

Analisis Angkutan Sedimen Bendung Kalisemo, Kecamatan Loano, Kabupaten Purworejo

Alim Gunawan^{1,*}, Agung Setiawan², Muhamad Taufik³

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purworejo¹

Email: alimgunawan1103@gmail.com

Abstrak. Sedimentasi pada Bendung Kalisemo mengalami penumpukan yang sangat banyak. Permasalahan tersebut mempengaruhi kinerja Bendung Kalisemo. Banyaknya sedimen pada Bendung Kalisemo tersebut menyebabkan pendangkalan pada bendung yang berdampak pada pengoperasian bendung khususnya dalam penyediaan air baik untuk irigasi, pengendalian banjir dan lain sebagainya. Sedimen yang mengendap pada hulu bendung berpotensi masuk melalui pintu intake ke saluran primer sehingga dapat mengurangi kapasitas saluran. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis karakteristik dan volume sedimen dasar (*bed load*) Bendung Kalisemo, serta mendapatkan alternatif penanganan penumpukan sedimentasi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengukuran dan pengambilan langsung sampel di lapangan serta pengujian di laboratorium. Metode perhitungan angkutan sedimen menggunakan metode Meyer Peter Muller dan Einstein. Sampel sedimen dasar diambil 3 titik yaitu titik 1(kanan), titik 2 (tengah), titik 3 (kiri). Hasil analisis karakteristik angkutan sedimen Bendung Kalisemo untuk jenis butiran pada penampang bendung butiran terbesar termasuk kedalam jenis kerikil berkwarza tertahan pada saringan no. 19 mm dan butiran terkecil adalah pasir sangat halus karna tertahan pada saringan no.0,075 mm. Hasil analisis volume angkutan sedimen dasar (*bed load*) dengan metode Meyer Peter Muller adalah 8,7114 m³/hari dan untuk metode Einstein sebesar 6,6097 m³/hari. Alternatif penanganan dengan melakukan pengurusan rutin saat debit sungai pada bendung mengalami banjir dan pengerukan setelah sedimen mencapai puncak elevasi mercu bendung, diperkirakan dalam jangka 2 tahun. Pengerukan dilakukan dengan menggunakan alat berat dengan kapasitas kecil.

Kata Kunci : angkutan sedimen, sedimen, Meyer Peter Muller & Einstein.

Abstrack. *Sedimentation in the Kalisemo Dam has accumulated a lot, this problem affects the performance of the Kalisemo Dam. The large amount of sediment in the Kalisemo Dam causes shallowing of the dam which has an impact on the operation of the dam, especially in providing water for irrigation, flood control and so on. Sediment that settles upstream of the dam has the potential to enter through the intake gate into the primary channel so that it can reduce the capacity of the channel. The purpose of this study is to analyze the characteristics and volume of bed load of the Kalisemo Dam, and to obtain alternative handling of sedimentation accumulation. The method used in this study is direct measurement and sampling in the field and testing in the laboratory. The sediment transport calculation method uses the Meyer Peter Muller and Einstein method. Basic sediment samples were taken at 3 points, namely point 1 (right), point 2 (center), point 3 (left). The results of the analysis of the characteristics of the Kalisemo dam sediment transport for the type of grain in the largest grain dam cross-section are included in the type of quartz gravel retained on sieve no. 19 mm and the smallest grain is very fine sand because it is retained on the sieve no. 0.075 mm. The results of the analysis of the volume of bed sediment transport (bed load) using the Meyer Peter Muller method are 8.7114 m³/day and for the Einstein method it is 6.6097 m³/day. Alternative handling by carrying out routine draining when the river discharge at the dam experiences flooding, and dredging after the*

sediment reaches the peak elevation of the dam crest, estimated within 2 years. Dredging is carried out using heavy equipment with a small capacity.

Keyword : *Sediment Transport, Sediments, Meyer Peter Muller & Einstein.*

1. Pendahuluan

Banyaknya sedimen pada hulu bendung tersebut menyebabkan pendangkalan pada hulu bendung yang berdampak pada pengoperasian bendung khususnya dalam penyediaan air baik untuk irigasi, pengendalian banjir dan lain sebagainya. Banyaknya sedimen yang mengendap pada hulu bendung lambat laun akan merusak tubuh bendung, sedimen tersebut juga berpotensi masuk melalui pintu intake ke saluran primer sehingga dapat mengurangi kapasitas saluran (Gianete, 2023). Kinerja saluran irigasi menjadi kurang optimum karena sedimen dapat menyebabkan perubahan dimensi saluran dari asal saluran dan juga sedimen dapat mempengaruhi energi spesifik penampang saluran (Wirosodarmo dkk, 2011). Berdasarkan latar belakang masalah tersebut dirasa perlu melakukan penelitian tentang karakteristik, dan volume angkutan sedimen, serta alternatif penanganan khususnya untuk angkutan dasar (*bad load*) pada dasar mercu kalisemo dengan menggunakan persamaan – persamaan yang dikembangkan oleh Meyer-Peter dan Muller (1948) dan Einstein (1950). Berdasarkan uraian di atas maka perlu dilakukan analisis angkutan sedimen Bendung Kalisemo Kecamatan Loano Kabupaten Purworejo.

