



Penggunaan Software HEC-RAS Pada Pemodelan Angkutan Sedimen Dasar di Saluran Primer D.I. Maloso

Abdi Manaf^{1*}, Imam Rohani², Amalia Nurdin³, Savni Alkayatni⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat

*Email : abdimanaf@unsulbar.ac.id

Abstract: Despite being equipped with mud pockets, the Sekka-sekka Dam still requires routine maintenance due to sediment accumulation in the Primary Canal. Sediment modelling has become an effective approach to identify areas with high sedimentation to make maintenance more focused and efficient. This research aims to determine the sedimentation patterns that occur, model the transport of bed sediment, and analyse the magnitude of bed sediment transport in the D.I Maloso primary canal using Hec-Ras software. The analysis was conducted using a Quasy-Unsteady Flow approach, with input comprising cross-sectional data of the canal, a flow discharge of 33.81 m³/s, and the characteristics of the bed sediment. The simulation results indicate the presence of sediment transport along the canal, with a dominance of fine sand and medium sand fractions. The total sediment transport over one month in the upstream reached 14,551 kg/month with a sediment thickness of 0.00227 m, in the midstream 35,351 kg/month (0.00551 m), and downstream 23,791 kg/month (0.00371 m). The shear stress values were 0.0080 Pa, 0.0078 Pa, and 0.0076 Pa respectively, with a fall velocity of 0.26 m/s upstream, and 0.2 m/s in the midstream and downstream. The average sediment concentration over three months was 0.3 mg/l, with the highest concentration recorded downstream at 4.8 mg/l. This modelling demonstrates the distribution of transported sediment in the canal, with the highest accumulation downstream due to the decrease in flow velocity and shear stress.

Keywords: Irrigation; Sekka-Sekka Dam; Bottom Sediment Transport; HEC-RAS; Quasy Unsteady Flow.

1. PENDAHULUAN

Pengelolaan sistem irigasi yang efisien dan berkelanjutan merupakan salah satu faktor dalam mendukung sektor pertanian, yang dimana berperan penting dalam perekonomian dan ketahanan pangan suatu daerah. Irigasi bertujuan untuk meningkatkan produktivitas pertanian dan memproduksi hasil pertanian sebagai bagian dari ketahanan pangan nasional dan kesejahteraan masyarakat, terutama bagi para petani, yang dicapai melalui keberlanjutan sistem irigasi (Amin dkk., 2023).

Di Indonesia, sistem irigasi memiliki peranan penting dalam mendukung produksi pertanian, terutama di daerah dengan intensitas pertanian yang tinggi. Bangunan bendung merupakan bangunan utama sistem irigasi yang dapat di defenisikan sebagai kompleks bangunan yang direncanakan sepanjang sungai atau aliran air untuk membelokkan air melalui *intake* kanan atau *intake* kiri saluran kedalam jaringan saluran agar dapat dipakai sebagai keperluan irigasi.

Bendung sekka-sekka merupakan bendung yang membendungi Sungai Maloso, terletak di Polewali Mandar, Kelurahan Batupanga, Kecamatan Luyo. Sungai Maloso merupakan sungai terbesar di Kabupaten Polewali Mandar, Prov. Sulawesi Barat. Pada Daerah Irigasi Maloso (D.I Maloso) memiliki luas 12.585 ha dengan luas baku sawah seluas 8.789 ha dan tambak seluas 3.796 ha. Air dari sungai Maloso dibendung kemudian air tersebut dialirkan ke arah kanan dan kiri tepi sungai melalui pintu pengambilan (intake) menuju saluran primer (induk), selanjutnya air mengalir menuju saluran sekunder kemudian mengalir ke saluran tersier hingga masuk ke petak-petak sawah. D.I Maloso terbagi atas 3 wilayah UPTD yaitu wilayah UPTD Bendung Sekka-Sekka, wilayah UPTD Irigasi Maloso Kiri, dan wilayah UPTD Maloso Kanan. Dan setiap wilayah UPTD terbagi atas beberapa wilayah pengairan.

