



PEMODELAN ANGKUTAN SEDIMEN DASAR MENGUNAKAN SOFTWARE HEC-RAS DI HULU BENDUNG SEKKA-SEKKA

Imam Rohani*, Muh. Ryan Pratama, Dzulfikaruddin

Teknik Sipil, Teknik, Universitas Sulawesi Barat

*Corresponding Author, Email : imam.rohani@unsulbar.ac.id

ABSTRAK

Sedimentasi di wilayah hulu sungai dapat menurunkan efektivitas fungsi bendung. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan angkutan sedimen dasar di hulu Bendung Sekka-Sekka, Kabupaten Polewali Mandar, menggunakan perangkat lunak HEC-RAS versi 6.6.1. Pendekatan yang digunakan adalah kuantitatif melalui simulasi numerik. Data diperoleh melalui survei lapangan, pengambilan sampel sedimen dasar, serta uji laboratorium berupa analisis saringan dan pengujian berat jenis. Data tersebut digunakan sebagai input pemodelan untuk mensimulasikan proses transportasi sedimen. Hasil simulasi menunjukkan bahwa titik RS 115.00 mengalami lonjakan kecepatan aliran dan tegangan geser pada awal Agustus 2024, yang menyebabkan peningkatan akumulasi sedimen secara signifikan. Temuan ini menunjukkan bahwa wilayah hulu memberi kontribusi besar terhadap sedimentasi di bendung. Pemodelan ini memberikan gambaran kondisi nyata transportasi sedimen dan menjadi dasar dalam merancang strategi pengendalian. Rekomendasi strategi pengelolaan meliputi pengerukan berkala dan pembangunan bangunan pengendali sedimen di hulu. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengelolaan daerah aliran sungai secara berkelanjutan untuk menjaga fungsi bendung dan mendukung sistem irigasi yang efisien di wilayah sekitarnya.

Kata Kunci : *Angkutan sedimen dasar, Bendung Sekka-Sekka, HEC-RAS, Pemodelan, Sedimentasi.*

ABSTRACT

Sedimentation in the upstream area of a river can significantly reduce the effectiveness of a weir. This study aims to model bed sediment transport in the upstream section of the Sekka-Sekka dam, located in Polewali Mandar Regency, using HEC-RAS version 6.6.1 software. A quantitative approach was applied through numerical simulation. Data were collected from field surveys, bed sediment sampling, and laboratory tests including sieve analysis and specific gravity testing. These data served as inputs for the HEC-RAS model to simulate sediment transport processes. Simulation results indicate that at station RS 115.00, a significant increase in flow velocity and shear stress occurred in early August 2024, leading to a substantial rise in sediment accumulation. These findings demonstrate that the upstream area contributes greatly to sedimentation at the weir. The model provides a clear picture of sediment transport dynamics and serves as a foundation for developing appropriate control strategies. Recommended management strategies include regular dredging and the construction of sediment control structures upstream. This study is expected to serve as a reference for sustainable watershed management, helping to maintain the weir's functionality and support efficient irrigation systems in the surrounding agricultural area.

Keywords: *Bed sediment transport, Sekka-Sekka dam, HEC-RAS, Modeling, Sedimentation.*

PENDAHULUAN

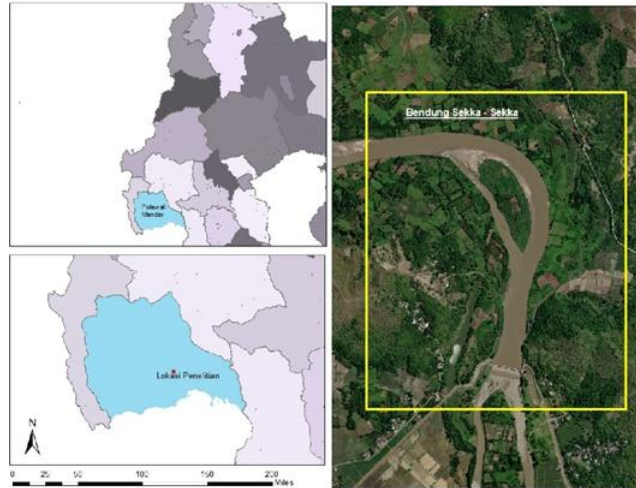
Pemeliharaan rutin saluran sungai sangat penting untuk mencegah dampak negatif sedimentasi seperti pendangkalan, penyempitan, dan penyumbatan aliran air. Tanpa perawatan berkala, sedimentasi dapat mengurangi kapasitas saluran, meningkatkan risiko banjir, dan mengganggu distribusi air untuk irigasi serta kebutuhan lainnya. Oleh karena itu, tindakan seperti pengerukan dan pembersihan saluran perlu dilakukan secara teratur untuk menjaga fungsi optimal saluran sungai (Rohani et al., 2023). Bendungan Sekka-Sekka merupakan bendungan terbesar di Polewali Mandar yang terletak di Kelurahan Batu Panga, Kecamatan Luyo. Efektivitas bendungan terganggu oleh sedimentasi di bagian hulu yang disebabkan oleh kemiringan lahan, kecepatan aliran, angkutan sedimen, dan proses flokulasi. Untuk memahami dinamika ini, penelitian dilakukan dengan HEC-RAS guna memodelkan angkutan sedimen dasar dan memperkirakan perubahan morfologi sungai. Simulasi ini juga bertujuan mengevaluasi penanganan sedimentasi, baik secara makro maupun mikro. Perubahan morfologi sungai akibat sedimentasi menjadi permasalahan penting dalam pengelolaan sumber daya air. Salah satu dampak utamanya adalah terganggunya stabilitas bangunan air dan menurunnya kapasitas aliran sungai. Oleh karena itu, pemodelan angkutan sedimen menjadi langkah penting dalam memahami dinamika sungai, khususnya sedimen dasar (bed load).