Penelitian terdahulu mengenai analisis angkutan sedimen adalah penelitian Utami (2020) dengan judul Analisis Angkutan Sedimen pada Sungai Renggung dan Saluran Primer Bendung Katon Dengan Metode M.P.M dan Einstein. Daerah Aliran Sungai (DAS) Renggung terletak di Kecamatan Janapria Kabupaten Lombok Tengah. DAS Renggung memiliki luas daerah irigasi sebesar 1,717 ha dan memiliki panjang 47,45 km. Dari perhitungan angkutan sedimen dasar (*bed load*) pada tiap penampang diatas, didapat sedimen yang masuk pada sungai adalah sebesar 0,0311 m³/hari dan sedangkan sedimen yang masuk pada saluran rata-ratanya adalah sebesar 0,2584 m³/hari. Jika dibandingkan hasil dari kedua metode, yaitu metode M.P.M dan metode Einstein maka perbandingan angkutan sedimen dasar (*bed load*) pada penampang sungai adalah metode M.P.M sebesar 0,0691 m³/hari dan metode Einstein sebesar 0,0311 m³/hari. Jadi didapatkan bahwa metode M.P.M lebih besar dari pada metode Einstein. Dari hasil tersebut didapatkan selisih sebesar 0,0380 m³/hari, sedangkan perbandingan angkutan sedimen dasar (*bed load*) pada penampang saluran adalah metode M.P.M sebesar 0,5958 m³/hari, metode Einstein sebesar 0,2584 m³/hari. Jadi didapatkan bahwa metode M.P.M lebih besar dari pada metode Einstein. Dari hasil tersebut didapatkan selisih sebesar 0,3374 m³/hari.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan langsung di Bendung Kalisemo, tepatnya di Desa Kalisemo, Kecamatan Loano, Kabupaten Purworejo. Analisis dan pengujian dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Purworejo. Penelitian dilakukan dari bulan Maret 2024 – Juli 2024. Adapun alat yang diperlukan untuk melakukan penelitian yaitu *current meter*, meteran, stopwacth, oven, neraca (timbangan) dengan ketelitian 0,01 gram, gelas ukur, ayakan, termometer, dan plastik. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel material sedimen dasar (*bed load*) dari Bendung Kalisemo dan air dari pengambilan sedimen yang digunakan untuk merendam material saat uji berat jenis. Proses penelitian dilaksanakan dalam beberapa tahap seperti yang dijelaskan berikut ini:

- a. Survei tempat penelitian, pemeriksaan alat – alat sebelum digunakan, apakah dalam kondisi baik dan lengkap.
- b. Melakukan pengukuran yang meliputi pengukuran kedalaman, luas penampang Bendung Kalisemo dibagi menjadi tiga titik yaitu: kanan, tengah, kiri. Kemudian dilakukan pengukuran kecepatan aliran dengan menggunakan alat *current meter*.

- c. Pengambilan sampel sedimen dasar (*bed load*) yang dilakukan langsung pada dasar bendung dengan menggunakan alat bantu sekop pada tiga titik yang telah ditentukan.
- d. Pengujian berat jenis untuk mengetahui data tambahan mengenai karakteristik sedimen yaitu berat jenis material dasar saluran dengan piknometer. Pengujian berat jenis ini dilakukan dengan 2 kali percobaan disetiap sampel.
- e. Pengujian gradasi untuk mengetahui pembagian ukuran butiran material dasar dengan cara analisa ayakan (analisa saringan).
- f. Analisis data angkutan sedimen dilakukan untuk mengetahui volume angkutan sedimen Bendung Kalisemo. Metode yang digunakan yaitu Meyer Peter and Muller (M.P.M) dan Einstein.

3. Hasil Penelitian

3.1 Kondisi Aliran Bendung

Faktor yang menyebabkan sedimen dapat bergerak, bergeser, di sepanjang dasar bendung atau bergerak melayang tergantung kepada komposisi ukuran dan berat, serta kondisii aliran yang meliputi kecepatan aliran (U), luas penampang basah (A), keliling basah (P), debit (Q) dan jari-jari hidrolis (R). Variabel- variabel didapatkan dari pengukuran di Bendung Kalisemo kemudian di olah dan dilakukan langkah-langkah perhitungan sebagai berikut:

a. Perhitungan Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran (U) didapatkan dari prngukuran dengan menggunakan alat *current meter* dengan metode 3 titik. Persamaan yang digunakan yaitu dengan $0,2H$, $0,6H$, dan $0,8H$. Pengukuran dilakukan pada masing-masing titik dari penampang bendung. Hasil pengukuran kecepatan aliran dan kedalaman pada Bendung Kalisemo dengan menggunakan alat *current meter*, dapat dilihat pada tabel 1 bawah ini:

Tabel 1. Hasil Pengukuran kecepatan aliran di Bendung Kalisemo

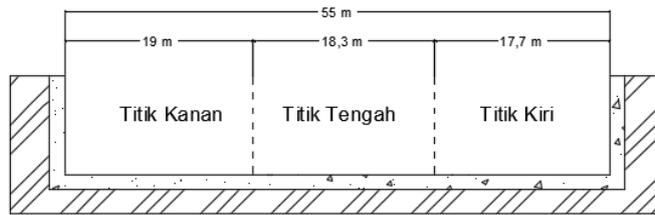
| Penampang | Titik | H (m) | Kec. Aliran (m/dt) (<i>Current Meter</i>) | \bar{U} Rata - Rata (m/dt) | \bar{U} Rata - Rata (m/dt) |
|-----------|--------|-------|--|---------------------------------|---------------------------------|
| 1 | Kanan | 0,2 | 0,4767 | 0,2936 | 0,3142 |
| | | 0,6 | 0,4067 | | |
| | | 0,8 | 0,2909 | | |
| | Tengah | 0,2 | 0,4340 | 0,2910 | |
| | | 0,6 | 0,4076 | | |
| | | 0,8 | 0,3224 | | |
| | Kiri | 0,2 | 0,5366 | 0,3580 | |
| | | 0,6 | 0,4721 | | |
| | | 0,8 | 0,4231 | | |

Sumber : hasil perhitungan.

Dari hasil perhitungan di atas, di dapatkan data kecepatan pada Bendung Kalisemo \bar{U} rata – rata sebesar 0,3142 (m/dt).

b. Perhitungan Luas Penampang (A), Keliling Basah (P), Jari – Jari Hidrolis (R)

Hasil pengukuran di lapangan didapatkan gambar penampang melintang sungai dan saluran seperti Gambar 1 dibawah ini:



Gambar 1. Penampang Melintang Bendung Kalisemo.