Sedimen adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan partikel padat yang mengendap di permukaan bumi atau di lingkungan perairan. Partikel ini dapat bervariasi dalam ukuran dari butiran pasir halus hingga batu besar dan terdiri dari berbagai bahan termasuk mineral, puing organik, dan bahan anorganik (Muzaeni et al., 2021). Transport sedimen diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu transport sedimen dasar (*Bed Load*), gerakan partikel material dasar yang dekat dengan dasar, dan transport sedimen suspensi (*Suspended Load*), gerakan partikel material dasar yang melayang dalam aliran (Istiarto, 2019).

Transport sedimen di dasar sungai dipengaruhi oleh kecepatan aliran, panjang sungai, kemiringan dasar sungai, penampang sungai, dan distribusi ukuran material dasar (Gomez dkk., 2022). Sedimentasi terjadi ketika sedimen diangkut dalam saluran irigasi (Novelyne dkk., 2024). Kondisi ini menunjukkan ketidakseimbangan dalam transportasi sedimen di sepanjang dasar saluran irigasi. Ketidakseimbangan transportasi sedimen jangka panjang degradasi dasar saluran di bagian hulu sementara akumulasi di bagian hilir (Yupi dkk., 2018), sehingga diperlukan analisis transportasi sedimen di dasar. Analisis sedimentasi sangat penting saat mengembangkan tindakan adaptasi dan mitigasi banjir (Zainuddin dkk., 2023).

Meskipun telah ada kantong lumpur, saluran primer tetap memerlukan pemeliharaan secara rutin. Pemodelan sedimen dapat membantu dalam mengidentifikasi area dengan sedimentasi tinggi sehingga pemeliharaan bisa lebih fokus dan efisien. Diperlukan pendekatan yang sistematis mengenai dinamika sedimen di saluran primer D.I. Maloso. Dalam hal ini, pendekatan numerik yang telah berkembang menjadi alternatif dalam mensimulasikan angkutan sedimen. Pendekatan numerik dinilai efisien dan mampu untuk menggambarkan mekanisme angkutan sedimen yang terjadi. Maka pada penelitian ini akan dilakukan simulasi angkutan sedimen menggunakan *software* HEC-RAS.

Pada penelitian ini akan berfokus pada pemodelan sedimen dasar (*bed load*) yang dimana menggunakan program aplikasi *Hydrologic Engineering Centers River Analysis System* (HEC-RAS). HEC-RAS adalah program untuk mensimulasikan aliran sungai dan menghitung luas penampang aliran subkritis dan superkritis (Khafifah dkk., 2023). HEC-

RAS merupakan model aliran satu dimensi yang berfungsi dalam kedua aliran permanen maupun tak permanen (*steady and unsteady one-dimensional flow model*) (Valencia, 2017). Pemodelan sedimen dasar (*bed load*) di saluran primer D.I Maloso, akan menggunakan aplikasi HEC-RAS 5.4.1 yang dimana merupakan versi yang telah di update dari aplikasi HEC-RAS sebelumnya. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk memahami dinamika pemodelan sedimen dasar di saluran primer daerah irigasi Maloso, guna mendukung pengelolaan saluran yang lebih stabil dan efisien.

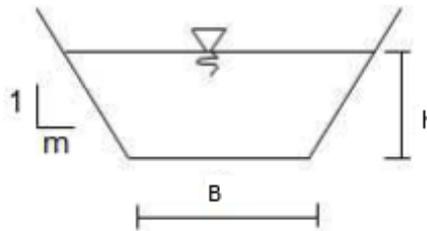
2. METODOLOGI PENELITIAN.

Metodologi penelitian mencakup pengumpulan data lapangan, analisis karakteristik sedimen, serta simulasi menggunakan aplikasi Hec-Ras dengan pendekatan *quasy unsteady flow* untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai pergerakan dan akumulasi sedimen dalam saluran.

