

**SKRIPSI**  
**PEMODELAN ANGKUTAN SEDIMEN DASAR DI SALURAN PRIMER**  
**D.I. MALOSO MENGGUNAKAN SOFTWARE HEC-RAS**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan mencapai derajat Sarjana S1 pada Program  
Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sulawesi Barat



**SAVNI ALKAYATNI**

**D0119368**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS SULAWESI BARAT**  
**MAJENE**  
**2025**

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

PEMODELAN ANGKUTAN SEDIMEN DASAR DI SALURAN PRIMER  
D.I. MALOSO MENGGUNAKAN SOFTWARE HEC-RAS

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil (ST)  
Pada Program Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik  
Universitas Sulawesi Barat.

Oleh:

SAVNI ALKAYATNI

D0119368

Telah diperiksa dan disetujui untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana  
Teknik (ST)

Menyetujui,

Tim Pembimbing,

Pembimbing 1

Dr. Ir. Imam Rohani, S.T., M.T.  
NIP. 198107012024211007

Pembimbing 2

Abdi Manaf, S.T., M.T.  
NIP.19700421 200312 1 009

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ir. Hafsa Nirwana, M.T.  
NIP. 19640405 199003 2 002

Koordinator Program Studi

Amalia Nurdin, S.T., M.T.  
NIP.19871212 201903 2 017

## HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Savni Alkyatni

NIM : D011368

Prodi : Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi yang berjudul :

### **PEMODELAN ANGKUTAN SEDIMEN DASAR DI SALURAN PRIMER D.I. MALOSO MENGGUNAKAN SOFTWARE HEC-RAS**

Adalah hasil karya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya dalam naskah saya di dalam skripsi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah di ajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademi disuatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar Pustaka.

Apabila di kemudian hari ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplatan, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut dan diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No.20 Tahun 2003, pasal 25 Ayat 2 dan pasal 70)

Majene, 5 Mei 2025

Yang membuat Pernyataan



**SAVNI ALKAYATNI**

D0119511

## ABSTRAK

### PEMODELAN ANGKUTAN SEDIMEN DASAR DI SALURAN PRIMER

#### D.I. MALOSO MENGGUNAKAN SOFTWARE HEC-RAS

*Bendung Sekka-sekka meskipun telah dilengkapi dengan kantong lumpur, tetap memerlukan pemeliharaan rutin akibat akumulasi sedimen yang terjadi di Saluran Primer D.I Maloso. Pemodelan sedimen menjadi pendekatan yang efektif untuk mengidentifikasi area dengan sedimentasi tinggi agar pemeliharaan lebih fokus dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola sedimentasi yang terjadi, memodelkan angkutan sedimen dasar, serta menganalisis besar angkutan sedimen dasar pada saluran primer D.I Maloso menggunakan perangkat lunak Hec-Ras. Analisis dilakukan dengan menggunakan pendekatan Quasy-Unsteady Flow, dengan input berupa data penampang melintang saluran, debit aliran sebesar 33.81 m<sup>3</sup>/s, serta karakteristik sedimen dasar. Penelitian berlokasi di saluran primer Bendung Sekka-Sekka, Polewali Mandar, tepatnya di wilayah juru pengairan Masila. Hasil Simulasi menunjukkan adanya proses angkutan sedimen sepanjang saluran dengan dominasi fraksi pasir halus dan pasir sedang. Total angkutan sedimen selama satu bulan di hulu mencapai 14.551 kg/bulan dengan ketebalan sedimen (0.00227 m), ditengah saluran sebesar 35.351 kg/bulan (0.00551 m), dan dihilir sebesar 23.791 kg/bulan (0.00371 m). nilai tegangan geser masing-masing berturut-turut sebesar 0.0080 Pa, 0.0078 Pa, dan 0.0076 Pa, dengan kecepatan jatuh (fall velocity) 0.26 m/s di hulu, dan 0.2 m/s di tengah serta hilir. Konsentrasi sedimen rata-rata selama tiga bulan sebesar 0.3 mg/l, dengan konsentrasi tertinggi tercatat di hilir sebesar 4.8 mg/l. pemodelan ini membuktikan adanya distribusi sedimen terangkut di saluran, dengan akumulasi tertinggi dibagian hilir akibat penurunan kecepatan aliran dan tegangan geser. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam perencanaan strategi pemeliharaan saluran irigasi yang lebih efektif dan efisien.*

*Kata Kunci: Sedimentasi, Saluran Irigasi, HEC-RAS, Angkutan Sedimen Dasar, Quasy-Unsteady Flow, Bendung Sekka-Sekka*

## ABSTRACT

### BEDLOAD SEDIMENT TRANSPORT MODELING IN THE PRIMARY CHANNEL OF D.I. MALOSO USING HEC-RAS SOFTWARE

*Although the Sekka-Sekka Weir is already equipped with a sedimentation basin, it still requires routine maintenance due to sediment accumulation occurring in the Primary Channel of D.I. Maloso. Sediment modeling becomes an effective approach to identify areas with high sedimentation so that maintenance can be more focused and efficient. This study aims to determine the occurring sedimentation pattern, model the bedload sediment transport, and analyze the amount of bedload transport in the primary channel of D.I. Maloso using HEC-RAS software. The analysis was carried out using the Quasi-Unsteady Flow approach, with input data including channel cross-section profiles, a discharge of 33.81 m<sup>3</sup>/s, and bed sediment characteristics. The research is located in the primary channel of Sekka-Sekka Weir, Polewali Mandar, precisely in the Masila irrigation area. Simulation results indicate the occurrence of sediment transport along the channel dominated by fine sand and medium sand fractions. Total sediment transport during one month at the upstream reached 14.551 kg/month with a sediment thickness of 0.00227 m, in the middle channel 35.351 kg/month (0.00551 m), and downstream 23.791 kg/month (0.00371 m). The shear stress values were respectively 0.0080 Pa, 0.0078 Pa, and 0.0076 Pa, with fall velocities of 0.26 m/s at the upstream, and 0.2 m/s in the middle and downstream. The average sediment concentration during three months was 0.3 mg/l, with the highest concentration recorded downstream at 4.8 mg/l. This modeling proves the distribution of transported sediment in the channel, with the highest accumulation occurring in the downstream section due to a decrease in flow velocity and shear stress. The results of this study are expected to serve as a reference in planning more effective and efficient irrigation channel maintenance strategies.*

*Keywords: Sedimentation, Irrigation Channel, HEC-RAS, Bedload Sediment Transport, Quasi-Unsteady Flow, Sekka-Sekka Weirp*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar belakang**

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. 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 didefinisikan sebagai kompleks bangunan yang direncanakan sepanjang sungai atau aliran air untuk membelokkan air melalui intake kanan atau intake kiri saluran ke dalam jaringan saluran agar dapat dipakai sebagai keperluan irigasi. Bangunan utama terdiri dari bendung dengan peredam energi, bangunan pengambil atau intake, pintu bilas, kantong lumpur, tanggul banjir, dan bangunan pelengkap lainnya. Selain itu bendung merupakan alat pengendali dan pemantau seluruh tata pengaturan air dan juga sebagai antisipasi banjir. Bendung digunakan untuk mengatasi besarnya debit air yang berpotensi menciptakan banjir di suatu daerah.

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.

Setiap sungai yang mengalirkan air sudah pasti ada sedimen yang ikut didalamnya diakibatkan proses erosi. Erosi ini terjadi akibat pengikisan tanah yang airnya mengalir di sungai tersebut. Apabila terjadi peningkatan erosi tanah, yang sering kali disebabkan degradasi Daerah Aliran Sungai (DAS) maka sedimen yang terbawa air akan semakin banyak yang dimana akan mengakibatkan penumpukan sedimen. Penumpukan sedimen ini akan menyebabkan pendangkalan di sungai yang kemudian dapat berdampak pada aliran air yang dapat berpotensi menimbulkan masalah seperti banjir yang dapat memperparah kondisi lingkungan di kawasan tersebut.

Sedimen merupakan istilah yang digunakan untuk menggambarkan partikel padat yang mengalami proses pengendapan di permukaan bumi atau di dalam lingkungan perairan yang dimana partikel-partikel ini memiliki variasi ukuran yang sangat luas, mulai dari butiran pasir halus hingga batu besar, dan terdiri dari berbagai bahan, termasuk mineral, kerak organik, dan material anorganik (Muzaeni et al., 2021). Sedimentasi merupakan proses pengendapan partikel-partikel sedimen didalam air yang disebabkan oleh erosi. Transport sedimen terdiri atas dua yakni gerakan butir material dasar di dekat dasar dikenal sebagai transpor sedimen dasar (*bed load*) dan gerakan butir material dasar yang melayang bersama aliran dikenal sebagai transpor sedimen suspensi (*suspended load*) (Istiarto, 2019). 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 Sistem (HEC-RAS). HEC-RAS merupakan program aplikasi untuk

memodelkan aliran di sungai, River Analysis System (RAS), yang dibuat oleh Hydrologic Engineering Center (HEC) yang merupakan satu divisi di dalam Institute for Water Resources (IWR), di bawah US Army Corps of Engineers (USACE). HEC-RAS merupakan model satu dimensi aliran permanen maupun tak permanen (steady and unsteady one-dimensional flow model). 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-aplikasi HEC-RAS sebelumnya.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka diambil judul “Pemodelan Angkutan Sedimen Dasar di Saluran Primer D.I. Maloso Menggunakan Software HEC-RAS ”

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dengan memanfaatkan penggunaan pengaruh software HEC-RAS dalam konteks pemodelan sedimen dasar (*bed load*) di saluran primer bendung seka-sekka, maka rumusan masalah yang dapat di ambil sebagai berikut:

1. Bagaimana sedimentasi yang terjadi di saluran primer D.I. Maloso dengan software HEC-RAS?
2. Bagaimana memodelkan angkutan sedimen dasar di saluran primer D.I. Maloso menggunakan program aplikasi HEC-RAS?
3. Berapa angkutan sedimen dasar menggunakan software HEC-RAS di saluran primer D.I. Maloso?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah yang dirumuskan maka tujuan penelitian sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui bagaimana sedimentasi yang terjadi di saluran primer D.I Maloso dengan software HEC-RAS
2. Untuk memodelkan angkutan sedimen dasar di saluran primer D.I. Maloso menggunakan program aplikasi HEC-RAS
3. Untuk mengetahui angkutan sedimen dasar menggunakan software HEC-RAS di saluran primer D.I. Maloso.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Penelitian ini menggunakan software HEC-RAS sebagai alat utama pemodelan. Dalam hal ini, berikut batasan masalah yang telah ditetapkan agar memandu penelitian ini secara fokus dan efisien :