Data perhitungan luas penampang (A), keliling basah (P) dan jari-jari hidrolis sungai dan saluran dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. Perhitungan Luas Penampang (A), Keliling Basah (P) dan Jari – Jari Hidrolis pada Bendung Kalisemo

| Penampang | Titik | Kedalaman H (m) | Luas Total A (m ²) | Keliling Basah P (m) | Jari - Jari Hidrolis R (m) |
|-----------|--------|-----------------------|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 1 | Kanan | 0,43 | 7,6110 | 18,5600 | 0,4101 |
| | Tengah | 0,87 | 15,9210 | 20,0400 | 0,7945 |
| | Kiri | 0,94 | 17,8600 | 20,8800 | 0,8554 |

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan di atas didapatkan jari - jari hidrolis pada titik kanan sebesar 0,4101 m, titik tengah sebesar 0,7945 m, dan pada titik kiri sebesar 0,8554 m.

c. Perhitungan Debit Aliran

Hasil perhitungan debit aliran dapat dilihat pada tabel 3 dibawah ini:

Tabel 3. Perhitungan debit aliran di Bendung Kalisemo

| Penampang | Titik | Kecepatan \bar{U} (m/dt) | Luas Total A (m ²) | Debit Q (m ³ /dt) |
|-----------|--------|----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | Kanan | 0.2936 | 7.6110 | 2.2344 |
| | Tengah | 0.2910 | 15.9210 | 4.6330 |
| | Kiri | 0.3580 | 17.8600 | 6.3930 |

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 3 didapatkan debit aliran pada setiap titik yaitu titik kanan sebesar 2,2344 m³/dt, titik tengah 4,6330 m³/dt, dan titik kiri sebesar 6,3930 m³/dt.

d. Perhitungan Kemiringan Dasar Sungai (I) dan Kecepatan Geser Butiran (U^*)

Perhitungan kemiringan dasar sungai dengan menggunakan persamaan Meining. Setelah didapatkan nilai kemiringan dasar sungai (I) dapat dihitung kecepatan geser butiran (U^*) dengan hasil pada tabel 4 berikut:

Tabel 4. Hasil Karakteristik aliran Bendung Kalisemo

| Titik | Kecepatan (U) (m/dt) | Jari-Jari Hidrolis (R) (m) | Kemiringan (I) | Kec. Geser (U*) (m/dt) | Kec.Geser Rata- rata (U*) (m/dt) |
|--------|----------------------------|----------------------------------|-------------------|------------------------------|--|
| Kanan | 0.2936 | 0,4101 | 0,1153 | 0.6589 | 0.7877 |
| Tengah | 0.2910 | 0,0689 | 0,0921 | 0.8195 | |
| Kiri | 0.3580 | 0,0746 | 0,0997 | 0.8846 | |

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan didapatkan bahwa kecepatan rata – rata geser pada Bendung Kalisemo adalah 0,7877 m/det.

3.2 Karakteristik Sedimen

Karakteristik sedimen sendiri meliputi ukuran (*size*) dan berat jenis (*bulk density*), untuk mengetahui ukuran butiran digunakan metode pemeriksaan pembagian butir dengan analisa saringan, dilakukan pengujian sebagai berikut:

a. Ukuran (Size)

1) Analisa Saringan

Distribusi ukuran butiran, maka sedimen dasar (*bed load*) yang di dapatkan, di oven sampai dalam kondisi kering dan selanjutnya di analisa dengan saringan (no 1 ¼”, 1”, ¾”, ½”, 3/8”, ¼”, 4, 8, 10, 20, 40, 60, 80, 100, dan 200) untuk menentukan pembagian ukuran butiran yang berbutir kasar atau memiliki diameter butiran lebih besar dari 0,075 mm (no.200). Hasil analisis saringan dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini, yang mana diambil di Bendung Kalisemo.

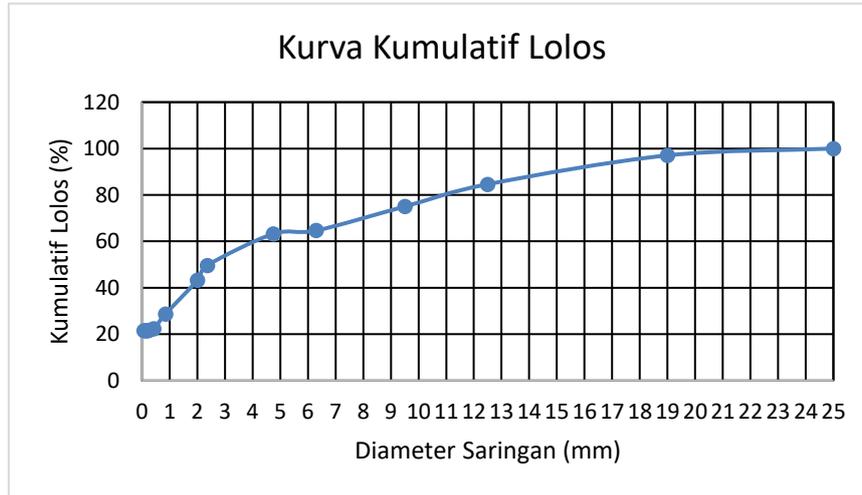
Tabel 5. Distribusi Ukuran Butiran pada Pias Kiri Penampang Bendung Kalisemo,

