.