1. Pada penelitian ini akan terbatas pada bagian saluran primer D.I Maloso yang berlokasi di Polewali Mandar, Kelurahan Batupanga, Kecamatan Luyo.
2. Penelitian ini menggunakan software HEC-RAS versi 6.4.1 untuk memodelkan sedimen dasar pada saluran primer D.I. Maloso
3. Fokus penelitian lebih terkonsentrasi pada aliran sedimen daripada infrastruktur fisik maka dari itu penelitian ini tidak memperhitungkan bangunan pengelak, bangunan pengambil (intek) dan bangunan pelimpah (spillway)
4. Analisis pada penelitian ini tidak mencakup perhitungan terkait struktur dan stabilitas bendung

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat penelitian adalah sebagai berikut :

1. Dapat mengetahui besar angkutan sedimen dasar melalui pemodelan software HEC-RAS untuk penanganan lebih lanjut
2. Penelitian ini membantu untuk memahami perilaku dan pergerakan sedimen yang ada pada saluran primer
3. Dengan pemodelan sedimen menggunakan HEC-RAS dan memahami bagaimana sedimen bergerak dapat mengembangkan strategi yang efektif untuk mengelola sedimentasi.
4. Dapat digunakan untuk mengidentifikasi lokasi-lokasi dengan tingkat sedimentasi tinggi, sehingga dalam pelaksanaan pemeliharaan dapat dilakukan secara efektif dan efisien.
5. Dapat mengetahui efektifitas dan efisiensi kantong lumpur.

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

Dalam proses penyusunan proposal penelitian, penulisan yang sistematis sangat penting agar proposal dapat menjadi pedoman yang terstruktur dalam pelaksanaan penelitian. Secara umum, struktur sistematika dari sebuah proposal penelitian ada beberapa tahapan yakni sebagai berikut :

**BAB I PENDAHULUAN** yang terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

**BAB II TINJAUAN MASALAH** Menyajikan teori yang menjadi landasan untuk menganalisis dan membahas permasalahan penelitian.

**BAB III METODOLOGI PENELITIAN** menyajikan tahapan-tahapan atau prosedur penelitian yang terdiri atas lokasi dan waktu penelitian, metode pengumpulan data, alat yang digunakan, pengumpulan data.

**BAB II**  
**TINJAUAN PUSTAKA**

**2.1 Penelitian Terdahulu**

Pemodelan sedimen menggunakan aplikasi HEC-RAS merupakan topik yang telah banyak diteliti dan dibahas dalam konteks teknik sungai serta manajemen sumber daya air. Aplikasi ini memungkinkan peneliti untuk menganalisis dinamika sedimen dalam sistem sungai atau saluran, memprediksi pola erosi dan sedimentasi, serta mengembangkan strategi manajemen yang efektif untuk mengelola sedimentasi. Studi-studi yang menggunakan HEC-RAS untuk pemodelan sedimen seringkali mencakup berbagai aspek seperti pengaruh aliran air dan karakteristik sedimen.

*Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu*

<b>Nama Peneliti</b>	<b>Judul Penelitian</b>	<b>Persamaan</b>	<b>Perbedaan</b>
Aswar Amiruddin, Refina Fatriza, Rahmat Faizal (2023)	Angkutan Sedimen Total Saluran Pembawa Embung Rawasari menggunakan Metode Empiris dan Software HEC-RAS 6.0	Persamaan penelitian ini dengan penelitian yang akan berjalan yaitu menggunakan aplikasi HEC-RAS untuk memodelkan aliran air dan pergerakan sedimen dalam saluran air dengan menggunakan metode Englund Hansen.	Adapun perbedaannya yakni pada penelitian ini selain menggunakan softwaren HEC-RAS juga menggunakan metode empiris untuk menghitung angkutan sedimen total dengan menggunakan persamaan Laursen. Sedangkan penelitian yang akan dilakukan hanya berfokus pada pemodelan sedimen menggunakan software HEC-RAS yakni hanya

			<p>pada pendekatan Englund Hansen, sesuai dengan jenis sedimen. Pada penelitian ini fokus pada analisis sedimen total yang dimana mencakup semua jenis sedimen baik itu sedimen dasar ataupun sedimen melayang, sedangkan pada penelitian yang akan berjalan hanya fokus pada jenis sedimen dasar (<i>bed load</i>).</p>
<p>Sukmo Satwo Nugroho (2023)</p>	<p>Analisis Laju Sedimentasi Pada Saluran Primer Bondoyudo Menggunakan Program Hec-Ras</p>	<p>Untuk persamaan penelitian ini dengan penelitian yang akan berjalan yakni menggunakan aplikasi HEC-RAS dalam menganalisis laju sedimen dengan objek penelitian yaitu pada saluran primer irigasi.</p>	<p>Adapun perbedaannya yaitu pada penelitian ini bertujuan untuk menghitung laju sedimentasi, sedangkan penelitian yang akan berjalan fokus pada pemodel angkutan sedimen dasar yang bertujuan memprediksi bagaimana sedimen dasar bergerak melalui saluran primer di daerah irigasi maloso.</p>

<p>Fiona Gita Novelyne, Nurhayati, Danang Gunarto (2024)</p>	<p>Penerapan HEC-RAS Untuk Analisis Angkutan Sedimen Dasar Terhadap Debit Angkutan Sedimen Pada Saluran Parit Berkat</p>	<p>Persamaan penelitian ini dengan penelitian yang berjalan yaitu menggunakan software HEC-RAS dalam pemodelan aliran air dan analisis hidrodinamika termasuk analisis angkutan sedimen. Fokus pada analisis atau pemodelan sedimen dasar (bed load), yaitu material yang diangkut oleh aliran air di dasar saluran. Mengkaji saluran air sebagai objek dari studi penelitian.</p>	<p>Adapun perbedaannya yakni objek pada penelitian ini yaitu di saluran drainase parit Berkat sedangkan pada penelitian yang akan dilakukan pada saluran primer yang merupakan sistem irigasi yang lebih besar dan kompleks dibandingkan parit.</p>
<p>Putu Adetya Pariartha, Entin Hidayah, Wiwik Yunarni Widiarti (2020)</p>	<p>Pengendalian Sedimentasi pada Saluran Irigasi Rayap Tersier II Patrang Kabupaten Jember</p>	<p>Persamaan penelitian ini dengan penelitian yang akan berjalan yaitu fokus pada permasalahan sedimentasi yang ada pada saluran irigasi yang dimana menggunakan aplikasi HEC-RAS untuk memodelkan</p>	<p>Adapun perbedaannya yaitu pada objek penelitian, penelitian ini membahas lebih spesifik di jaringan tersier dimana air yang dialirkan langsung ke petak-petak persawahan. Sedangkan penelitian yang akan dilakukan pada saluran</p>

		sedimen pada saluran tersebut.	primer/induk irigasi yang memiliki skala sebih besar. Penelitian ini berfokus pada pengendalian sedimentasi yang ada pada saluran tersier yang dimana lebih menekankan pada strategi dan teknik untuk mencegah atau mengurangi sedimen yang ada pada saluran tersier tersebut. Sedangkan pada penelitian yang akan berjalan lebih spesifik melakukan simulasi untuk memodelkan pergerakan sedimen di saluran primer dan bagaimana variabel-variabel tertentu mempengaruhi sedimen.
Devi Ahmad Tantowi (2019)	Kajian Sedimentasi Di Saluran Irigasi Sekunder Menggunakan	Persamaan penelitian ini dengan penelitian yang akan berjalan yaitu melakukan analisis dan pemodelan hidrodinamika serta	Adapun perbedaannya yaitu pada penelitian ini berfokus pada saluran irigasi sekunder sedangkan penelitian yang akan dilakukan berfokus pada saluran

	<p>Program Hec-Ras Versi 4.1</p>	<p>angkutan sedimen menggunakan software HEC-RAS. Berfokus pada sedimentasi pada saluran irigasi, khususnya bagaimana sedimen bergerak dalam aliran air di saluran</p>	<p>primer/induk irigasi yang dimana memiliki skala yang lebih besar dibandingkan saluran irigasi sekunder. Kemudian penelitian ini fokus pada kajian sedimentasi yang berarti penelitian ini lebih deskriptif, untuk memahami kondisi sedimentasi saat ini di saluran sekunder, sedangkan pada penelitian yang akan dilakukan fokus pada pemodelan angkutan sedimen dasar untuk mengetahui angkutan sedimen dasar yang ada pada saluran primer daerah irigasi Maloso</p>
--	----------------------------------	--	--

## 2.2 Irigasi

### 2.2.1 Pengertian Irigasi

Irigasi berasal dari istilah *irrigatie* dalam bahasa Belanda atau *irrigation* dalam bahasa Inggris. Irigasi dapat pula diartikan sebagai suatu usaha yang dilakukan untuk mendatangkan air dari sumberdaya guna keperluan pertanian, mengalirkan dan membagikan air secara teratur dan setelah digunakan dapat pula di buang kembali (Muhammad Yunus Ali, Nurjannah, 2019).

Menurut Ir. Widjatmoko dan I.r Imam Soewadi, Dipl.H.E., dalam bukunya

tentang irigasi, secara khusus irigasi didefinisikan sebagai penggunaan air pada tanah untuk keperluan penyediaan cairan yang dibutuhkan, untuk pertumbuhan tanam-tanaman. Sedangkan secara umum irigasi didefinisikan sebagai penggunaan air pada tanah untuk setiap jumlah delapan kegunaan berikut ini :

1. Menambah air kedalam tanah untuk menyediakan cairan yang diperlukan untuk pertumbuhan tanam tanaman.
2. Untuk menyediakan jaminan panen pada saat musim kemarau yang pendek
3. Untuk mendinginkan tanah dan atmosfer, sehingga menimbulkan lingkungan yang baik untuk pertumbuhan tanam tanaman
4. Untuk mengurangi bahaya pembekuan.
5. Untuk mencuci atau mengurangi garam dalam tanah
6. Untuk melunakkan pembajakan dan gumpalan tanah
7. Untuk mengurangi bahaya erosi
8. Untuk memperlambat pertumbuhan tunas dengan pendinginan karena penguapan.