| No | Diameter Saringan (mm) | Berat Saringan (gram) | Tertahan + Saringan (gram) | Berat Tertahan (gram) | % Tertahan | Kumulatif Lolos (gram) | % Kumulatif Lolos |
|-------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------|------------------------------|-------------------------|
| 1" | 25 | 452.74 | 0 | 0 | 0 | 997.01 | 100 |
| ¾" | 19 | 407.85 | 437.16 | 29.31 | 2.9398 | 967.7 | 97.0602 |
| ½" | 12.5 | 395.68 | 519.75 | 124.07 | 12.4442 | 843.63 | 84.6160 |
| 3/8" | 9.5 | 440.21 | 535.97 | 95.76 | 9.6047 | 747.87 | 75.0113 |
| ¼" | 6.3 | 455.92 | 558.98 | 103.06 | 10.3369 | 644.81 | 64.6744 |
| 4 | 4.75 | 415.79 | 430.21 | 14.42 | 1.4463 | 630.39 | 63.2281 |
| 8 | 2.36 | 411.25 | 546.66 | 135.41 | 13.5816 | 494.98 | 49.6464 |
| 10 | 2 | 289.95 | 354.36 | 64.41 | 6.4603 | 430.57 | 43.1861 |
| 20 | 0.85 | 382.31 | 527.44 | 145.13 | 14.5565 | 285.44 | 28.6296 |
| 40 | 0.425 | 374.16 | 437.52 | 63.36 | 6.3550 | 222.08 | 22.2746 |
| 60 | 0.25 | 393.67 | 400.13 | 6.46 | 0.6479 | 215.62 | 21.6267 |
| 80 | 0.18 | 361.56 | 362.29 | 0.73 | 0.0732 | 214.89 | 21.5534 |
| 100 | 0.15 | 350.19 | 350.54 | 0.35 | 0.0351 | 214.54 | 21.5183 |
| 200 | 0.075 | 347.52 | 347.9 | 0.38 | 0.0381 | 214.16 | 21.4802 |
| Pan | | | 380.56 | 214.16 | 21.4802 | 0.00 | 0 |
| Total | | | 6189.47 | 997.01 | 100 | | |

Sumber: Hasil Perhitungan

Pengamatan hasil analisa saringan butiran pada Tabel 5 di atas, di dapatkan bahwa ukuran butiran pada Bendung Kalisemo terbanyak tertahan pada saringan no. 20 (mm) yang termasuk jenis butiran. Ukuran saringan butiran terbesar tertahan di saringan no. 3/4" (mm).

Kemudian dari Tabel 5 diatas didapat kurva kumulatif distribusi ukuran butiran di Bendung Kalisemo, seperti dibawah ini:



Gambar 2. Kurva kumulatif distribusi ukuran butiran pada pias kiri di Bendung Kalisemo.

2) Menentukan D_{35} , D_{55} , D_{65} , dan D_{90}

Untuk mengetahui distribusi butiran sedimen pada Bendung Kalisemo dapat dilihat pada diameter saringan berdasarkan persentase grafik komulatif lolos D_{35} , D_{55} , D_{65} , dan D_{90} (35%, 55%, 65% dan 90%). Untuk menentukan nilai dari masing-masing lokasi penelitian, didapatkan nilai dari grafik komulatif lolos dari sampel sedimen pada Bendung Kalisemo. Data dari masing-masing komulatif lolos dan diameter saringan didapatkan nilai D_{35} , D_{55} , D_{65} , dan D_{90} secara berturut-turut dapat dilihat seperti Tabel 6 di bawah ini:

Tabel 6. Data Kumulatif Lolos dan Diameter Saringan

| | | Penampang Bendung Kalisemo | | | | | |
|------------|------------------------|----------------------------|---------|--------------|---------|------------|---------|
| | | Titik Kanan | | Titik Tengah | | Titik Kiri | |
| D35 | Kumulatif Lolos (%) | 37.7958 | 30.0957 | 39.1413 | 29.9110 | 43.1861 | 28.6296 |
| | Diameter Saringan (mm) | 2 | 0.85 | 2 | 0.85 | 2 | 0.85 |
| D55 | Kumulatif Lolos (%) | 58.8907 | 51.3571 | 61.0828 | 39.1413 | 63.2281 | 49.6464 |
| | Diameter Saringan (mm) | 9.5 | 6.3 | 2.36 | 2 | 4.75 | 2.36 |
| D65 | Kumulatif Lolos (%) | 68.4761 | 58.8907 | 73.7721 | 63.5832 | 75.0113 | 64.6744 |
| | Diameter Saringan (mm) | 12.5 | 9.5 | 9.5 | 6.3 | 9.5 | 6.3 |
| D90 | Kumulatif Lolos (%) | 100 | 85.4593 | 100 | 84.8274 | 97.0602 | 84.6160 |
| | Diameter Saringan (mm) | 25 | 19 | 19 | 12.5 | 19 | 12.5 |

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil analisis saringan secara menyeluruh dapat dilihat pada tabel 7 berikut:

Tabel 7. Data nilai D_{35} , D_{55} , D_{65} , dan D_{90}

| Penampang Bendung Kalisemo | D_{35} , | D_{55} , | D_{65} , | D_{90} |
|----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | Diameter Saringan (mm) | Diameter Saringan (mm) | Diameter Saringan (mm) | Diameter Saringan (mm) |
| Kanan | 1.5824 | 7.8474 | 11.4121 | 20.8737 |
| Tengah | 1.4840 | 2.2602 | 6.7450 | 14.7160 |
| Kiri | 1.3533 | 3.3021 | 6.4008 | 15.3122 |

Sumber: Hasil Perhitungan

3) Berat Jenis (Bulk Density)

Pengujian berat jenis dilakukan dengan alat gelas ukur, untuk mengetahui besarnya berat jenis dan dicari rata-ratanya.