HEC-RAS merupakan salah satu perangkat lunak yang banyak digunakan dalam pemodelan aliran dan sedimentasi sungai. Penelitian oleh Taufiq (2023) menunjukkan bahwa penggunaan HEC-RAS 6.1 efektif untuk menganalisis perubahan elevasi dasar Sungai Tondano dalam periode 6 tahun. Haikal (2023) juga berhasil memodelkan perubahan dasar Sungai Pappa dan mengidentifikasi zona agradasi, degradasi, serta keseimbangan. Di Papua Barat, Rusdi (2023) memprediksi total muatan sedimen Sungai Klagison mencapai 124.007 ton dalam 5 tahun. Sementara itu, Shiami (2017) membandingkan perhitungan analitik dan pemodelan HEC-RAS untuk Waduk Tugu dan menemukan bahwa pemodelan menghasilkan estimasi sedimentasi yang lebih besar dan detail. Penelitian oleh (Hartono et al., 2022) juga mendukung kemampuan HEC-RAS dalam menganalisis kapasitas penampang sungai berdasarkan debit rencana. Meski telah banyak digunakan, studi pemodelan sedimen masih jarang dilakukan di wilayah Sulawesi Barat. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memodelkan angkutan sedimen dasar di hulu Bendung Sekka-Sekka menggunakan HEC-RAS, guna mengetahui perubahan dasar sungai dan dampaknya terhadap sistem pengairan.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

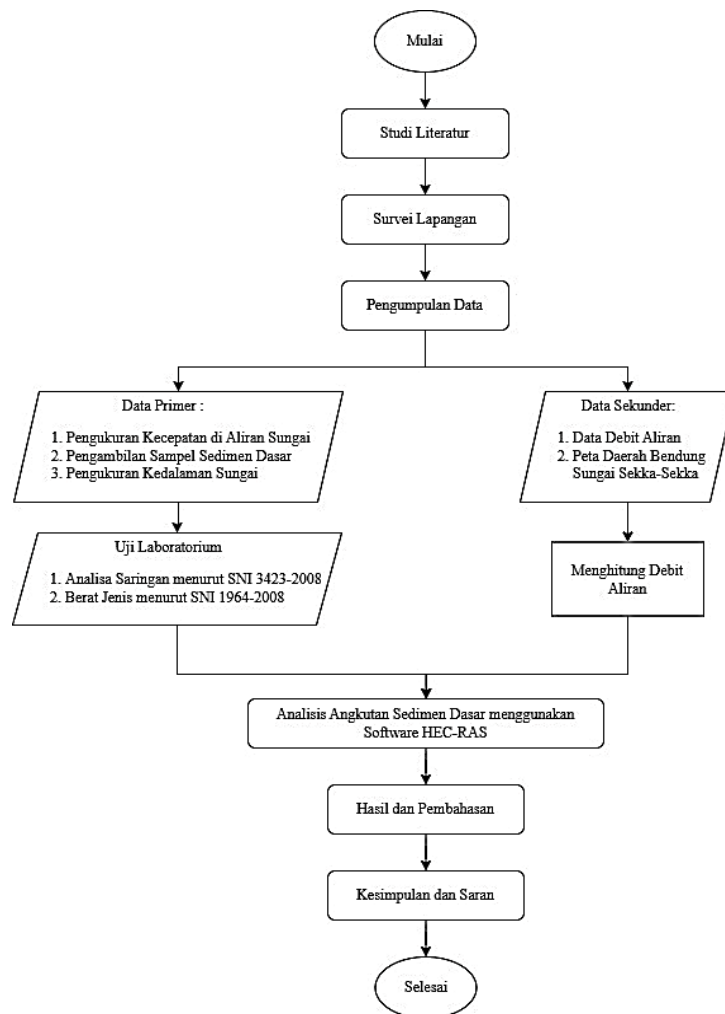
Penelitian ini dilakukan di sungai maloso bendung sekka-sekka yang berlokasi di Polewali Mandar, Kelurahan Batupanga, Kecamatan Luyo dan berbatasan dengan Kecamatan Mapilli, Kabupaten Majene, Sulawesi Barat, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Diagram Alir Penelitian