2.1. Teknik Analisis Data

a. Penampang Saluran irigasi

Bentuk penampang saluran di permukaan tanah umumnya terdiri dari beberapa tipe, seperti trapesium, persegi panjang, segitiga, dan setengah lingkaran. Saluran irigasi di Daerah Irigasi (D.I) Maloso memiliki penampang berbentuk trapesium. Untuk memberikan gambaran awal, digunakan penampang trapesium standar dengan lebar dasar (b), kemiringan lereng saluran (m), dan kedalaman air (h), sebagai mana ditampilkan pada Gambar 1. Penampang Trapesium (Haris et al., 2016).



Gambar 1. Penampang Trapesium

b. Analisa Saringan

Sampel sedimen dasar akan dianalisis menggunakan metode uji analisa saringan (*grain size analysis*) untuk mengetahui distribusi ukuran partikel sedimen dalam sampel tersebut. Metode ini bertujuan untuk mengidentifikasi diameter partikel berdasarkan jumlah sedimen yang tertahan pada masing-masing ukuran saringan. Parameter-parameter yang digunakan dalam analisis distribusi ukuran butir meliputi: berat sedimen yang tertahan pada setiap saringan (W_n), persen tertahan pada saringan ke- n (R_n), persen kumulatif tertahan pada saringan ke- n (ΣR_n), serta persen kumulatif lolos pada saringan ke- n . Dengan menggunakan rumus sebagai berikut (SNI 3423, 2008):

$$W_n = (\text{Berat Saringan} + \text{Sedimen}) - (\text{Berat Saringan Kosong})$$

$$R_n = \frac{W_n}{\text{Berat total Sedimen}} \times 100 \%$$

$$\Sigma R_n = \Sigma R_n$$

$$\% \text{ Lolos} = 100 - \Sigma R_n$$

c. Berat Jenis Sedimen

Berat jenis (*Spetific Gravity*) sedimen merupakan angka perbandingan antara berat butir partikel sedimen (W_s) dengan berat volume air (W_w). Dinyatakan pada rumus persamaan 2.5 sebagai berikut (Fatriza, 2023) :

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

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

$$W_s = W_2 - W_1$$

$$W_w = (W_s + W_4) - W_3$$

d. Debit Aliran

Secara umum debit merupakan volume air yang mengalir per satuan waktu. Data debit ini sangat penting karena merupakan variabel utama dalam menentukan karakteristik dan fungsi sebuah saluran (Iswahyudi et al., 2018). Adapun penentuan debit untuk saluran menggunakan persamaan pintu Romijn berikut:

$$Q = 1.71 \times B \times h^{3/2}$$

e. 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 geometri 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.

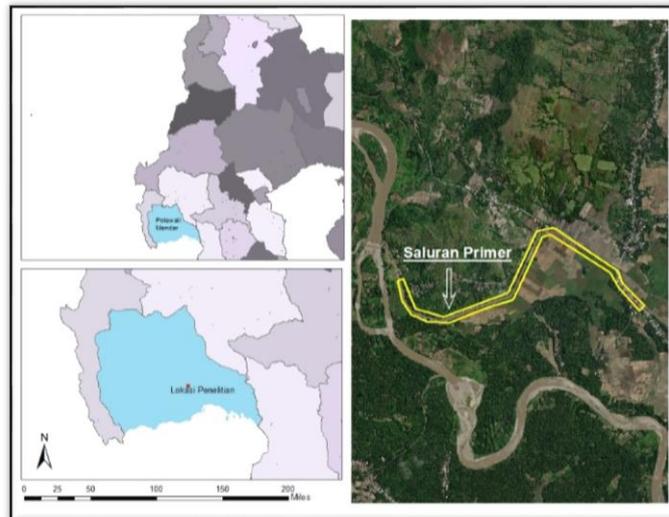
2.2. Alat Dan Bahan

- a. Current Meter
- b. 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
- c. Untuk pengujian untuk uji berat jenis (*Spesific 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