Tabel 8. Pengujian Berat Jenis Sedimen pada Bendung

| Instrumen | | Penampang Bendung Kalisemo | | | | | |
|--|--------------------|----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | Kanan | | Tengah | | Kiri | |
| | | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Berat Piknometer (W1) | gr | 20,4500 | 17,8800 | 20,4500 | 17,8800 | 20,4500 | 17,8800 |
| Berat Piknometer + Sempel (W2) | gr | 30,4000 | 27,8400 | 30,7500 | 29,0400 | 31,5500 | 28,9100 |
| Berat Piknometer + Air + Sampel (W3) | gr | 56,1000 | 49,5000 | 56,9000 | 51,0900 | 57,3500 | 51,0900 |
| Berat Piknometer + Air (W4) | gr | 49,8100 | 43,4600 | 49,8100 | 43,4600 | 49,81 | 43,4600 |
| Temperatur | °C | 30,000 | | | | | |
| Faktor Koreksi (K) | K | 0,9986 | | | | | |
| Berat Piknometer + Air Terkoreksi (W5) | gr | 49,7403 | 43,3992 | 49,7403 | 43,3992 | 49,7403 | 43,3992 |
| Berat Tanah | gr | 9,9500 | 9,9600 | 10,3000 | 11,1600 | 11,1000 | 11,0300 |
| Berat Jenis Sampel (Gs) | gr/cm ³ | 2,7713 | 2,5809 | 3,2791 | 3,2169 | 3,1803 | 3,3032 |
| Berat Jenis Sampel (Gs) | gr/cm ³ | 2,6761 | | 3,2484 | | 3,2418 | |
| Total Rata - Rata Berat Jenis (Gs) | gr/cm ³ | 3,0554 | | | | | |

Sumber: Hasil Perhitungan

4) Analisis Permulaan Gerakan Butiran

Analisis permulaan gerakan butiran dilakukan untuk mengetahui material atau sedimen *bed load* dalam keadaan diam atau bergerak. Grafik Shields digunakan untuk mengetahui nilai kecepatan geser kritis. Sebagai contoh perhitungan maka akan digunakan data Titik kiri pada penampang Bendung, dengan nilai:

$$U^* = 0,8846 \text{ m/dtk}$$

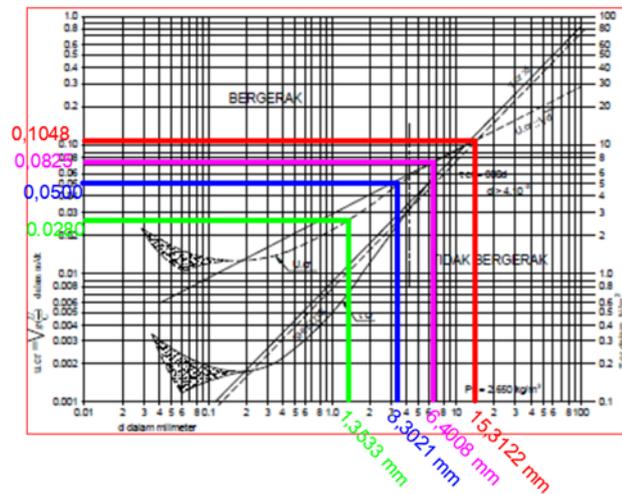
$$D_{35} = 1,3533 \text{ mm}$$

$$D_{55} = 3,3021 \text{ mm}$$

$$D_{65} = 6,4008 \text{ mm}$$

$$D_{90} = 15,3122 \text{ mm}$$

Nilai U^*_{cr} didapatkan dari penjelasannya dapat dilihat pada grafik shields dibawah ini:



Gambar 3. Grafik Shields untuk Kontrol Stabilitas Butiran pada Titik Kiri Penampang Bendung.

Setelah dilakukan analisis permulaan gerakan butiran sedimen dengan grafik Shields dari semua titik dapat dilihat selengkapnya pada tabel 9:

Tabel 9. Hasil Analisis Permulaan Gerakan Butiran Sedimen Dasar (*Bed Load*)

| Titik | Diameter (mm) | U^* | U^*_{cr} | Keterangan |
|--------|---------------|---------|------------|------------|
| Kanan | 35 | 1.5824 | 0.0298 | Bergerak |
| | 55 | 7.8474 | 0.0773 | Bergerak |
| | 65 | 11.4121 | 1.0500 | Bergerak |
| | 90 | 20.8737 | 0.1450 | Bergerak |
| Tengah | 35 | 1.4840 | 0.0289 | Bergerak |
| | 55 | 2.2602 | 0.0398 | Bergerak |
| | 65 | 6.7450 | 0.0830 | Bergerak |
| | 90 | 14.7160 | 0.1040 | Bergerak |
| Kiri | 35 | 1.3533 | 0.0280 | Bergerak |
| | 55 | 3.3021 | 0.0510 | Bergerak |
| | 65 | 6.4008 | 0.0825 | Bergerak |
| | 90 | 15.3122 | 0.1048 | Bergerak |

Sumber: Hasil Perhitungan

3.3 Analisis Angkutan Sedimen Dasar (*Bed Load*)

Penelitian ini angkutan sedimen dasar (*bed load*) yang diperhitungkan merupakan sedimen yang berada di Bendung Kalisemo. Maka dari itu akan dicari angkutan sedimennya menggunakan 2 metode yaitu Metode Meyer Peter & Muller (M.P.M) dan Metode Einstein.

a. Metode Meyer Peter and Muller (M.P.M)

Sebagai contoh perhitungan maka digunakan hasil analisis pengamatan pada titik kiri penampang bendung, seperti dibawah ini:

Diketahui data:

- Debit aliran (Q) = 6,3930 m³/dt
- Kecepatan rata-rata (U) = 0,3580 m/dt
- Jari-jari hidrolis (R) = 0,8554 m
- Keliling basah (P) = 20,8800 m
- Kemiringan dasar saluran (I) = 0,0997
- Berat jenis sedimen (γ_s) = 3242 kg/m³

- Berat jenis air (γ_w) = 1000 kg/m³
- $\Delta = (\gamma_s - \gamma_w) / \gamma_w = 2,2418$
- Diameter butiran $D_{35} = 0,00135$ m
- Diameter butiran $D_{55} = 0,003302$ m
- Diameter butiran $D_{65} = 0,00640$ m
- Diameter butiran $D_{90} = 0,01531$ m