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat nomor 12/PRT/M/2015 tentang Eksploitasi dan Pemeliharaan Jaringan Irigasi, pasal 1 ayat (3) bahwa Irigasi adalah usaha penyediaan, pengaturan, dan pembuangan air irigasi untuk menunjang pertanian yang jenisnya meliputi irigasi permukaan, irigasi rawa, irigasi air bawah tanah, irigasi pompa, dan irigasi tambak. Irigasi merupakan upaya untuk mengalirkan air dari sumbernya guna memenuhi kebutuhan pertanian, seperti irigasi pemukiman, irigasi rawa, irigasi bawah tanah, irigasi pompa, dan irigasi tambak. Peningkatan irigasi adalah kegiatan yang bertujuan untuk meningkatkan fungsi dan kondisi jaringan irigasi yang sudah ada, atau memperluas areal pelayanan pada jaringan irigasi yang sudah ada, dengan mempertimbangkan perubahan kondisi di daerah irigasi (Nggule, 2017).

Daerah Irigasi (D.I.) adalah suatu wilayah daratan yang kebutuhan airnya dipenuhi oleh sistem irigasi. Daerah Irigasi biasanya merupakan areal persawahan yang membutuhkan banyak air untuk produksi padi. Untuk meningkatkan produksi pada areal persawahan dibutuhkan sistem irigasi yang handal, yaitu sistem irigasi yang dapat memenuhi kebutuhan air irigasi sepanjang tahun (Juhana et al., 2016).

### **2.2.2 Bagian-bagian Irigasi**

Bagian awal saluran irigasi yakni bangunan utama (head works) yang dapat didefinisikan sebagai kompleks bangunan yang direncanakan di dan sepanjang sungai atau aliran air untuk membelokkan air ke dalam jaringan saluran agar dapat dipakai untuk keperluan irigasi. Bangunan utama bisa mengurangi kandungan sedimen yang berlebihan, serta mengukur banyaknya air yang masuk (PUPR, 2013). Adapun saluran irigasi terdiri dari tiga bagian saluran yaitu saluran irigasi primer/induk, saluran irigasi sekunder dan saluran irigasi tersier, yang di jelaskan sebagai berikut (Sulkifli, 2023) :

#### **2.2.2.1 Saluran Irigasi Primer/Induk**

Jaringan irigasi primer adalah bagian dari jaringan irigasi yang terdiri dari bangunan utama, saluran induk/primer, saluran pembuangannya, bangunan bagi, bangunan bagi-sadap, bangunan sadap, dan bangunan pelengkapya (Juhana et al., 2016). Saluran irigasi primer adalah bagian dari jaringan irigasi yang terdiri dari bangunan utama, saluran induk/primer, saluran pembuangannya, bangunan bagi, bangunan bagi-sadap dan bangunan pelengkapya (Hansen Vaughn E,1992).

Saluran irigasi primer merupakan saluran irigasi utama yang membawa air masuk kedalam saluran sekunder. Air yang sudah masuk kedalam irigasi sekunder akan diteruskan ke saluran irigasi tersier. Bangunan saluran irigasi primer umumnya bersifat permanen yang sudah dibangun oleh pemerintah melalui Dinas Pekerjaan Umum atau daerah setempat (Akhmad Syahrul, 2018). Pentingnya saluran irigasi primer terletak pada perannya sebagai pengatur aliran air untuk memastikan distribusi air yang efisien ke seluruh area pertanian. Air yang sudah mencapai saluran irigasi sekunder kemudian dapat dialirkan ke saluran irigasi tersier, yang lebih kecil dan mendistribusikan air langsung ke lahan pertanian atau ke area yang lebih spesifik. Petak Primer terdiri dari beberapa petak sekunder, untuk itu petak-petak ini akan mengambil air langsung dari saluran primer. Petak primer dilayani oleh satu saluran primer yang mengambil air langsung dari sumber air (sungai) (Sidharta, 1997).

#### **2.2.2.2 Saluran Irigasi Sekunder**

Jaringan irigasi sekunder adalah bagian dari jaringan irigasi yang terdiri dari

saluran sekunder, saluran pembuangannya, bangunan bagi, bangunan bagi-sadap, dan bangunan pelengkap. Fungsi dari saluran irigasi sekunder ini adalah membawa air yang berasal dari saluran irigasi primer dan diteruskan ke saluran tersier.

### **2.2.2.3 Saluran irigasi Tersier**

Jaringan irigasi tersier adalah jaringan irigasi yang berfungsi sebagai prasarana air irigasi dalam petak tersier yang terdiri dari saluran tersier, saluran kuarter dan saluran pembuang, boks tersier, boks sekunder serta bangunan pelengkap (Juhana et al., 2016).

### **2.2.3 Skema Jaringan Irigasi**

Jaringan irigasi adalah saluran, bangunan utama, dan bangunan pelengkap yang merupakan satu kesatuan dan diperlukan pengaturan air irigasi mulai dari penyediaan, pengambilan, pembagian, pemberian, penggunaan, dan pembuangan air irigasi. Satu kesatuan wilayah mendapatkan air dari suatu jaringan irigasi disebut dengan daerah irigasi.

Gambar skema jaringan adalah gambar sketsa jumlah saluran, bangunan yang ada pada suatu daerah irigasi yang dimana pada gambar skema jaringan irigasi ini terdiri dari petak-petak tersier, sekunder dan primer yang berlainan antara saluran pembawa dan saluran pembuang terdapat juga bangunan utama, bangunan pelengkap, yang dilengkapi keterangan nama luas dan debit (Aditya, 2023). Berikut gambar 2.1 skema jaringan irigasi D.I Maloso :



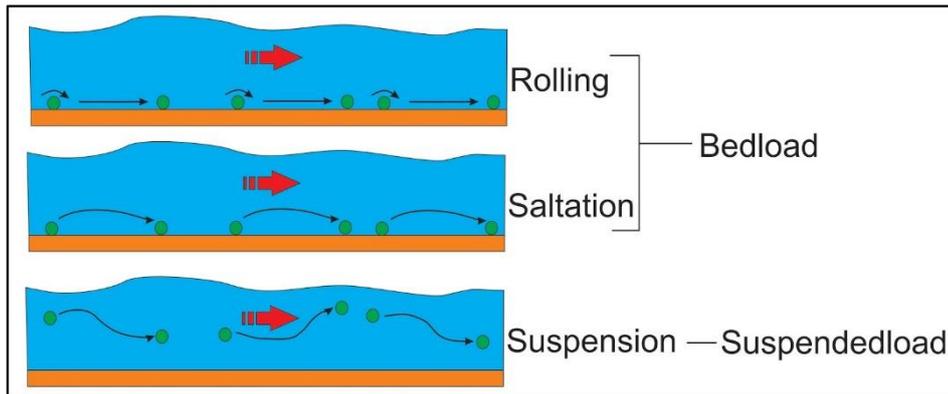
## **2.3 Sedimen**

### **2.3.1 Pengertian Sedimen dan Sedimentasi**

Sedimen merupakan material yang terbawa aliran air melalui suatu penampang saluran mulai dari hulu hingga hilir yang dimana melalui berbagai proses fisik dan kimia hingga akhirnya mengendap pada titik tertentu (Putri Windi Lestari, 2019). Proses pengangkutan ini dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kecepatan aliran air, ukuran dan berat partikel sedimen, serta kemiringan dan kondisi saluran. Agar sebuah saluran dapat memberikan pelayanan yang berkesinambungan, maka dimensi saluran perlu dijaga secara berkala, terutama pada daerah dengan tingkat sedimentasi yang tinggi. Pendangkalan, penyempitan, pergerakan dan penutupan saluran akibat sedimentasi telah menjadi permasalahan serius yang umum terjadi (Rohani et al., 2023). Sedimentasi sungai adalah proses pengendapan material yang terbawa oleh aliran air sungai, yang pada akhirnya dapat membentuk delta sungai. Sedimen sendiri adalah batuan yang terbentuk melalui serangkaian proses seperti pelapukan, erosi, transportasi, dan deposisi (pergeseran) yang terjadi di sepanjang aliran sungai (Iswahyudi et al., 2018). Sedimen merupakan batuan yang terbentuk karena proses pelapukan, erosi, transportasi, dan deposisi (pengerasan) yang terjadi pada suatu wilayah aliran sungai, sedimentasi merupakan proses pengendapan suatu material – material yang terangkut aliran air sungai dan dapat mengakibatkan terjadinya delta sungai (Tantowi, 2019).

Sedimentasi dapat didefinisikan sebagai pengangkutan, melayangnya (suspensi) atau mengendapnya material fragmental oleh air. Sedimentasi merupakan akibat dari adanya erosi, dan memberikan dampak yang banyak. Pengendapan sedimen akan mengurangi volume efektifnya. Sebagian besar jumlah sedimen dialirkan oleh sungai-sungai yang mengalir ke waduk, hanya sebagian kecil saja yang berasal dari longsor tebing- tebing waduk, atau berasal dari longsor tebing-tebingnya oleh limpasan permukaan (Siwamba et al., 2019). Sedimentasi adalah peristiwa pengendapan material batuan yang telah diangkut oleh tenaga air atau angin. Pada saat pengikisan terjadi, air membawa batuan mengalir ke sungai, danau, dan akhirnya sampai di laut. Pada saat kekuatan

pengangkutannya berkurang atau habis, batuan diendapkan di daerah aliran air (Hambali & Apriyanti, 2016). Pada umumnya partikel yang terangkut dengan cara bergulung, bergeser, dan melompat disebut angkutan muatan dasar (*bed-load transport*) dan jika partikel terangkut dengan cara melayang disebut angkutan muatan layang suspensi (*suspended load transport*) (Lemeneger, 2018).