Bagan alir, atau flowchart pada penelitian ini, ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Bagan alir penelitian

Dari gambar 2. Pengambilan data dikumpulkan melalui survei lapangan, pengambilan sampel sedimen, serta uji laboratorium. Pemodelan dilakukan dengan HEC-RAS versi 6.6.1, yang memanfaatkan input data geometri sungai, debit aliran, dan karakteristik sedimen. Proses pemodelan mencakup input data hingga simulasi untuk menganalisis distribusi dan akumulasi sedimen.

Persamaan England–Hansen

England–Hansen, yang juga dikenal dengan sebutan England–Henderson atau England-Hend, merupakan salah satu formula empiris yang digunakan untuk memperkirakan laju angkutan sedimen dasar (bed load) pada aliran saluran terbuka. Persamaan ini kerap diterapkan dalam analisis hidrolika dan transportasi sedimen, khususnya melalui pemanfaatan perangkat lunak seperti HEC-RAS.

$$q_b = a \cdot (\tau - \tau_c)^b \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- qb = laju angkutan sedimen per satuan lebar (m²/s),
- τ = tegangan geser dasar actual (N/m²)
- τc = tegangan geser kritis (N/m²),
- a,b = konstanta empiris

Analisa Saringan

Sampel sedimen dasar akan dianalisis dengan menggunakan metode uji saringan (grain size analysis) untuk menentukan sebaran ukuran partikel sedimen dalam sampel tersebut. Tujuan dari metode ini adalah untuk mengukur diameter partikel berdasarkan jumlah sedimen yang tertahan pada masing-masing ukuran saringan. Parameter yang digunakan dalam analisis distribusi ukuran butir antara lain: berat sedimen yang tertahan pada setiap saringan (Wn), persentase sedimen yang tertahan pada saringan ke-n (Rn), akumulasi persentase yang tertahan (ΣRn), dan persentase kumulatif sedimen yang lolos pada saringan ke-n. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut (SNI 3423, 2008):

$$Wn = (Saringan + Sedimen) - (Saringan Kosong) \dots\dots\dots (2)$$

$$Rn = \frac{Wn}{Berat\ total\ Sedimen} \times 100 \%$$

$$\Sigma Rn = \Sigma Rn$$

$$\%Lolos = 100 - \Sigma Rn$$

Keterangan:

- Wn = Berat tertahan pada saringan ke-n, (gram)
- Rn = Persen tertahan pada saringan ke-n, (%)
- ΣRn = Persen kumulatif tertahan pada saringan ke-n (%)

Berat Jenis Sedimen

Berat jenis (Specific Gravity) sedimen adalah rasio antara berat partikel sedimen (Ws) dengan berat volume air (Ww). Nilai ini dinyatakan melalui persamaan yang ditunjukkan pada rumus 2.5 berikut

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

- G_s = Berat Jenis (gr/cm³)
- W_s = Berat Volume Partikel (gr/cm³)
- W_w = Berat Volume Air (gr/cm³)

Untuk menentukan berat butir partikel sedimen (W_s) dengan berat volume air (W_w) menggunakan rumus sebagai berikut (SNI 1964, 2008)

$$\begin{aligned} W_s &= W_2 - W_1 \\ W_w &= (W_s + W_4) - W_3 \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

Dimana:

- W_1 = Berat Picnometer (gram)
- W_2 = Berat Picnometer dengan sedimen (gram)
- W_3 = Berat Picnometer dengan air dan sedimen (gram)
- W_4 = Berat Picnometer dengan air (gram)

Pemodelan Angkutan Sedimen menggunakan Hec-Ras

Dalam mengaplikasikan perangkat lunak Hec-Ras dalam menganalisis angkutan sedimen dasar (bed load) pada saluran irigasi, terdapat beberapa tahapan utama yang harus dilakukan secara sistematis. Tahapan pertama pertama adalah membuat penampang melintang (*cross section*) sebagai representasi geometry saluran. Selanjutnya, dilakukan proses pengimputan data aliran dalam bentuk *Quasi-Unsteady Flow*, yang berfungsi untuk mendefinisikan perubahan debit terhadap waktu secara bertahap. Setelah itu dilakukan pengimputan data sedimen yang mencakup karakteristik material dasar saluran, distribusi ukuran butir, serta parameter lain yang relevan dengan proses transportasi sedimen.