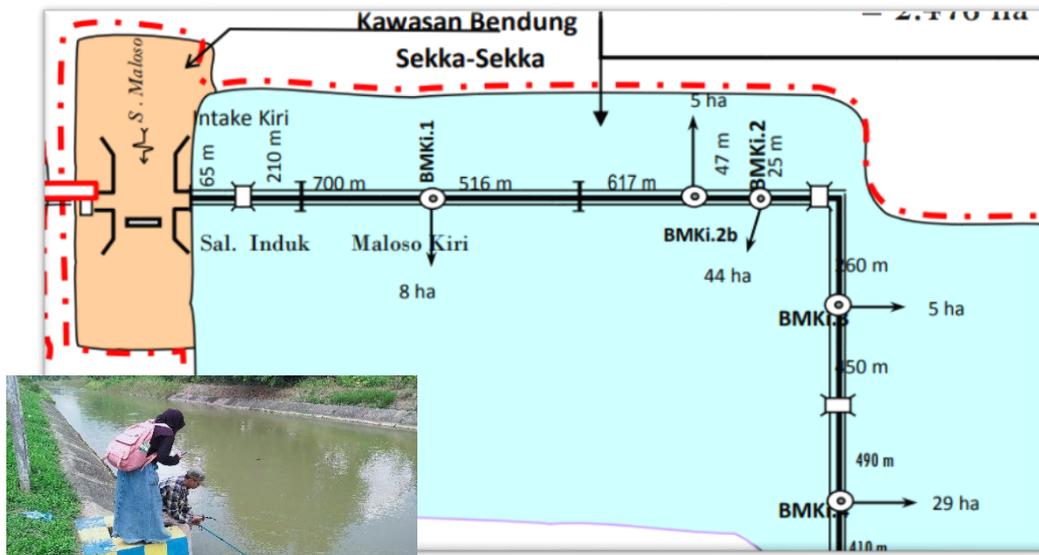
2.3. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang menjadi studi pada penulisan laporan ini adalah di bendung sekka-sekka yang berlokasi di Polewali Mandar, Kelurahan Batupanga, Kecamatan Luyo, dengan titik fokus penelitian yaitu pada saluran primer irigasi bendung, di wilayah juru pengairan Masila, lokasi penelitian ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berdasarkan skema jaringan saluran Irigasi BMKi 2, BMKi 3, dan BMKi 4 dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Skema Jaringan Irigasi

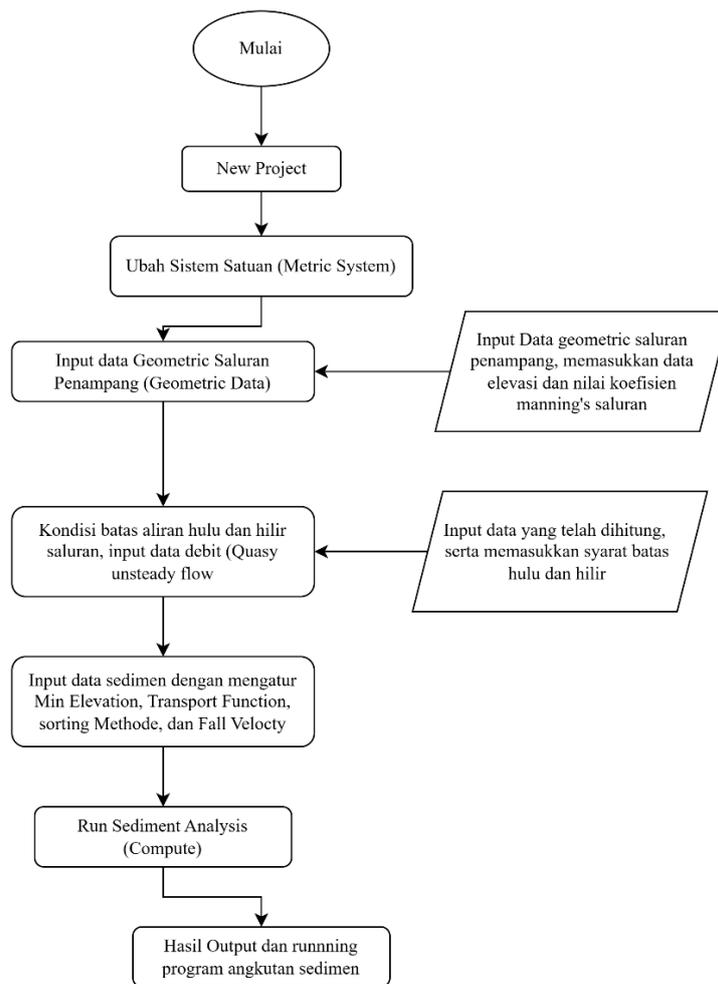
Untuk pengambilan sampel sedimen dilakukan di tiga titik. Penempatan titik-titik sampel ini memungkinkan pemantauan yang lebih menyeluruh terhadap distribusi dan karakteristik sedimen yang terbawa aliran air. Lokasi titik pengambilan sampel sedimen dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Lokasi titik Sampel