Gambar 2. 2 Partikel terangkut dengan cara *bed-load transport* dan *suspended load transport*

Mulyanto (2007) menyatakan bahwa terdapat tiga jenis angkutan sedimen, antara lain :

- a. Wash load atau muatan bilas adalah angkutan partikel halus yang berupa lempung (silt) dan debu (dust) yang ikut terbawa masuk kedalam sungai dan melayang sampai mencapai laut atau genangan air lainnya.
- b. Suspended load atau muatan sedimen melayang yang terdiri dari pasir halus dan bergerak secara melayang dalam aliran.
- c. Bed load atau muatan sedimen dasar adalah butiran material dengan ukuran yang besar bergerak di dasar sungai dengan cara bergeser, menggelinding ataupun meloncat.

Proses sedimentasi dalam konteks sungai mencakup beberapa tahapan yakni penyempitan palung, erosi, transportasi sedimen, pengendapan, dan pematatan sedimen. Proses ini sangat kompleks dan merupakan awal dari terjadinya erosi tanah yang menghasilkan partikel halus. Partikel-partikel ini kemudian bergulir bersama aliran air. Sebagian dari partikel tersebut akan tetap di atas tanah, sementara bagian lainnya terbawa aliran masuk kedalam sungai dan menjadi sedimen (Pangestu & Haki, 2013).

### 2.3.2 Sumber Sedimen

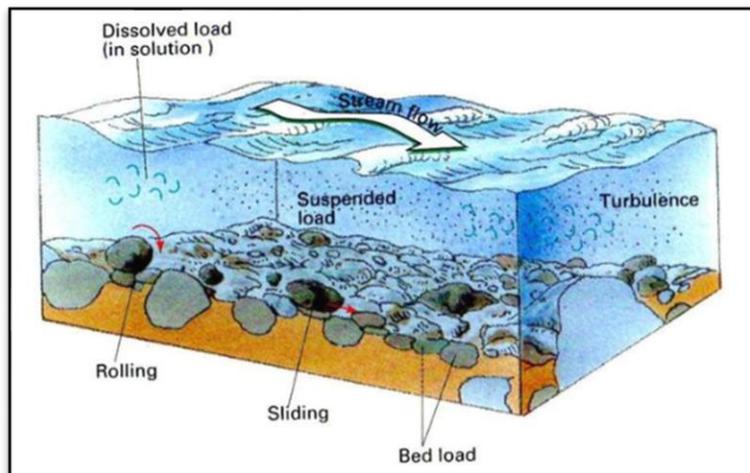
Menurut asalnya sedimen dibagi menjadi 4 (empat) macam yaitu sebagai berikut (Lemeneger, 2018);

- a. Sedimen lithogenous ialah sedimen yang berasal dari sisa pelapukan (weathering) batuan dari daratan, lempeng kontinen termasuk yang berasal dari kegiatan vulkanik.
- b. Sedimen biogenous ialah sedimen yang berasal dari organisme laut yang telah mati dan terdiri dari remah-remah tulang, gigi geligi dan cangkang-cangkang tanaman maupun hewan mikro.
- c. Sedimen hydrogenous yakni sedimen yang berasal dari komponen kimia air laut dengan konsentrasi yang kelewat jenuh sehingga terjadi pengendapan (deposisi) didasar laut contohnya mangan (Mn) berbentuk nodul, fosforite ( $P_2O_5$ ), dan glauconite (hidro silikat yang berwarna kehijauan dengan komposisi yang terdiri dari ion-ion K, Mg, Fe dan Si).
- d. Sedimen cosmogenous sedimen yang berasal dari luar angkasa di mana partikel dari benda-benda angkasa ditemukan di dasar laut dan banyak mengandung unsur besi sehingga mempunyai respons magnetik dan berukuran antara 10-640 $\mu$ .

Ukuran butir partikel sedimen adalah salah satu faktor yang mengontrol proses pengendapan sedimen di sungai, semakin kecil ukuran butir semakin lama partikel tersebut dalam air dan semakin jauh diendapkan dari sumbernya, begitu juga sebaliknya. Rifardi (2008) menyatakan bahwa ukuran butir sedimen dapat menjelaskan hal-hal berikut:

- 1) Menggambarkan daerah asal sedimen
- 2) Perbedaan jenis partikel sedimen
- 3) Ketahanan partikel dari bermacam-macam komposisi terhadap proses pelapukan (weathering), erosi, abrasi dan transportasi serta
- 4) Jenis proses yang berperan dalam transportasi dan deposisi sedimen.

Adapun tipe-tipe substrat sedimen yang biasanya terdapat di dasar suatu sungai dapat dilihat pada Gambar 2.3 sebagai berikut:



Gambar 2. 3 Tipe-Tipe Substrat Sedimen di Dasar Sungai

### 2.3.3 Parameter yang Mempengaruhi Sedimen

#### 2.3.3.1 Kecepatan Arus

Arus adalah gerakan air yang menyebabkan perpindahan horizontal massa air, yang dipengaruhi oleh angin yang bertiup melintasi permukaan serta perbedaan densitas air sungai. Adanya sedimen kerikil menunjukkan bahwa arus di daerah tersebut relatif kuat, sehingga kerikil biasanya ditemukan di daerah terbuka. Sebaliknya sedimen lumpur terbentuk akibat arus yang tenang dan biasanya ditemukan di daerah di daerah dimana arus terhalang.

Pergerakan sedimen dipengaruhi oleh kecepatan arus dan ukuran butiran sedimen. Semakin besar ukuran butiran sedimen tersebut maka kecepatan arus yang dibutuhkan juga akan semakin besar untuk mengangkat partikel sedimen tersebut. Arus juga merupakan kekuatan yang menentukan arah dan sebaran sedimen. Kekuatan ini juga yang menyebabkan karakteristik sedimen berbeda sehingga pada dasar sungai disusun oleh berbagai kelompok populasi sedimen.

#### 2.3.3.2 Kimia

Proses kimia mempengaruhi proses pengendapan (sedimentasi) di sungai. Perubahan PH air sungai mempengaruhi proses pelarutan dan presipitasi partikel-partikel sedimen. Reaksi kimia dalam sedimen berhubungan dengan PH khususnya

kalsium karbonat yang terjadi sebagai partikel-partikel batuan dan semen. Reaksi kimia terjadi diantara partikel-partikel tersebut dengan air (Munandar et al., 2014).

#### **2.3.3.3 Fisika**

Proses terendapnya sedimen antara satu tempat dengan tempat lainnya mempunyai perbedaan hal ini disebabkan oleh perbedaan suhu dari sungai itu sendiri. Hubungan antara suhu dengan proses pengendapan sedimen yaitu partikel dengan ukuran yang sama dideposisi lebih cepat pada suhu rendah dibandingkan dengan suhu tinggi.

#### **2.3.4 Angkutan Sedimen di Saluran irigasi**

Angkutan sedimen yang ada pada saluran terbuka sangat berkaitan dengan kondisi Daerah Aliran Sungai (DAS). Permasalahan sedimentasi di Indonesia lebih didominasi oleh aliran air yang mengangkut tanah hasil erosi dan mengendap di dalam waduk, sungai, saluran irigasi, di atas tanah pertanian, muara sungai dan lain sebagainya. Peningkatan besarnya jumlah sedimen dikarenakan besarnya frekuensi aliran puncak sebagai respon terhadap permukaan dasar saluran yang tidak tahan atau rentang terjadinya erosi (Hermawan & Afiato, 2021). Sedimen yang terdapat di saluran dapat menyebabkan perubahan dimensi saluran dari asal saluran, serta dapat mempengaruhi energi spesifik penampang saluran sehingga secara tidak langsung dapat mengakibatkan kurang optimumnya kinerja saluran irigasi (Suleman, 2015). Sedimentasi pada saluran irigasi akan terjadi jika kapasitas angkut sedimen berkurang. Dengan kata lain, kecepatan aliran tidak mampu mengangkut partikel sedimen (Nugroho, 2010).

Bagian awal dari saluran induk irigasi adalah bangunan kantong lumpur yang berfungsi untuk mengendapkan sedimen yang masuk bersama aliran air untuk mencegah masuknya sedimen ke dalam jaringan saluran irigasi. Meskipun kantong lumpur efektif, sedimen yang lolos tetap dapat menyebabkan masalah di saluran primer. Sedimen ini lama kelamaan semakin banyak dan menjadi padat, pada akhirnya akan membentuk delta-delta di saluran irigasi. Hal inilah, yang akan mendasari penelitian ini untuk memberikan gambaran mengenai dinamika sedimen yang ada pada saluran primer yang dimana bisa memberikan nilai tambah yang signifikan dalam meningkatkan pengelolaan dan efisiensi sistem irigasi.

### **2.3.5 Karakteristik Sedimen Dasar (Bed Load)**

Muatan sedimen dasar (*bed load*) adalah partikel–partikel kasar yang bergerak sepanjang dasar sungai atau saluran secara keseluruhan. Adanya sedimen muatan dasar ditunjukkan oleh gerakan partikel di dasar sungai, gerakan itu dapat bergeser, menggelinding atau meloncat–loncat tetapi tidak pernah lepas dari dasar sungai atau saluran. Gerakan ini kadang–kadang dapat sampai jarak tertentu dengan ditandai bercampurnya butiran partikel tersebut bergerak kearah hilir (Sudira et al., 2013). Dalam pemodelan angkutan sedimen dasar (*bed load*) menggunakan software HEC-RAS perlu di analisis karakteristik sedimen tersebut. Langkah awal dalam menganalisis sedimen adalah dengan pengambilan sampel sedimen khusus sedimen dasar yang ada di lokasi penelitian yaitu pada hulu, tengah, hilir saluran primer.

#### **2.3.5.1 Analisis Saringan (*Grain Size Analysis*)**

Sampel sedimen dasar (*bed load*) akan diuji analisis saringan (*Grain Size Analysis*) yang dimana bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran partikel sedimen dalam sampel. Analisis Saringan (*Grain Size Analysis*) merupakan uji saringan yang mendefinisikan diameter partikel sedimen. Alat untuk analisa saringan (*Grain Size Analysis*) terdiri dari ayakan tanah melalui tumpukan saringan dengan ukuran yang tertera di saringan tersebut. Besarnya butiran partikel tanah dijadikan dasar untuk klasifikasi jenis tanah. Ukuran partikel merupakan karakteristik sedimen yang dapat diukur secara nyata.