Alat Dan Bahan

1. Current Meter
2. Untuk pengujian analisa saringan (*Grain Size Analysis*) di laboratorium menggunakan alat sebagai berikut:
 - Satu set saringan (no 4, 10, 16, 30, 40, 60, 100, 200, PAN) dan Mesin pengayak (*shieve shaker*)
 - Timbangan dengan ketelitian sekurang – kurangnya 0,01 gram
 - Sikat/kuas
 - Oven laboratorium
3. Untuk pengujian untuk uji berat jenis (*Specific Gravity*) menggunakan alat sebagai berikut:
 - Piknometer 100 cc
 - Corong
 - Timbangan dengan ketelitian sekurang – kurangnya 0,01 gram
 - Air suling dan botol aquades
 - Termometer

- Oven laboratorium
- Ayakan no.10

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel sedimen dasar diambil dari tiga titik pengamatan, yaitu TS 6, TS 7, dan TS 8. Selanjutnya, dilakukan pengujian di laboratorium melalui grain size analysis dan specific gravity untuk mengetahui karakteristik sedimen. Berat masing-masing sampel adalah 395 g untuk TS 6, 192 g untuk TS 7, dan 140 g untuk TS 8. Nilai persen lolos hasil pengujian digunakan sebagai data bed gradation dalam simulasi HEC-RAS untuk memodelkan distribusi ukuran butir sedimen pada saluran. Nilai persen lolos pada setiap sampel dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Persen Lolos Setiap Sampel

% lolos (%)		
TS 6	TS 7	TS 8
99.5	100.0	100.0
98.7	100.0	100.0
94.2	96.9	92.1
53.7	92.2	77.1
44.6	88.0	67.9
11.6	65.6	37.9
2.5	30.2	14.3

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Pengukuran kecepatan aliran dilakukan menggunakan alat current meter pada ketiga lokasi pengambilan sampel, dengan suhu air rata-rata 25°C. Data hasil pengukuran menunjukkan variasi kecepatan rata-rata dan maksimum yang berbeda di setiap titik, yang selanjutnya digunakan untuk analisis hidraulik.

Kecepatan aliran diukur menggunakan alat current meter dengan data hasil pengukuran disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Kecepatan Aliran

Lokasi	h (m)V1	h (m)V2	h (m)V3	Suhu Air (°C)	Kecepatan (fps)					
					V1		V2		V3	
					m/s	max	m/s	max	m/s	max
TS 6	2.00	2.50	2.00	25°	0.2	0.2	0.4	0.3	0.2	0.2
TS 7	2.00	4.00	2.00	25°	0.3	0.4	0.3	0.2	0.3	0.4
TS 8	2.00	3.00	2.00	25°	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Sumber: Data Lapangan, 2025

Data debit harian tahun 2024 yang diperoleh dari UPB Sekka-Sekka menunjukkan pola aliran air dari bulan Januari hingga September, dengan debit minimum sebesar 7,34 m³/s, debit maksimum sebesar 490,49 m³/s, dan debit rata-rata sebesar 81,80 m³/s. Variasi debit ini mencerminkan fluktuasi hidrologi tahunan yang berpotensi memengaruhi proses transportasi dan sedimentasi di sungai.

Uji berat jenis (specific gravity) dilakukan terhadap sedimen yang lolos saringan nomor

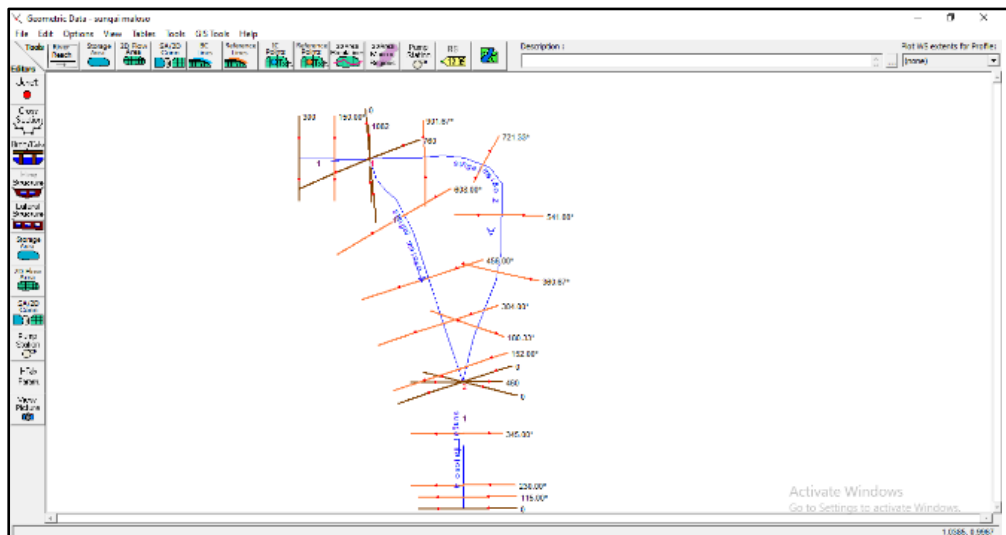
10. Setelah data pengujian diperoleh, dilakukan perhitungan massa volume air dan berat jenis untuk setiap sampel. Hasil perhitungan disajikan dalam bentuk tabel guna mempermudah proses analisis dan interpretasi data. Tabel hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. Hasil Perhitungan Berat Jenis