2.4. Bagan Alir Transpor Sedimen menggunakan Hec-Ras

Proses pemodelan sedimen menggunakan aplikasi Hec-Ras, gambar 5.



Gambar 5. Bagan Alir Transport Sedimen menggunakan HEC-RAS

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik Penampang

Saluran irigasi primer bendung sekka-sekka memiliki lebar dasar saluran (B) = 7,5 meter untuk saluran BMKi 2 dan BMKi 3, serta B = 6,5 meter pada BMKi 4. Kedalaman air pada BMKi 2 (h) = 1.75 m pada BMKi 3 (h) = 2 m dan pada titik BMKi 4 (h) = 3 m. Dapat dilihat Tabel 1.

Tabel 1. Ukuran Penampang Saluran Irigasi Primer

Penampang	B	h	M
BMKi 2	7.5	1.75	0.6
BMKi 3	7.5	2	0.6
BMKi 4	6.5	3	0.6

3.2. Karakteristik Aliran

a. Debit Aliran

Perhitungan dilakukan untuk mengetahui banyaknya air yang masuk dalam saluran. Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan data hasil pengukuran dilapangan yakni berupa lebar saluran dan kedalaman air pada saluran. Berdasarkan data dilapangan saluran memiliki lebar 18 m dengan kedalam air 1.3 m. Nilai debit dapat dilihat pada perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q &= 1.71 \times B \times h^{3/2} \\
 &= 1.71 \times 18 \times 1.3^{3/2} \\
 &= 33.81 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan maka debit (Q) air yang masuk pada saluran irigasi yaitu 33.81m³/s.

b. Kecepatan Aliran

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

Tabel 2. Hasil Pengukuran Kecepatan Aliran

Lokasi	Kedalaman Air (h) (m)	Suhu Air (T) (°C)	Kecepatan (fps)					
			V1		V2		V3	
			m/s	max	m/s	Max	m/s	max
BMKi 2	1.75	37.2	0.4	0.6	1.0	1.5	0.8	0.9
BMKi 3	2	30.9	0.4	0.4	0.9	0.11	0.3	0.4
BMKi 4	3	34.1	0.3	0.4	0.8	0.9	0.2	0.4

3.3. Karakteristik Sedimen

a. Analisis Saringan

Data berat masing-masing sampel sedimen yaitu pada sampel BMKi2 sebesar 247 gram, sampel BMKi3 sebesar 318 gram dan sampel BMKi4 sebesar 253 gram. Setelah pengujian laboratorium data kemudian dianalisis nilai persen lolosnya di setiap sampel sedimen (*grain size analysis*) (SNI 3423, 2008). Nilai persen lolos akan di input ke data *bed gradation* dalam simulasi Hec-Ras. Nilai persen lolos pada setiap sampel dapat dilihat pada Tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Perhitungan Persen Lolos setiap Sampel

%lolos (%)		
Sampel BMKi 2	Sampel BMKi 3	Sampel BMKi 4
96,36	100,00	100,00
95,14	95,60	96,44
90,28	86,79	86,56

83,81	75,16	73,91
79,76	68,87	68,77
69,64	39,62	45,06
28,74	15,72	21,74

b. Berat Jenis

Sampel sedimen yang digunakan dalam uji berat jenis (*Spetific Gravity*) sedimen adalah sampel yang lolos saringan nomor 10. Setelah data hasil pengujian berat jenis diperoleh, selanjutnya menghitung massa volume air serta menghitung nilai berat jenis pada setiap sampel. Hasil perhitungan kemudian disajikan dalam bentuk tabel untuk mempermudah analisis dan penyajian data. Tabel hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4, berikut :