Maka sebelumnya mencari nilai *friction factor* angkutan dengan persamaan 16 yakni:

$$C = \frac{\bar{U}}{\sqrt{R \cdot I}} = \frac{0,3580}{\sqrt{0,8554 \cdot 0,0746}} = 1,2260$$

Kemudian dengan persamaan 17 di dapat *friction factor* intensitifnya, yaitu:

$$C' = 18 \log \frac{12 \cdot R}{D_{90}} = 18 \log \frac{12 \cdot 0,8554}{0,0153} = 50,8733$$

Sehingga dapat dihitung nilai *ripple factor* ini:

$$\mu = \left(\frac{C}{C'}\right)^{3/2} = \left(\frac{1,2260}{50,8733}\right)^{3/2} = 0,0037$$

Kemudian dengan persamaan 15, di dapat untuk menghitung intensitas Pengaliran efektif, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \psi &= \frac{\mu \cdot R \cdot I}{\Delta \cdot D_{55}} \\ \psi &= \frac{0,0037 \times 0,8554 \times 0,0997}{2,2418 \times 0,0033} \end{aligned}$$

$$\psi = 0,0431$$

Selanjutnya menghitung intensitas angkutan sedimen (ϕ) dengan persamaan sebagai berikut:

$$\phi = (4 \psi - 0,188)^{3/2}$$

$$\phi = (4 \cdot 0,0431 - 0,188)^{3/2}$$

$$\phi = 0,0020$$

Dengan demikian jumlah sedimen yang terangkat per meter persatuan waktu dapat dihitung dengan persamaan 18, yaitu:

$$Q_b = \phi (g \cdot \Delta \cdot D_{55}^3)^{1/2}$$

$$\begin{aligned} Q_b &= 0,0020 (9,81 \cdot 2,2418 \cdot 0,003302^3)^{1/2} \\ &= 0,00000175 \text{ m}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_b \text{ Hari} &= 0,00000175 \times 24 \times 3600 \\ &= 0,1509 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Hasil titik tengah dan Kanan dapat dilihat pada Tabel 10 di bawah ini.

Tabel.10 Hasil perhitungan angkutan sedimen dasar (*bed Load*) dengan Metode M.P.M

| Sungai | C | C' | μ | ψ | ϕ | Q_b (m ³ /dt) | Q_b (m ³ /Hari) | Q_b Total (m ³ /hari) |
|--------|--------|---------|--------|--------|--------|----------------------------|------------------------------|------------------------------------|
| Kanan | 1,3500 | 42,7040 | 0,0056 | 0,0202 | 0,0351 | 0,0000989 | 8,5444 | 8,7114 |
| Tengah | 1,0758 | 50,6064 | 0,0031 | 0,0483 | 0,0004 | 0,0000002 | 0,0161 | |
| Kiri | 1,2260 | 50,8733 | 0,0037 | 0,0431 | 0,0020 | 0,0000017 | 0,1509 | |

Sumber: Hasil Perhitungan

Perhitungan angkutan sedimen dasar (*bed load*) pada tiap penampang diatas, di dapat sedimen yang masuk bendung yaitu sebesar 8,7114 m³/hari.

b. Metode Einstein

Sebagai contoh perhitungan maka digunakan hasil analisis pengamatan pada pias kiri penampang Bendung, seperti dibawah ini:

Diketahui data:

- Debit aliran (Q) = 6,3930 m³/dt
- Kecepatan rata-rata (U) = 0,3580 m/dt
- Jari-jari hidrolis (R) = 0,6159 m
- Keliling basah (P) = 20,8800 m
- Kemiringan dasar saluran (I) = 0,0997
- Berat jenis sedimen (γ_s) = 3242 kg/m³
- Berat jenis air (γ_w) = 1000 kg/m³
- $\Delta = (\gamma_s - \gamma_w) / \gamma_w = 2,2418$
- Diameter butiran $D_{35} = 0,00135$ m
- Diameter butiran $D_{55} = 0,003302$ m
- Diameter butiran $D_{65} = 0,00640$ m
- Diameter butiran $D_{90} = 0,01531$ m

Einstein menggunakan D_{35} untuk parameter angkutan, sedangkan untuk kekasaran digunakan D_{65} . Sehingga langkah selanjutnya yaitu dengan persamaan 16 untuk menghitung nilai *friction factor* sama seperti rumus M.P.M, yaitu:

$$C = \frac{\bar{U}}{\sqrt{R \cdot I}} = \frac{0,3580}{\sqrt{0,8554 \cdot 0,0997}} = 1,2260$$

Kemudian dengan persamaan 17 di dapat *friction factor* intensitifnya, yaitu:

$$C' = 18 \log \frac{12 \cdot R}{D_{65}} = 18 \log \frac{12 \cdot 0,8554}{0,0064} = 57,6918$$

Sehingga dapat dihitung nilai *ripple factor* ini:

$$\mu = \left(\frac{C}{C'}\right)^{3/2} = \left(\frac{1,2260}{57,6918}\right)^{3/2} = 0,0031$$

Kemudian dengan persamaan 21, di dapat untuk menghitung intensitas Pengaliran efektif, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Psi &= \frac{\mu \cdot R \cdot I}{\Delta \cdot D_{35}} \\ \Psi &= \frac{0,0031 \times 0,8554 \cdot 0,0997}{2,2418 \times 0,0014} \\ \Psi &= 0,0870 \end{aligned}$$

Selanjutnya menghitung intensitas angkutan sedimen (ϕ) dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \Phi &= (4 \Psi - 0,188)^{3/2} \\ \Phi &= (4 \cdot 0,0870 - 0,188)^{3/2} \\ \Phi &= 0,0641 \end{aligned}$$