Sampel No.	TS 6	TS7	TS8
Berat Tanah Kering (Ws)	10	11	11
Massa Volume Air (Ww)	5	6	5
Berat Jenis (Gs)	2	1.8	2.2

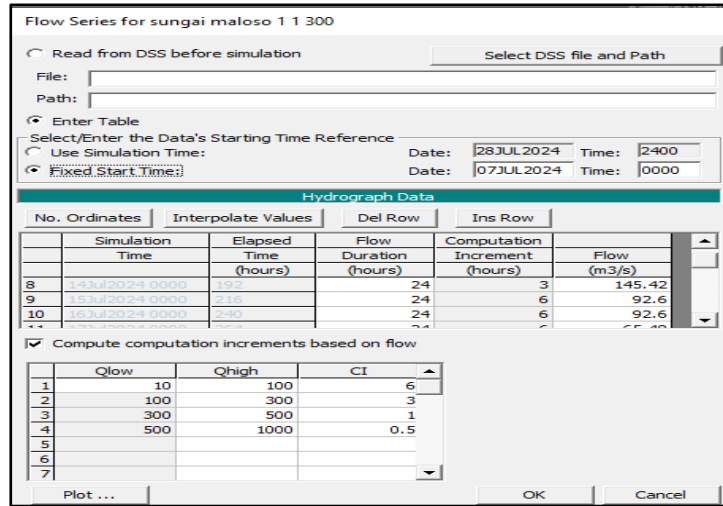
Sumber: Hasil Analisis, 2025

Analisis penampang memanjang sungai dilakukan pada segmen sepanjang 1600 meter, dengan jarak antar station (LOB dan ROB) sebesar 120 meter. Nilai koefisien Manning’s yang digunakan adalah 0,035, sesuai dengan kondisi lapangan. Data tersebut diinput ke perangkat lunak HEC-RAS, Long section sungai di hulu bendung, ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Long Section Sungai Di Hulu Bendung Sekka-Sekka

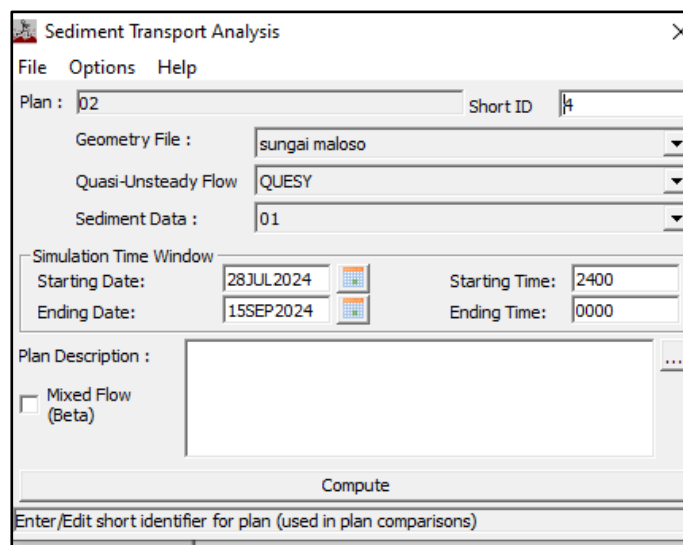
Penginputan data quasi-unsteady flow dilakukan dengan menetapkan batas hulu (upstream boundary condition) berupa flow series, yaitu data pencatatan debit selama 100 hari, sedangkan batas hilir (downstream boundary condition) menggunakan rating curve yang menghubungkan debit dengan kedalaman saluran. Suhu rata-rata air selama pengukuran adalah 25°C. Setelah semua data di input, selanjutnya save quasy unsteady flow Untuk batas hilir terdapat tiga opsi kondisi batas yang dapat digunakan yaitu rating curve, stage series, dan normal depth. Berdasarkan data dilapangan kondisi batas yang digunakan adalah rating curve yang dimana menghubungkan antara debit dan kedalaman sungai. Penginputan data debit ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Input Data Debit

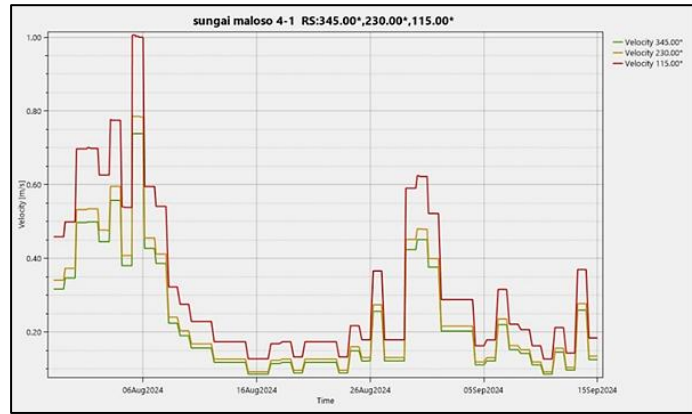
Untuk batas hilir terdapat tiga opsi kondisi batas yang dapat digunakan yaitu *rating curve*, *stage series*, dan *normal depth*. Berdasarkan data dilapangan kondisi batas yang digunakan adalah *rating curve* yang dimana menghubungkan antara debit dan kedalaman saluran.