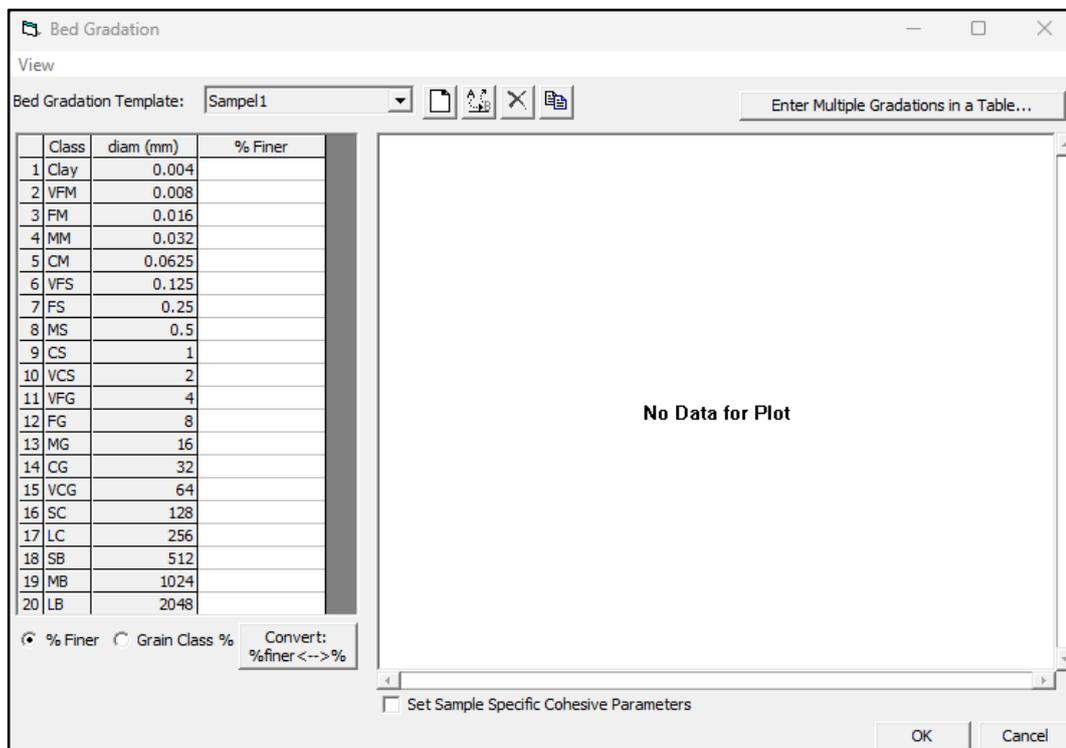
Beberapa ahli hidraulika menggunakan klasifikasi ukuran butiran menurut AGU (*American Geophysical Union*) sebagaimana yang ditunjukkan pada tabel 2.2 klasifikasi ukuran butiran menurut *American Geophysical Union*. Untuk ukuran batu besar (boulders) dan krakal (cobbles) dapat diukur tersendiri, kerikil (gravel) dapat diukur tersendiri atau dengan ayakan, dan pasir diukur dengan ayakan. Ayakan nomor 200 digunakan untuk memisahkan partikel pasir dari partikel yang lebih halus seperti lumpur dan lempung, sedangkan lumpur dan lempung dipisahkan dengan mengukur perbedaan kecepatan jatuhnya pada air diam (Hambali & Apriyanti, 2016). Tabel hubungan ukuran butir sedimen dengan jenis sedimen berdasarkan *American Geophysical Union* dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 2. 2 Klasifikasi Ukuran Butiran Menurut American Geophysical Union

<b>Interval (mm)</b>	<b>Nama</b>	<b>Interval (mm)</b>	<b>Nama</b>
4096-2048	Batu sangat besar ( <i>Very Large Boulders</i> )	1/2-1/4	Pasir sedang ( <i>Medium Sand</i> )
2048-1024	Batu besar ( <i>Large Boulders</i> )	1/4-1/8	Pasir halus ( <i>Fine Sand</i> )
1024-512	Batu sedang ( <i>Medium Boulders</i> )	1/8-1/16 (s/d 0.0625 mm)	Pasir sangat halus ( <i>Very Fine Sand</i> )
512-256	Batu kecil ( <i>Small Boulders</i> )	1/16-1/32	Lumpur kasar ( <i>Coarse Silt</i> )
256-128	Kerakal besar ( <i>Large Cobbles</i> )	1/32-1/64	Lumpur sedang ( <i>Medium Silt</i> )
128-64	Kerakal kecil ( <i>Small Cobbles</i> )	1/64-1/128	Lumpur halus ( <i>Fine Silt</i> )
64-32	Kerikil sangat kasar ( <i>Very Coarse Gravel</i> )	1/128-1/256	Lumpur sangat halus ( <i>Very Fine Silto</i> )
32-16	Kerikil kasar ( <i>Coarse Gravel</i> )	1/256-1/512	Lempung kasar ( <i>Course Clay</i> )
16-8	Kerikil sedang ( <i>Medium Gravel</i> )	1/512-1/1024	Lempung sedang ( <i>Medium Clay</i> )
8-4	Kerikil halus ( <i>Fine Gravel</i> )	1/1024-1/2048	Lempung halus ( <i>Fine Clay</i> )
4-2	Kerikil sangat halus ( <i>Very Fine Gravel</i> )	1/2048-1/4096	Lempung sangat halus ( <i>Very Fine Clay</i> )
2-1	Pasir sangat kasar ( <i>Very Coarse Sand</i> )		
1-1/2	Pasir kasar ( <i>Coarse Sand</i> )		

Sumber : (Hambali & Apriyanti, 2016)

Jenis sedimen juga dapat di klasifikasikan berdasarkan tabel bed gradation yang tersedia pada menu sediment data dalam perangkat lunak HEC-RAS. Klasifikasi ini dilakukan dengan mengacu pada hubungan antara ukuran butir sedimen dan jenis sedimen yang telah ditetapkan dalam standar klasifikasi sedimen. Selain itu, pada tabel bed gradation juga mencakup nilai %finer atau persen lolos butir sedimen pada setiap ukuran tertentu, yang menggambarkan distribusi ukuran partikel dalam sampel sedimen. Klasifikasi sedimen berdasarkan rentang diameter butirnya dapat dilihat pada gambar 2.4 Klasifikasi Butir Sedimen pada Software HEC-RAS sebagai berikut:



Gambar 2. 4 Klasifikasi Butir Sedimen pada Software HEC-RAS

Keterangan:

- |                      |                       |
|----------------------|-----------------------|
| C (Clay )            | = Lempung             |
| VFM (Very Fine Mud ) | = Lumpur Sangat Halus |
| FM (Fine Mud)        | = Lumpur Halus        |
| MM (Medium Mud)      | = Lumpur Sedang       |
| CM (Coarse Mud)      | = Lumpur Kasar        |
| VFS (Very Fine Sand) | = Pasir Sangat Halus  |

FS (Fine Sand)	= Pasir Halus
MS (Medium Sand)	= Pasir Sedang
CS (Coarse Sand)	= Pasir Kasar
VCS (Very Coarse Sand)	= Pasir Sangat Kasar
VFG (Very Fine Gravel)	= Kerikil Sangat Halus
FG (Fine Gravel)	= Kerikil Halus
MG (Medium Gravel)	= Kerikil Sedang
CG (Coarse Gravel)	= Kerikil Kasar
VCG (Very Coarse Gravel)	= Kerikil Sangat Kasar
SC (Small Cobble)	= Batu Kecil
LC (Large Cobble)	= Batu Besar
SB (Small Boulder)	= Bongkahan Kecil
MB (Medium Boulder)	= Bongkahan Sedang
LB (Large Boulder)	= Bongkahan Besar

Parameter-parameter analisis distribusi ukuran butir sedimen yakni dengan menghitung berat tertahan pada setiap saringan ( $W_n$ ), persen tertahan pada saringan ke- $n$  ( $R_n$ ), persen kumulatif tertahan pada saringan ke- $n$  ( $\Sigma R_n$ ), serta persen kumulatif lolos pada saringan ke- $n$ . Dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$W_n = (\text{Berat Saringan} + \text{Sedimen}) - (\text{Berat Saringan Kosong}) \dots\dots (2.1)$$

$$R_n = \frac{W_n}{\text{Berat total Sedimen}} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\Sigma R_n = \Sigma R_n \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\% \text{Lolos} = 100 - \Sigma R_n \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

$W_n$  = Berat tertahan pada saringan ke- $n$ , (gram)

$R_n$  = Persen tertahan pada saringan ke- $n$ , (%)

$\Sigma R_n$  = Persen kumulatif terahan pada saringan ke- $n$  (%)

### 2.3.5.2 Berat Jenis

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 2.1 sebagai berikut (Fatriza, 2023) :

$$G_s = \frac{W_s}{W_w} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

- $G_s$  = Berat Jenis ( $\text{gr/cm}^3$ )
- $W_s$  = Berat Volume Partikel ( $\text{gr/cm}^3$ )
- $W_w$  = Berat Volume Air ( $\text{gr/cm}^3$ )

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

$$W_s = W_2 - W_1 \dots\dots\dots (2.6)$$

$$W_w = (W_s + W_4) - W_3 \dots\dots\dots (2.7)$$

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)

Selain dari uji analisis saringan (*Grain Size Analysis*), jenis tanah juga dapat diklasifikasikan berdasarkan berat jenis tanahnya. Dapat dilihat pada tabel 2.3 klasifikasi jenis tanah berdasarkan berat jenis tanah sebagai berikut (Siswanto et al., 2021) :

*Tabel 2. 3 Klasifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Berat Jenis Tanah*

Jenis Tanah Sedimen	Berat Jenis ( $G_s$ )
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau Organik	2,62 - 2,68
Lempung Organik	2,58 - 2,65

Jenis Tanah Sedimen	Berat Jenis ( $G_s$ )
Lempung Anorganik	2,68 - 2,75
Gambut	< 2

Sumber : (Siswanto et al., 2021)

## 2.4 Data Karakteristik Aliran

### 2.4.1 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:

$$Q = 1.71 \times B \times h^{3/2} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

$Q$  = Debit ( $m^3/s$ )

$B$  = Lebar dasar saluran (m)

$h$  = Kedalaman air pada saluran (m)

1.71 = Nilai koefisien debit pada saluran

### 2.4.2 Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran ( $V$ ) didapat dari pengukuran current meter tipe propeller. Current Meter adalah alat ukur kecepatan aliran yang digunakan untuk pengukuran kecepatan air di sungai atau saluran. Alat ini terdiri dari sensor kecepatan yang berupa baling-baling propeler, sensor optik, pengolahan data. Alat ini dilengkapi penghitung elektronik yang menunjukkan putaran baling-baling. Dengan adanya kalibrasi, maka alat ini dapat langsung digunakan dimana banyaknya putaran perdetik dicatat dalam alat dan tinggal masukkan dalam rumus (tidak perlu mencari luas penampang basah dari saluran) (Hanny Tangkudung, 2011).