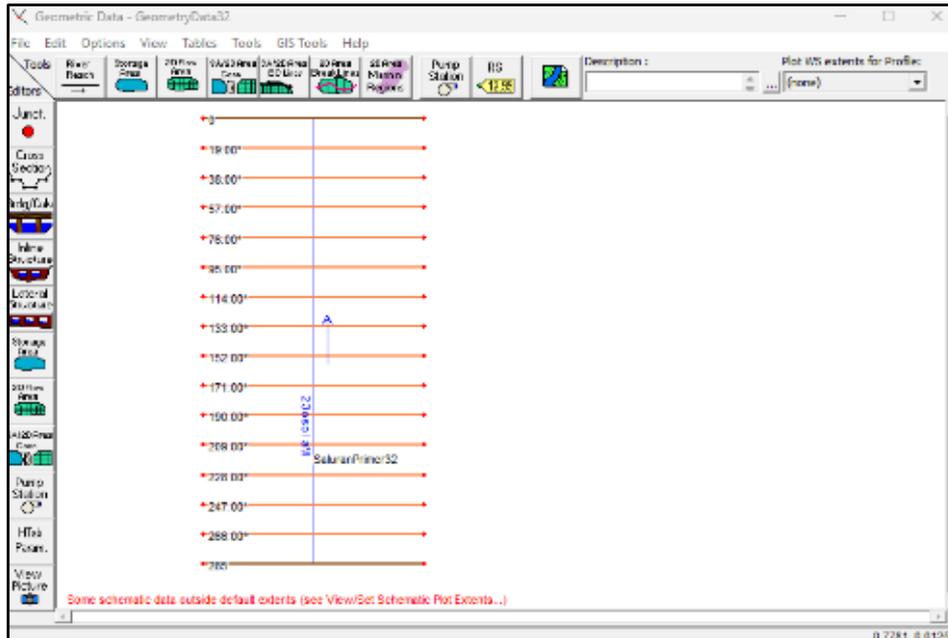
Tabel 4. Hasil Perhitungan Berat Jenis

SAMPEL NO.	BMK_i 2	BMK_i 3	BMK_i 4
Berat Tanah Kering (Ws)	10.5	11.5	11.5
Massa Volume Air (Ww)	4	5.5	5.5
Berat Jenis (Gs)	2.63	2.09	2.09

3.3. Pemodelan Sedimen menggunakan Software HEC-RAS

a. Penampang melintang

Penurunan elevasi saluran irigasi adalah sebesar 2% (PU, 2016). Diketahui elevasi di hulu sebesar 14 cm maka elevasi di hilir sebesar 8.3 cm, untuk menentukan elevasi di setiap station di gunakan rumus interpolasi. Adapun panjang saluran 285 meter dengan jarak antara station (LOB dan ROB) sebesar 20 meter, serta koefisien manning's berdasarkan tabel 2.5 sebesar 0.014, maka setelah data di input hasil *cross section* dapat dilihat pada gambar 7 sebagai berikut.



Gambar 7. Penampang Melintang

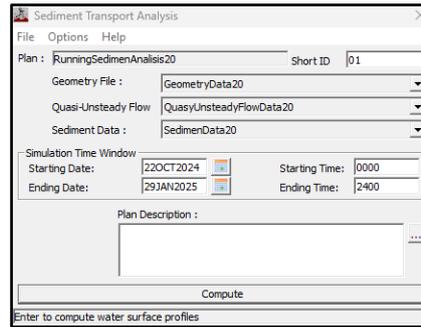
b. Penginputan data *Quasi Unsteady Flow*

Untuk penginputan data *quasi unsteady flow* yaitu memasukkan data batas hulu dan batas hilir, untuk tipe batas hulu berupa *flow series* yaitu dengan memasukkan nilai pencatatan debit selama 100 hari. Berdasarkan data dilapangan kondisi batas yang digunakan adalah *rating curve* yang dimana menghubungkan antara debit dan kedalaman saluran. Adapun suhu (temperatur) rata-rata pada saluran primer (BMKi 2- BMKi 4) adalah 34.07 °C. Setelah semua data di input, selanjutnya *save quasi unsteady flow*.