Berdasarkan Standar Perencanaan Irigasi KP-3 (KEMENPUPR, 2016) tentang Irigasi maka metode transportasi sediment yang digunakan yaitu Engelund-Hansen dengan kecepatan jatuh prtikel (fall velocity) menggunakan metode Ruby. Adapun data bed gradation yaitu dengan memasukkan nilai persen lolos pada setiap sampel. Untuk kondisi batas sedimen (sediment boundary condition) digunakan kondisi batas equilibrium load dikarenakan saluran irigasi umumnya dirancang untuk meminimalkan erosi dan sedimentasi berlebih. Serta kondisi operasional saluran yang relatif stabil, maka asumsi keseimbangan sedimen masuk dan keluar dapat diterapkan. Setelah semua data dimasukkan, maka langkah selanjutnya yaitu running sediment analysis. Dapat dilihat pada gambar 5.



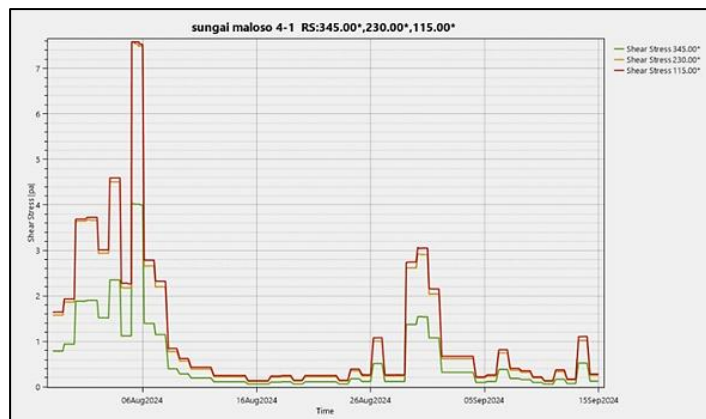
Gambar 5. Running Sediment Analysis

Hasil pemodelan angkutan sedimen dasar dalam memprediksi dinamika pergerakan sedimen di dasar sungai, termasuk laju erosi, deposisi, dan transportasi sedimen di sepanjang ruas sungai yang ditinjau, simulasi kecepatan aliran ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Hasil Simulasi Kecepatan Aliran (*Velocity*)

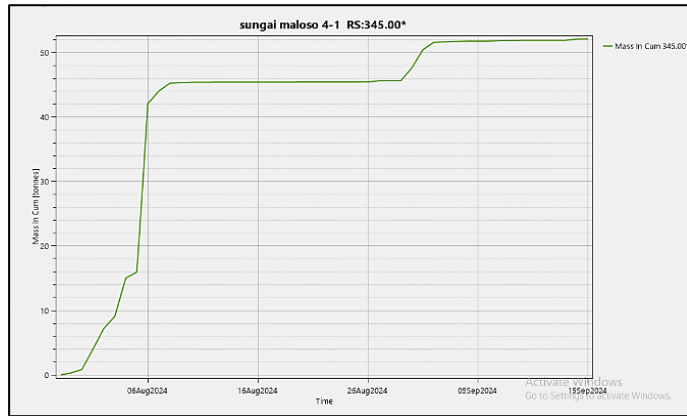
Dari gambar 6. Hasil simulasi kecepatan aliran di RS 115.00, RS 230.00, dan RS 345.00 menunjukkan puncak pada 5–6 Agustus 2024, dengan RS 115.00 mencapai 1,00 m/s, lebih tinggi dari RS 230.00 (0,8 m/s) dan RS 345.00 (0,7 m/s). Lonjakan ini berkorelasi dengan peningkatan akumulasi sedimen di RS 115.00. Setelah itu, kecepatan menurun di bawah 0,2 m/s dan stabil, menunjukkan potensi sedimentasi terutama di bagian tengah dan hilir. Hingga pertengahan September, RS 115.00 tetap mencatat kecepatan tertinggi saat terjadi fluktuasi, menandakan wilayah hulu lebih aktif secara hidrologi dan perlu menjadi fokus pengelolaan DAS. Hasil simulasi tegangan geser (*shear stress*) dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Hasil Simulasi Tegangan Geser (*Shear Stress*)