Dengan demikian jumlah sedimen yang terangkat per meter persatuan waktu dapat dihitung dengan persamaan 19, yaitu:

$$\begin{aligned} Q_b &= \phi (g \cdot \Delta \cdot D_{35}^3)^{1/2} \\ Q_b &= 0,0641 \cdot (9,81 \cdot 2,2418 \cdot 0,0014^3)^{1/2} \\ &= 0,000057 \text{ m}^3/\text{dt} \\ Q_b \text{ Hari} &= 0,000057 \times 24 \times 3600 \\ &= 4,9290 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan titik tengah dan kanan dapat dilihat pada Tabel 14 di bawah ini:

Tabel.14 Hasil perhitungan angkutan sedimen dasar (*bed Load*) dengan Metode Einstein

| Sungai | <i>C</i> | <i>C'</i> | μ | Ψ | Φ | <i>Qb</i> (m ³ /dt) | <i>Qb</i> (m ³ /Hari) | <i>Qb</i> Total (m ³ /hari) |
|--------|----------|-----------|--------|--------|--------|--------------------------------|----------------------------------|--|
| Kanan | 1,3500 | 47,4243 | 0,0048 | 0,0856 | 0,0607 | 0.0000155 | 1,3396 | 6,6097 |
| Tengah | 1,0758 | 56,7049 | 0,0026 | 0,0620 | 0,0147 | 0.0000039 | 0,3411 | |
| Kiri | 1,2260 | 57,6918 | 0,0031 | 0,0870 | 0,0641 | 0.0000570 | 4,9290 | |

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari perhitungan angkutan sedimen dasar (*bed load*) pada tiap penampang diatas, di dapat sedimen yang masuk pada bendung adalah sebesar 6,6097 m³/hari. Jika dibandingkan hasil dari kedua metode, yaitu metode M.P.M dan metode Einstein maka perbandingan angkutan sedimen dasar (*bed load*) pada penampang bendung adalah metode M.P.M yaitu sebesar 8,7114 m³/hari, metode Einstein sebesar 6,6097 m³/hari. Jadi didapatkan bahwa metode M.P.M lebih besar dari pada metode Einstein. Dari hasil tersebut didapatkan selisih sebesar 2,1017 m³/hari.

Perhitungan untuk menentukan ketebalan penumpukan sedimen pada Bendung Kalisemo dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} \text{Estimasi Penumpukan Sedimen} &= \frac{\text{Volume Bendung}}{\text{Volume Angkutan Sedimen}} \\ \text{Estimasi Penumpukan Sedimen} &= \frac{3300 \text{ m}^3}{1585,5 \text{ m}^3/\text{tahun}} \\ &= 2,0814 \approx 2 \text{ tahun} \end{aligned}$$

3.4 Pembahasan

Hasil analisis volume dengan menggunakan metode M.P.M dengan kecepatan aliran yang berbeda menghasilkan volume yang berbeda. Perbedaan volume dapat dilihat pada tabel 13, pada titik 1 volume sebesar 8,5444 m³/hari memiliki perbedaan jauh dengan volume titik 2 sebesar 0,0161 m³/hari dan titik 3 sebesar 0,1509 m³/hari. Selisih tersebut terjadi karena posisi titik 1 yang berada jauh dari pintu penguras bendung, sehingga titik 1 kurang terjangkau oleh perlakuan dari pintu penguras. Titik 2 volume lebih kecil dari pada titik 1 dan 3 dikarenakan titik 2 terletak pada tengah bendung sehingga tidak terpengaruh oleh erosi lereng lereng hulu bendung atau sungai.

Analisis menggunakan metode Einstein menghasilkan volume pada titik 1 sebesar 1,3396 m³/hari, titik 2 sebesar 0,3411 m³/hari, dan titik 3 volume nya terbesar 4,9290 m³/hari. Perbedaan ini disebabkan pada titik 3 sedimen dengan butiran sedimen yang berukuran 1,3533 mm – 6,4008 mm banyak tertahan pada bendung. Sedangkan diameter 3,3021 mm – 15,3122 mm lebih banyak terkuras oleh pintu penguras dan ikut masuk ke pintu intake, karena letak titik 3 berada di hulu bendung dan tegak lurus dengan pintu penguras dan pintu intake. Sehingga ada pengaruh langsung dari pintu penguras dan pintu intake tersebut yang mempengaruhi kecepatan aliran tersebut.

Titik 1 hasil volume dengan M.P.M sebesar 8,5444 m³/hari dan Einstein sebesar 1,3396 m³/hari, selisih yang sangat jauh yaitu 7,2048 m³/hari. Selisih tersebut disebabkan karena pada metode M.P.M menggunakan diameter *D*₉₀ titik 1 yaitu 20,8737 mm dan diameter efektif *D*₅₅ yaitu 7,8474 mm, pada titik 1 lebih banyak dari pada metode Einstein menggunakan diameter *D*₆₅ titik 1 yaitu 11,4121 mm dan diameter efektif *D*₃₅ yaitu 1,5824 mm. Hal ini disebabkan letak titik 1 yang jauh dari pintu penguras dan pintu intake sehingga pada titik 1 kurang mendapatkan perlakuan khusus dari pintu penguras bendung.

Titik 2 hasil volume dengan M.P.M sebesar 0,0161 m³/hari dan Einstein sebesar 0,3411 m³/hari, selisih yang sangat jauh yaitu 0,3250 m³/hari. Perbedaan tersebut disebabkan karena pada metode M.P.M menggunakan diameter *D*₉₀ titik 1 yaitu 14,7160 mm dan diameter efektif *D*₅₅ yaitu 2,2602 mm, pada titik 2 lebih sedikit dari pada metode Einstein menggunakan diameter *D*₆₅ titik 2 yaitu 6,7450 mm dan diameter efektif *D*₃₅ yaitu 1,4840 mm yang relatif lebih besar. Hal ini disebabkan letak titik 2 yang berada ditengah bendung / sungai dan sedikit lebih dekat dengan pintu penguras dan pintu intake sehingga pada titik 2 mendapatkan perlakuan khusus dari pintu

penguras bendung, selain itu pada titik 2 juga kurang mendapatkan efek erosi dari lereng – lereng di hulu bendung sehingga volumenya paling kecil dibandingkan titik 1 dan 2.