## 2.5 Parameter HEC-RAS

HEC-RAS software (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System) merupakan program yang digunakan untuk menganalisa hidrolis sungai satu dimensi. Program HEC-RAS pertama kali dirilis tahun 1995, dimana pada awal

kemunculannya digunakan sebagai perhitungan profil permukaan air untuk aliran tetap satu dimensi. Saat ini, HEC-RAS memiliki kemampuan memodelkan sistem sungai secara sederhana hingga kompleks seperti struktur hidrolis (gorong-gorong, jembatan, dan lainnya) (Andrian & Pranoto, 2020). Dalam menggunakan program aplikasi HEC-RAS memiliki beberapa poin penting yang perlu diperhatikan, yakni meliputi (Valencia, 2017) :

#### 1. Graphical User Interface

Interface ini merupakan keterkaitan program HEC-RAS dengan pengguna program. Graphical Interface dibuat untuk memudahkan pemakai program untuk menjalankan beberapa langkah-langkah dalam menggunakan program aplikasi seperti : a) manajemen file, b) input data serta edit data, c) analisis hidraulik, d) menampilkan data masukan maupun hasil analisis dalam bentuk grafik dan tabel, e) penyusunan laporan, f) mengakses online help.

#### 2. Analisis Hidraulika

Dapat mensimulasikan transpor sedimen satu dimensi (simulasi perubahan dasar sungai) akibat gerusan atau deposisi dalam waktu panjang umumnya tahunan, namun dapat juga dilakukan simulasi perubahan dasar sungai akibat banjir tunggal, perubahan frekuensi dan durasi debit muka air, atau perubahan geometrik sungai.

#### 3. Manajemen dan Penyimpanan

Data Manajemen data dapat dilakukan melalui interface. Pengguna program akan diminta untuk memberi nama pada file kemudian program HEC-RAS akan menciptakan beberapa nama file secara otomatis (file- file: data plan, data geometri, data aliran stabil dan tidak stabil, hasil, dan lain-lain) dan memberi nama file project sesuai dengan nama yang telah dituliskan oleh pengguna program.

Adapun penyimpanan data dilakukan ke dalam “flat” files (format ASCII dan biner), serta file HEC-DSS. Data masukan dari pengguna HEC-RAS disimpan ke dalam file-file yang dikelompokkan menjadi: data proyek, data plan, data geometri, data aliran stabil, data aliran tidak stabil, dan data sedimen.

Hasil keluaran model disimpan ke dalam binary file. Data dapat ditransfer dari HEC-RAS ke program aplikasi lain melalui HEC- DSS file.

#### 4. Grafik dan Pelaporan

Grafik yang dihasilkan oleh program HEC-RAS berupa grafik X-Y alur sungai, tampang lintang, rating curves, hidrograf, dan grafik lain yang merupakan plot grafik X-Y berbagai variabel hidraulik. Hasil keluaran model HEC-RAS dapat juga berupa tabel. Pengguna program HEC-RAS dapat memilih hasil tabel yang tersedia pada program atau membuat hasil tabel secara manual sesuai kebutuhan. Fasilitas untuk pelaporan berupa pencetakan data masukan dan keluaran hasil pada printer atau plotter.

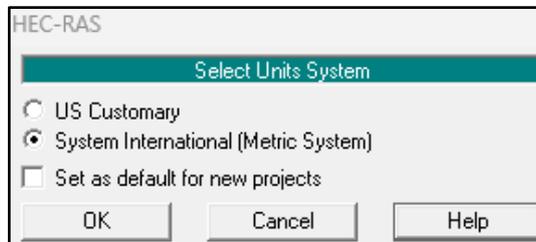
### **2.6 Pemodelan Angkutan Sedimen Menggunakan HEC-RAS**

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. Adapun langkah-langkah yang lebih rinci dalam menganalisis angkutan sedimen menggunakan perangkat lunak Hec-Ras adalah sebagai berikut.

#### **2.6.1 Membuat Penampang Melintang/Cross Section (XS)**

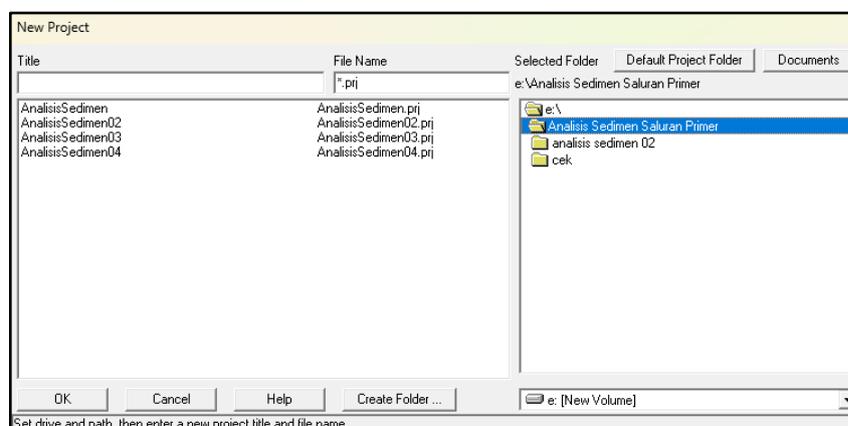
Sebelum melakukan proses pembuatan penampang melintang (*cross section*) dalam software Hec-Ras, terdapat beberapa langkah awal yang harus dilakukan untuk memastikan bahwa proyek yang dibuat memiliki kesesuaian dengan sistem satuan yang digunakan dalam analisis. Langkah pertama yang perlu dilakukan adalah mengatur sistem satuan agar sesuai dengan Satuan Internasional (SI), yang umum digunakan dalam menganalisis hidraulika dan transportasi sedimen dengan memilih menu option kemudian memilih opsi Unit System. Pengaturan ini bertujuan untuk memastikan bahwa semua parameter yang dimasukkan, seperti

panjang, debit, kecepatan aliran, dan ukuran butir sedimen, sesuai dengan standar yang digunakan dalam penelitian.



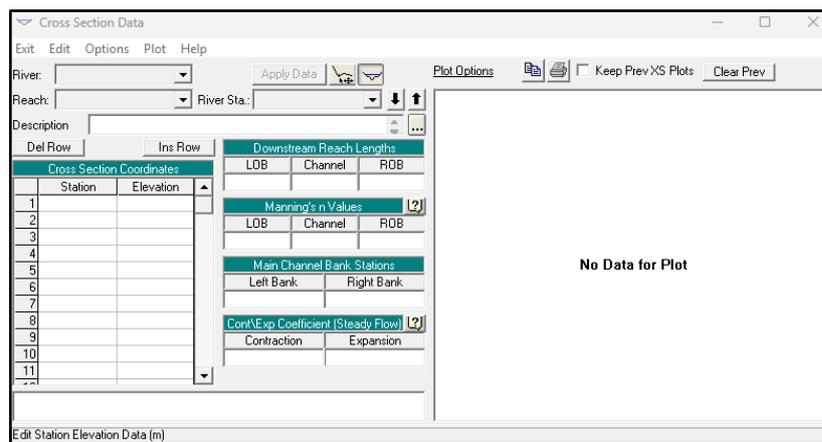
Gambar 2. 5 Tampilan Unit System

Setelah sistem satuan di konfigurasi dengan benar, langkah berikutnya adalah membuat proyek baru (*new project*). Pembuatan proyek baru dilakukan melalui menu file dengan memilih opsi new project. Pada tahap ini, akan menentukan direktori penyimpanan file proyek serta memberikan nama proyek yang sesuai dengan tujuan penelitian. Pemilihan lokasi penyimpanan yang sistematis dan terstruktur sangat penting agar seluruh data dapat dikelola dengan baik dan mudah diakses kembali apabila diperlukan untuk analisis lebih lanjut atau revisi model. Selain itu, dalam penamaan proyek, digunakan format yang jelas dan deskriptif seperti mencantumkan tahun penelitian, lokasi studi, dan jenis analisis yang dilakukan. Pemberian nama proyek yang jelas dan sistematis akan memudahkan proses pengolahan data. Setelah nama proyek ditentukan dan direktori penyimpanan dipilih, kemudian konfirmasi pembuatan project dengan menekan tombol OK, sehingga sistem akan secara otomatis membuat file project yang akan digunakan untuk tahap pemodelan selanjutnya.



Gambar 2. 6 Tampilan New Project

Untuk membuat penampang melintang (*Cross Section*), klik menu geomic data pada perangkat lunak Hec-Ras. Dalam tampilan geometric data editor, terdapat berbagai fitur untuk memungkinkan menginput data geometric saluran, termasuk penampang melintang, jembatan, pintu air, dan struktur hidraulik lainnya. Pada tahap ini, pilih opsi cross section untuk membuat penampang melintang pada titik-titik yang telah ditentukan.