c. Penginputan Sedimen data

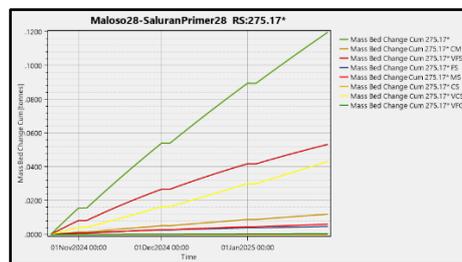
Maksimum kedalaman sedimentasi (*max depth*) pada saluran berdasarkan cross section plot yaitu 0.028, berdasarkan Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan bagian tiga (KP-03) tentang Irigasi maka metode transportasi sediment yang digunakan yaitu Engelund-Hansen (1967) dengan kecepatan jatuh partikel (*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 sebagai berikut.



Gambar 8. Running sediment Analysis

3.4. Hasil Output Pemodelan Sedimen menggunakan Hec-Ras



Gambar 9. Hasil Output sedimen di hulu saluran

Berdasarkan hasil analisis grafik perubahan massa dasar kumulatif (*mass bed change cum*) yang diperoleh dari simulasi menggunakan Hec-Ras, dapat dilihat bahwa terjadi proses pengangkutan sedimen dalam sistem saluran irigasi yang dianalisis. Hal ini ditunjukkan oleh adanya peningkatan nilai kumulatif massa sedimen dari waktu ke waktu, yang mengindikasikan adanya perpindahan material sedimen di sepanjang saluran. Dari hasil pengamatan terhadap grafik, diketahui bahwa fraksi sedimen yang mengalami perubahan massa yang paling signifikan adalah pasir halus (FS) dan pasir sedang (MS). Untuk di hulu saluran analisis sedimen selama periode satu bulan, total angkutan sedimen sebanyak 14.551/bulan atau 14551 kg/bulan dengan ketebalan sedimen 0.00227 m. Di tengah saluran, total angkutan sedimen sebanyak 35.351 ton/bulan atau 35351 kg/bulan, dengan ketebalan sedimen sebesar 0,00551 m. Adapun di hilir saluran angkutan sedimen sebesar 35.791 ton/bulan atau 23791 kg/bulan, dengan ketebalan sedimen sebesar 0,00371 m.

Berdasarkan hasil analisis grafik dan simulasi Hec-Ras, dapat disimpulkan bahwa nilai konsentrasi sedimen rata-rata selama 3 bulan adalah sebesar 0.3 mg/l. Adapun nilai tegangan geser hasil *out put* Hec-Ras, pada hulu saluran nilai tegangan geser sebesar 0.0080 Pa, pada tengah saluran sebesar 0.0078 Pa dan pada hilir saluran 0.0076 Pa. Dengan nilai kecepatan jatuh (*fall velocity*) pada hulu saluran sebesar 0.26 m/s, pada tengah saluran sebesar 0.2 m/s dan pada hilir saluran sebesar 0.2 m/s.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis angkutan sedimen dasar pada Saluran Primer D.I Maloso menggunakan software Hec-Ras, sedimentasi yang terjadi yaitu konsentrasi sedimen di