Berbeda lagi pada titik 3 hasil volume dengan M.P.M sebesar 0,1509 m³/hari lebih kecil dari pada Einstein sebesar 4,9290 m³/hari, selisih yang sangat jauh yaitu 4,7781 m³/hari. Selisih tersebut disebabkan karena pada metode M.P.M menggunakan diameter D_{90} titik 3 yaitu 15,3122 mm dan diameter efektif D_{55} yaitu 3,3021 mm, pada titik 3 lebih sedikit dari pada metode Einstein menggunakan diameter D_{65} titik 3 yaitu 6,4008 mm dan diameter efektif D_{35} yaitu 1,3533 mm yang lebih besar. Hal ini disebabkan titik 3 terletak di atas pintu penguras dan pintu intake mendapatkan perlakuan khusus dari pintu penguras bendung dan juga banyak sedimen yang masuk kedalam pintu intake, yang dimana D_{90} dan yang paling banyak dan mudah terbawa aliran saat dilakukan pengurusan dan banyak pula yang ikut masuk kedalam pintu intake.

Dapat disimpulkan dari hasil analisis tersebut besar kecilnya volume selain dipengaruhi oleh kecepatan dan diameter butiran juga dipengaruhi oleh pengaruh perlakuan khusus dari bangunan bendung yaitu pintu penguras dan pintu intake.

4. Kesimpulan dan Saran

Hasil penelitian dan analisis angkutan sedimen Bendung Kalisemo dapat disimpulkan:

- a. Karakteristik butiran angkutan sedimen dasar (*bed load*) pada Bendung Kalisemo dapat dilihat sebagai berikut:
 - 1) Jenis sedimen penampang kanan bendung yaitu kerikil berkwarza, dan sebagian pasir sangat halus. Berat jenis (Gs) sebesar 2,6761 gram/cm³.
 - 2) Jenis sedimen penampang tengah bendung yaitu kerikil sedang, dan sebagian pasir sangat halus. Berat jenis (Gs) sebesar 3,2484 gram/cm³.
 - 3) Jenis sedimen penampang kiri bendung yaitu kerikil berkwarza, dan sebagian pasir sangat halus. Berat jenis (Gs) sebesar 3,2418 gram/cm³.
 - 4) Berat jenis rata – rata (Gs) butiran pada bendung kalisemo sebesar 3,0554 gram/cm³.
- b. Hasil perhitungan didapatkan volume angkutan sedimen yang didapat dari masing masing titik tersebut kemudian dijumlah menjadi volume angkutan sedimen pada Bendung Kalisemo. Metode Meyer Peter Muller didapatkan sebesar 8,7114 m³/hari dan untuk metode Einstein sebesar 6,6097 m³/hari.
- c. Penanganan yang pertama yaitu dilakukan pengurusan secara rutin melalui bangunan penguras saat debit banjir. Alternatif kedua dikarenakan untuk penumpukan sedimentasi pada Bendung dalam 2 tahun dapat mencapai ketinggian puncak mercu, maka perlu dilakukan pengerukan apabila sedimentasi sudah mencapai puncak elevasi mercu.

Saran yang di dapat pada untuk penelitian selanjutnya terkait analisis angkutan sedimen bendung kalisemo yaitu:

- a. Disarankan untuk memvariasi jumlah sekmen dan jumlah titik pengambilan data.
- b. Disarankan untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan beberapa kali pengambilan data, agar untuk mendapatkan hasil angkutan sedimen lebih baik.
- c. Disarankan menggunakan memperhatikan keselamatan saat melakukan pengukuran.
- d. Penelitian selanjutnya mungkin bisa menggunakan metode yang berbeda.

Daftar Pustaka

- Anggrahini, 1997, *Hidrolika Saluran Terbuka*, Surabaya, Dieta Pratama.
- Anonim. 1998. *Pedoman Penyusunan Rencana Teknik Lapangan Rehabilitas Lahan dan Konservasi Daerah Aliran Sungai*, Jakarta: Dirjen Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan.
- Asdak, C., 2010, *Hidrologi dan Pengelolaaan Daerah Aliran Sungai*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

- 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*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Garlina, 2013, *Sedimen Dasar di Sungai Jangkok Hulu*, Mataram.
- Gianete, 2023, *Analisa Angkutan Sedimen Dasar (Bed Load) Dengan Menggunakan Metode M.P.M dan Einsten Pada Bendung Pesongoran Lombok Barat*, Fakultas Teknik Universitas Mataram, Mataram.
- Hermawan, A., & Afiato, E., 2021. *Analisis Angkutan Sedimen Dasar (Bed Load) Pada Saluran Irigasi Mataram Yogyakarta*. Institut Teknik Nasional Yogyakarta. Yogyakarta.
- Nurroochmad, F. 2007. *Analisis Kinerja Jaringan Irigasi*. Agritech, 27 (4).
- Priyantoro, D., 1987, *Teknik Pengangkut Sedimen*, Himpunan Mahasiswa Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.
- Putra IB. Giri dkk, 2016, *Analisis Sedimentasi Pada Saluran Utama Bendung Jangkok*, Spektrum Sipil, ISSN 1858-4896.
- Soewarno, 1991, *Hidrologi Pengukuran dan Pengelolaan Data aliran Sungai (Hidrometri)*, Nova, Bandung.
- Soemarto, CD., 1987, *Hidrologi Teknik*, Usaha Nasional, Surabaya.
- Utami Rizkika, 2020, *Analisis Angkutan Sedimen pada Sungai Renggung dan Saluran Primer Bendung Katon dengan Metode M.P.M dan Einsten*, Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram, Mataram.