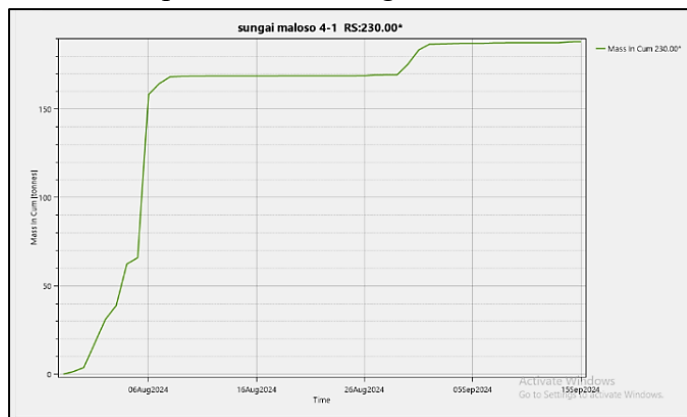
Hasil simulasi tegangan geser (*shear stress*) gambar 7. pada tiga titik pemantauan Sungai Maloso (RS 115.00, RS 230.00, dan RS 345.00) menunjukkan puncak tertinggi pada 5–6 Agustus 2024, dengan RS 115.00 melebihi 7 Pa, RS 230.00 sekitar 5 Pa, dan RS 345.00 sekitar 3 Pa. Lonjakan ini berkorelasi dengan peningkatan kecepatan aliran dan akumulasi sedimen di RS 115.00, menandakan aktivitas hidrodinamika tertinggi di wilayah hulu (Rohani et al., 2025). Setelah puncak, nilai tegangan geser menurun di bawah 1 Pa dan stabil, memungkinkan terjadinya sedimentasi, terutama di bagian tengah dan hilir. Sepanjang akhir Agustus hingga September, RS 115.00 tetap mencatat nilai tertinggi saat terjadi fluktuasi, sehingga wilayah hulu menjadi prioritas utama dalam pengendalian erosi dan pengelolaan DAS.

Hasil simulasi angkutan sedimen dasar, menggunakan software hec-ras di hulu bendung Sekka-Sekka, sungai Maloso dapat di lihat pada gambar 8, 9 dan 10 berikut.



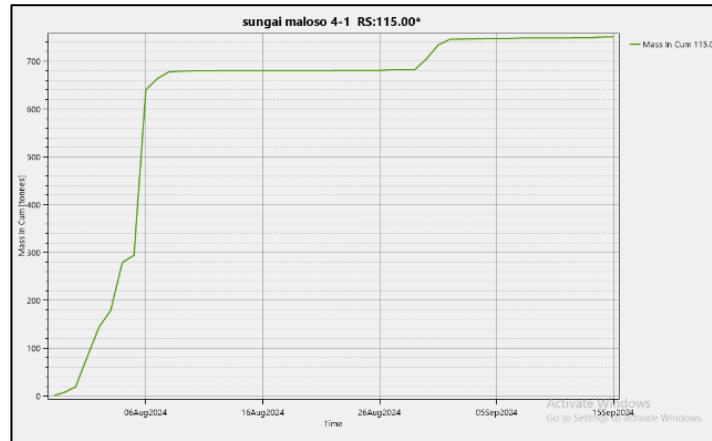
Gambar 8. Hasil Output Sedimentasi Sta 345 Hulu 1 Bendung

Hasil simulasi angkutan sedimen dasar di RS 345, gambar 8. menunjukkan dua periode utama peningkatan massa sedimen selama awal Agustus hingga pertengahan September 2024. Peningkatan pertama terjadi pada awal Agustus, mencapai sekitar 45 ton, dipicu oleh curah hujan tinggi yang menyebabkan banjir dan membawa sedimen dalam jumlah besar. Setelah itu, grafik mendatar menandakan tidak ada penambahan sedimen, hingga akhir Agustus terjadi peningkatan kembali sekitar 6–7 ton akibat hujan dan aliran deras. Total massa sedimen yang masuk ke lokasi ini mencapai 52 ton, dan di luar dua periode tersebut kondisi sungai relatif stabil tanpa sedimentasi signifikan.



Gambar 9. Hasil Output Sedimentasi Sta 230 Hulu 2 Bendung

Hasil simulasi angkutan sedimen dasar di RS 230 gambar 9. memperlihatkan dua fase utama peningkatan sedimen selama periode awal Agustus hingga pertengahan September 2024. Fase pertama terjadi pada awal Agustus, dengan lonjakan cepat hingga sekitar 180 ton, dipicu oleh curah hujan tinggi yang memicu banjir dan membawa material sedimen dalam jumlah besar. Setelah pertengahan Agustus, grafik menunjukkan kondisi stabil tanpa penambahan sedimen, hingga awal September terjadi peningkatan kembali mencapai total 190 ton. Setelah itu, grafik kembali datar hingga pertengahan September, menandakan tidak ada lagi aktivitas sedimentasi signifikan. Pola ini menunjukkan bahwa proses sedimentasi di RS 230 hanya aktif pada awal Agustus dan awal September, sedangkan pada periode lainnya aliran sungai relatif stabil.