sepanjang saluran bervariasi, dengan nilai tertinggi tercatat di hilir sebesar 4.8 mg/l, sedangkan ditengah sebesar 0.84 mg/l, dan di hulu tercatat sebesar 0.57 mg/l. Hal ini menunjukkan bahwa sedimen cenderung terakumulasi di hilir akibat penurunan kecepatan aliran dan tegangan geser. Hasil simulasi Pemodelan angkutan sedimen dasar menggunakan metode Quasy Unsteady Flow dalam Hec-Ras menunjukkan adanya perubahan massa dasar sedimen di sepanjang saluran, dimana fraksi pasir halus (FS) dan pasir sedang (MS) merupakan fraksi yang paling dominan mengalami perubahan. Pemodelan ini memungkinkan analisis distribusi sedimen secara spasial dan temporal, sehingga dapat digunakan untuk memahami dinamika sedimentasi di saluran irigasi. Sedangkan besar angkutan sedimen dasar menunjukkan bahwa selama periode satu bulan, pada hulu saluran mencapai total 14551 kg/bulan dengan ketebalan sedimen sebesar 0.00227 m. Pada bagian tengah saluran, total angkutan sedimen sebesar 35351 kg/bulan dengan ketebalan sedimen 0.00551 m, sedangkan di hilir, total angkutan sedimen mencapai 23791 kg/bulan dengan ketebalan sedimen 0.00371 m. Nilai ini menunjukkan adanya variasi transportasi sedimen di sepanjang saluran dengan kecenderungan peningkatan akumulasi sedimen di bagian hilir.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan Terima Kasih kepada BWS Sulawesi V Mamuju yang telah memberi izin penelitian dan membantu pengambilan data di lapangan, dan kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam proses penelitian ini.

REFERENSI

- Amin, A. A., & Sulfanita, A. (2023). Studi Sistem Pengelolaan Jaringan Irigasi Daerah Irigasi Kalola Kelurahan Anabanua Kecamatan Maniangpajo Kabupaten Wajo. *Jurnal Karajata Engineering*, 3(1), 11-16.
- Fatriza, R. (2023). *Analisis Angkutan Sedimen Total Pada Saluran Pembawa Embung Rawasari Di Kota Tarakan Menggunakan HEC-RAS 6.0*. 4(1), 88-100.
- Gomez, B., & Soar, P. J. (2022). Bedload transport: beyond intractability. *Royal Society Open Science*, 9(3), 211932.
- Haris, T. V., Saleh, A., & Muthia, A. (2016). Perencanaan Dimensi Ekonomis Saluran Primer Daerah Irigasi Bung araya. *Jurnal Teknik Sipil Siklus*, 2(1), 47-57.
- Istiarto. (2019). *Pengukuran Transpor Sedimen*. 1-19.
- Iswahyudi, K., Salim, N., & Abadi, T. (2018). Kajian Sedimentasi Di Sungai Sampean Bondowoso Menggunakan Program Hec-Ras Versi 4.1. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Hexagon*, 3(2), 46-52.
- Khafifah, A. N., Mustari, W., & Gaffar, F. (2023). Analisis Hidrolika Sungai Tallo Menggunakan Aplikasi HEC-RAS 6.0. *Jurnal Karajata Engineering*, 3(2), 85-90.

- Muzaeni, A., Khamid, A., Wahidin, Diantoro, W., & Feriska, Y. (2021). Analisis Sedimentasi di Hulu Waduk Malahayu Kecamatan Banjarharjo Kabupaten Brebes Sedimentation Analysis in the Upstream of Malahayu Reservoir Banjarharjo Subdistrict , Brebes Regency. *Infratech Building Journal (IJB)*, 2(2), 40–48.
- Novelyne, F. G., Nurhayati, N., & Gunarto, D. (2024). Penerapan HEC-RAS Untuk Analisis Angkutan Sedimen Dasar Terhadap Debit Angkutan Sedimen Pada Saluran Parit Berkat. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 14(1), 251-264.
- PU. (2016). KP 03 Kriteria Perencanaan Bagian Saluran. *Kementerian Pekerjaan Umum*, 1–23.
- 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.
- Valencia, Z. G. (2017). *studi laju sedimentasi pada sungai bedadung menggunakan program HEC-RAS 5.0.5*.
- Yupi, H. M. (2018). Rekayasa Hidraulik Untuk Pengendalian Erosi Dan Sedimentasi Ruas Sungai Kahayan Berstruktur Membentang Sungai. *Jurnal Teknika: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Keteknikan*, 2(1), 57-67.
- Zainuddin, M. T. M., Irmanto, I., Nugroho, J., & Hatmoko, W. (2023). Pemodelan Sedimentasi Menggunakan Hec-Ras 6.1 Untuk Menganalisis Perubahan Elevasi Dasar Sungai Tondano, Sulawesi Utara. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 14(1), 41-54.