Gambar 2. 7 Tampilan input Data Cross Section

Pada menu Cross Section Data, kemudian memasukkan data koordinat setiap titik yang membentuk profil penampang melintang. Data ini terdiri dari posisi horizontal (*station*) dan elevasi vertikal (*elevation*), yang masing-masing menunjukkan lebar dan kedalam saluran pada suatu titik tertentu. Selain menentukan koordinat setiap titik penampang, juga memasukkan parameter tambahan yang berpengaruh terhadap analisis hidrolika, seperti koefisien kekasaran manning (*manning's n*). Nilai manning dapat bervariasi tergantung pada jenis material dasar saluran. Nilai koefisien kekasarsan manning ditentukan berdasarkan tabel sebagai berikut

Tabel 2. 4 Koefisien Kekasaran Manning's

Saluran	Keterangan	n Manning's
Tanah	Lurus, baru, seragam, landai dan bersih	0.016-0.033
	Berkelok, landai dan berumput	0.023-0.040
	Tidak terawat dan Kotor	0.050-0.140
	Tanah berbatu, kasar dan tidak teratur	0.035-0.045

Saluran	Keterangan	n Manning's
Pasangan	Batu Kosong	0.023-0.035
	Pasangan Batu Belah	0.017-0.030
Beton	Halus, sambungan baik dan rata	0.014-0.018
	Kurang halus dan sambungan kurang rata	0.018-0.030

Sumber : (Ariska, 2020)

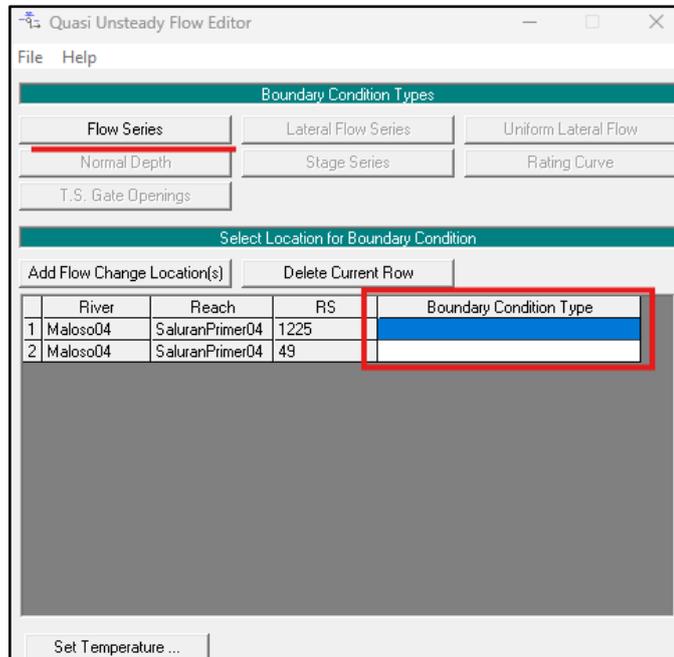
### 2.6.2 Pengimputan Data Quasi Unsteady Flow

Dalam pemodelan hidrodinamika pada Hec-Ras, terdapat tiga jenis pemodelan aliran yang dapat digunakan, yaitu steady flow, quasi unsteady flow, dan unsteady flow. Steady flow merupakan pemodelan aliran permanen dimana debit dianggap tetap dalam suatu periode tertentu, sehingga tidak memperhitungkan perubahan debit terhadap waktu. Unsteady flow adalah pemodelan aliran tak permanen yang memperhitungkan perubahan debit dan tinggi muka air secara kontinu terhadap waktu, sehingga lebih kompleks namun mampu merepresentasikan kondisi aliran yang dinamis dengan lebih akurat. Quasi unsteady flow merupakan metode pendekatan yang membagi aliran tak permanen menjadi serangkaian aliran tunak bertahap (steady flow dengan debit yang berubah secara diskrit dalam interval waktu tertentu).

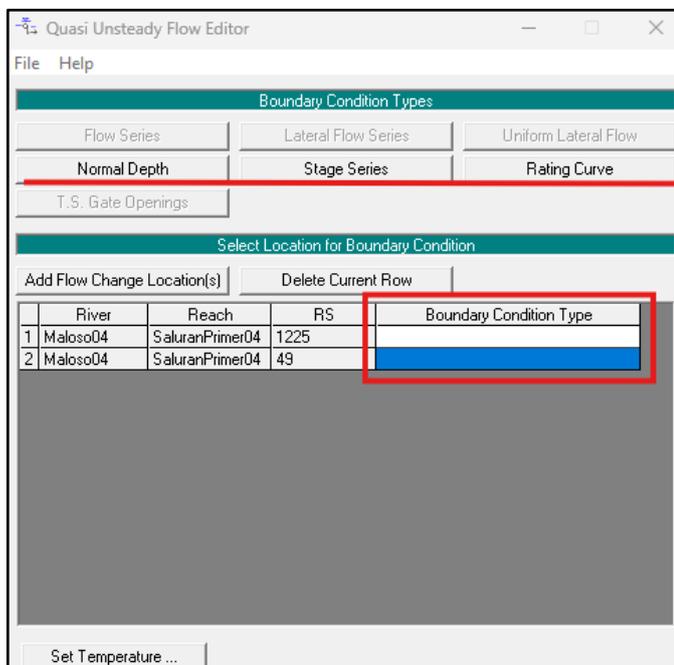
Untuk menganalisis angkutan sedimen menggunakan Software Hec-ras, pemodelan aliran yang di gunakan yaitu quasi unsteady flow. Pada pemodelan quasi unsteady flow, diperlukan pengaturan kondisi batas di hulu dan hilir saluran agar simulasi dapat berjalan dengan baik dan sesuai dengan kondisi nyata dilapangan. Pada kondisi batas bagian hulu di isi dengan data debit yang bervariasi terhadap waktu (*flow series*) yang dimana dapat dilihat pada gambar 2.8 Tampilan Kondisi Batas Hulu.

Adapun pada bagian hilir terdapat tiga opsi kondisi batas yang dapat digunakan yaitu rating curve, stage series, dan normal depth. Rating curve digunakan jika terdapat data hubungan antara debit dan tinggi muka air. Stage series digunakan apabila terdapat data tinggi muka air secara berkala dalam rentang waktu tertentu, sehingga perubahan tinggi muka air dapat di input langsung dalam simulasi. Adapun normal depth digunakan ketika kondisi hilir dapat dianggap

sebagai aliran seragam, dengan kemiringan dasar saluran sebagai parameter utama untuk menghitung tinggi muka air berdasarkan profil aliran normal. Pemilihan kondisi batas hilir ini tergantung pada ketersediaan data lapangan.

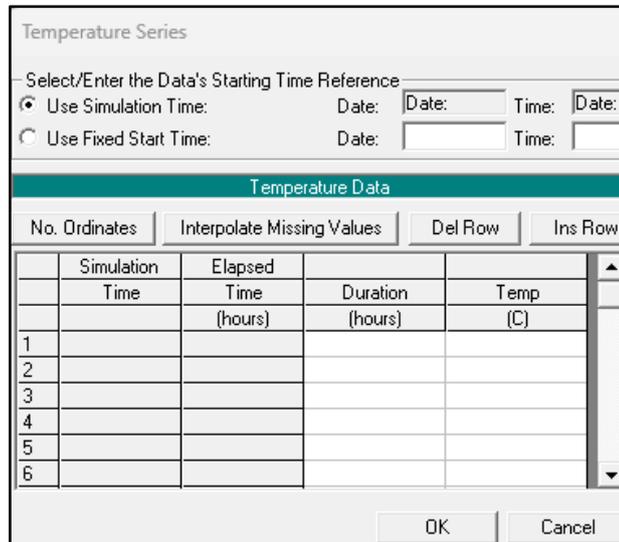


*Gambar 2. 8 Tampilan Kondisi Batas Hulu*



*Gambar 2. 9 Tampilan Kondisi Batas Hilir*

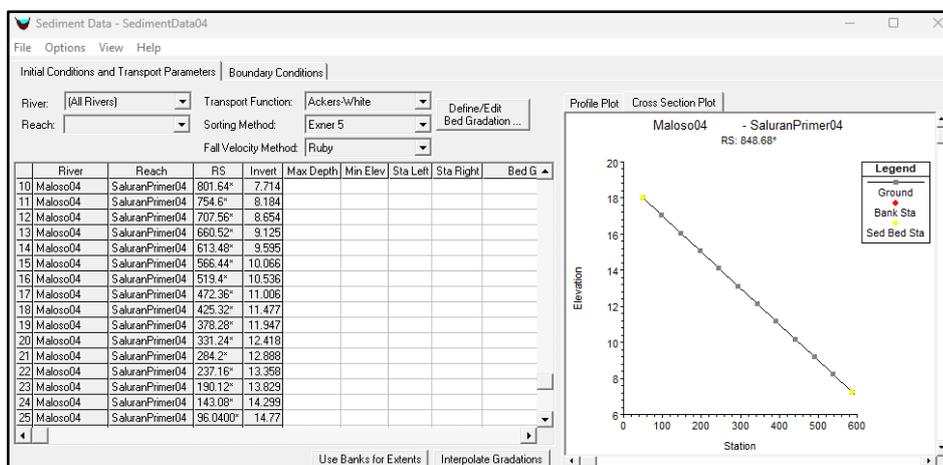
Selain itu, dalam pemodelan ini juga diperlukan pengaturan suhu (temperatur), dikarenakan analisis melibatkan pengaruh suhu terhadap karakteristik aliran dan angkutan sedimen.



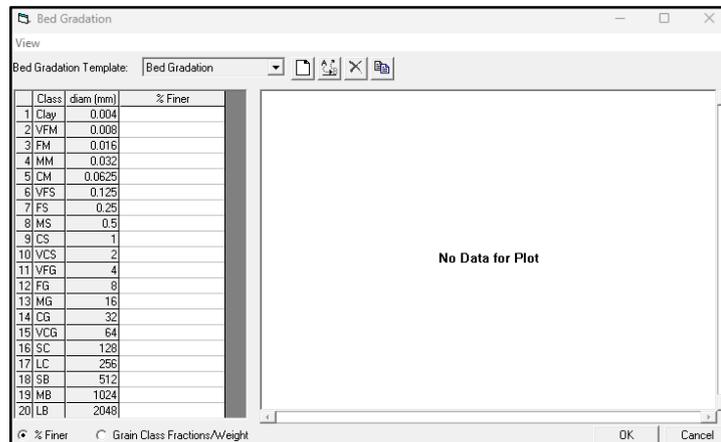
Gambar 2. 10 Tampilan Pengaturan Suhu

### 2.6.3 Pengimputan Data Sedimen

Data sedimen yang dimasukkan mencakup beberapa parameter utama, yaitu maksimum kedalaman sedimentasi (*max depth*), batas kiri dan kanan penampang (*sta left dan sta right*), metode transportasi sedimen yang dimana pada penelitian ini menggunakan metode Englund-Hansen (PU, 2016), metode kecepatan jatuh partikel (*fall velocity*), serta data bed gradation.