Gambar 10. Hasil Output Sedimentasi Sta 115 Hulu 3 Bendung

Hasil simulasi angkutan sedimen dasar di RS 115 gambar 10. menunjukkan lonjakan akumulasi sedimen terbesar dibandingkan titik lainnya. Lonjakan drastis terjadi pada 5–6 Agustus 2024, ketika jumlah sedimen meningkat dari sekitar 100 ton menjadi lebih dari 650 ton hanya dalam waktu kurang dari dua hari, kemudian mencapai puncak sekitar 700 ton. Sebelum periode ini, volume sedimen yang masuk masih relatif kecil. Setelah puncak tersebut, grafik menunjukkan kondisi stabil tanpa penambahan sedimen signifikan hingga pertengahan September 2024, yang mengindikasikan tidak adanya aktivitas sedimentasi besar setelah kejadian awal Agustus.

KESIMPULAN

Pemodelan angkutan sedimen dasar menggunakan perangkat lunak HEC-RAS di Hulu Bendung Sekka-Sekka berhasil menggambarkan dinamika kecepatan aliran, tegangan geser, serta distribusi dan akumulasi sedimen secara detail. Hasil simulasi menunjukkan bahwa titik RS 115.00 memiliki kontribusi terbesar terhadap sedimentasi, dengan lonjakan kecepatan aliran hingga 1,00 m/s dan tegangan geser lebih dari 7 Pa pada awal Agustus 2024, yang memicu akumulasi sedimen mencapai sekitar 700 ton. Titik RS 230.00 dan RS 345.00 juga mengalami sedimentasi, namun dengan volume lebih rendah dan terjadi dalam dua fase utama.

Wilayah hulu berperan dominan dalam suplai sedimen ke bendung sehingga perlu menjadi fokus pengelolaan DAS. Pengendalian dapat dilakukan melalui pengerukan berkala, pembangunan bangunan pengendali sedimen, dan rehabilitasi vegetasi untuk mengurangi erosi serta menjaga fungsi bendung dan efisiensi irigasi secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Haikal, A., Musa, R., & Sar, M. (2023). *Model Sedimentasi Dengan Menggunakan Aplikasi Hec-Ras ” (Studi Kasus : Sungai Pappa Kab . Takalar)*. 3, 8004–8013.
- Hartono, R. E., Musa, R., & Ashad, H. (2022). *Kajian Efektivitas Galian Normalisasi terhadap Angkutan Sedimen Pasca Banjir Sungai Masamba Kabupaten Luwu Utara*. *Jurnal Konstruksi*, 01(08), 43–54.

- KemenPUPR. (2016). KP 03 *Kriteria Perencanaan Bagian Saluran*. Kementerian Pekerjaan Umum, 1–23.
- Laju, P., & Pada, S. (2017). *Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2017*.
- Rohani, I., Paroka, D., Thaha, M. A., & Hatta, M. P. (2023). *The Regulate Section Channel Model for Maintenance Channel in Estuary*. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 71(10), 305–313. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V71I10P227>
- Rohani, I., Ridhayani, I., & Suniarta, D. (2025). *Tegangan Geser Kritis di Hulu Bendung, Studi Kasus Pada Bendung Sekka-Sekka, Kabupaten Polewali Mandar*. *Jurnal Talenta Sipil*, 8(1), 430–439. <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v8i2.973>
- Rusdi, A., Pristianto, H., Butudoka, M. A., Desembardi, F., Lingkungan, T., Sorong, U. M., & No, J. P. (2023). *Laju Sedimen Dasar Pada Sungai Klagison Menggunakan Program HEC-RAS bentuk surface rain off. Selain itu sungai hasil erosi baik yang berasal dari sungai itu sendiri maupun yang berasal dari off mengalir menuju Sungai [5]. Sedimentasi merupakan proses k. 15*.
- SNI 1964. (2008). *Cara Uji Berat Jenis Tanah*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 3423. (2008). SNI 3423:2008 *Cara Uji Analisis Ukuran Butir Tanah*. Badan Standarisasi Nasional, 1–27.
- Taufiq, M., Zainuddin, M., Joko, I., & Waluyo, N. (2023). *Pemodelan Sedimentasi Menggunakan Hec-Ras 6 . 1 Untuk Menganalisis Perubahan Elevasi Dasar Sungai Tondano , Sulawesi Utara Sedimentation Modeling Using Hec-Ras 6 . 1 To Analyze Changes In The River Bed Elevations Of Tondano River , North Sulawesi. 41–54*.



Jurnal Deformasi is licensed under
a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License