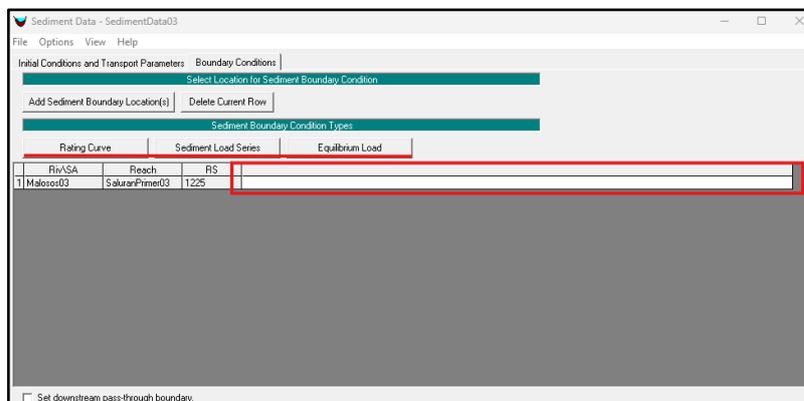
Gambar 2. 11 Tampilan Input Data Sedimen



Gambar 2. 12 Tampilan Input Data Bed Gradation

Hec-Ras menyediakan beberapa metode transportasi sedimen yang umum digunakan, seperti Ackers-White, Englund-Hansen, Meyer-Peter Muller, Yang's, dan Toffaleti. Pemilihan metode transportasi sedimen dan metode kecepatan jatuh (*fall velocity*) tergantung pada karakteristik sedimen, seperti jenis sedimen.

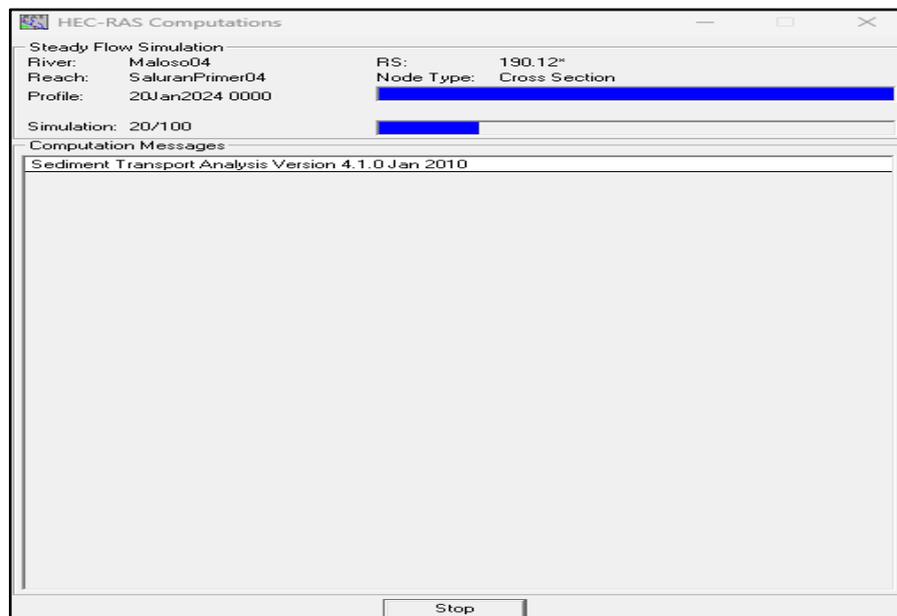
Setelah memasukkan data sedimen, langkah berikutnya adalah menentukan kondisi batas sedimen (*sediment boundary condition*). Terdapat tiga pilihan kondisi batas sediment yaitu *rating curve*, *sediment load series* dan *equilibrium load*. *Rating curve* digunakan ketika terdapat hubungan antara debit aliran irigasi dan muatan sedimen (sediment load). *Sediment load series* digunakan jika data yang digunakan berupa data muatan sedimen berdasarkan rangkaian waktu. Sedangkan *equilibrium load* digunakan jika muatan sedimen dalam kondisi kesetimbangan sehingga tidak terjadi perubahan besar dalam morfologi dasar saluran, opsi ini sering digunakan untuk sistem irigasi yang stabil tanpa erosi atau sedimentasi berlebihan.



Gambar 2. 13 Tampilan Sediment Boundary Condition Types

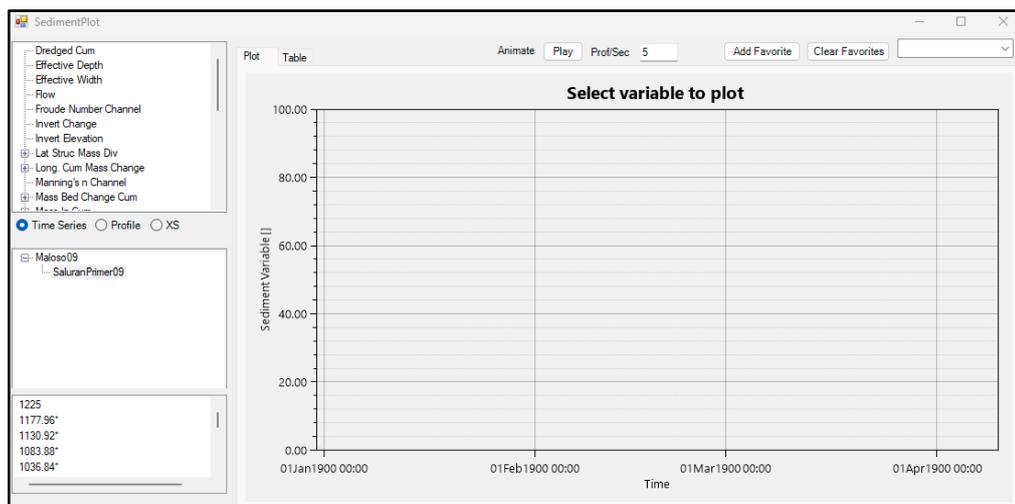
## 2.6.4 Compute dan Analisis Sedimen

Setelah semua data dan parameter terkait, termasuk cross section, quasi unsteady flow, dan data sedimen, di input maka selanjutnya adalah melakukan compute untuk menghitung angkutan sedimen dan menganalisis hasil simulasi.



Gambar 2. 14 Compute Simulasi

Hasil output setelah pemodelan dapat dianalisis melalui sediment plot dengan memilih menu view, kemudian memilih opsi sedimen output. Selanjutnya tampilan sedimen plot akan menampilkan hasil simulasi angkutan sedimen sesuai dengan cross section yang dibuat.



Gambar 2. 15 Tampilan Sedimen Output

Ketebalan sedimen dapat dihitung dengan membagi banyaknya sedimen per satuan luas dengan berat jenis sedimen, dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut :

$$h = \frac{m/l}{\rho_s} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

h = Ketebalan Sedimen (m)

m = Banyaknya Sedimen (kg)

l = Luas Saluran (m<sup>2</sup>)

$\rho_s$  = Massan Jenis Sedimen (kg/m<sup>3</sup>)

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis angkutan sedimen dasar pada Saluran Primer D.I Maloso menggunakan software Hec-Ras, kesimpulan utama yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

- a. Sedimentasi yang terjadi di saluran primer D.I Maloso dengan software Hec-Ras 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.
- b. Pemodelan angkutan sedimen dasar di saluran primer D.I Maloso dengan software Hec-Ras dilakukan dengan menggunakan metode Quasy Unsteady Flow dalam Hec-Ras. Hasil simulasi 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.
- c. Besar angkutan sedimen dasar di saluran primer D.I Maloso menggunakan software Hec-Ras menunjukkan bahwa angkutan sedimen selama periode satu bulan, pada hulu saluran mencapai total 14551 kg/bulan dengan ketebalan sedimen sebesar 0.0023 m. Pada bagian tengah saluran, total angkutan sedimen sebesar 35351 kg/bulan dengan ketebalan sedimen 0.0066 m, sedangkan di hilir, total angkutan sedimen mencapai 35791 kg/bulan dengan ketebalan sedimen 0.0067 m. Nilai ini menunjukkan adanya variasi transportasi sedimen di sepanjang saluran dengan kecenderungan peningkatan akumulasi sedimen di bagian hilir.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil penelitian ini, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengelolaan saluran irigasi D.I Maloso dan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

- a. Pemeliharaan Saluran

Perlu dilakukan pembersihan sedimen secara berkala, terutama di bagian

hilir, untuk menjaga kapasitas saluran agar tetap optimal. Pemantauan rutin terhadap perubahan morfologi dasar saluran perlu dilakukan untuk mencegah terjadinya pendangkalan yang signifikan.

b. Optimalisasi Model Hec-Ras

Untuk meningkatkan akurasi simulasi, disarankan untuk menggunakan data pengukuran kecepatan aliran dan karakteristik sedimen yang lebih detail. Penggunaan versi terbaru Hec-Ras dapat meningkatkan keakuratan dalam memprediksi pola angkutan sedimen.

c. Penelitian Lanjutan

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh debit musiman terhadap angkutan sedimen, terutama saat musim hujan yang berpotensi meningkatkan adanya angkutan sedimen dari sungai yang masuk ke saluran irigasi. Studi mengenai efektivitas struktur pengendalian sedimen, seperti check dam atau kantong lumpur, dapat mengurangi deposisi atau pengendapan sedimen di bagian hilir.

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan pengelolaan saluran irigasi D.I Maloso dapat lebih optimal dalam mengatasi permasalahan angkutan sedimen, sehingga fungsi irigasi dapat berjalan secara efisien dan berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, M. (2023). *PERENCANAAN PENINGKATAN JARINGAN IRIGASI PRIMER (MAKAWA. 5, 1–14.*  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK558907/>
- Andrian, I., & Pranoto, W. A. (2020). Analisis Angkutan Sedimen Dasar Sungai Cibeet Dengan Hec-Ras Dan Uji Laboratorium. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 3(1), 31. <https://doi.org/10.24912/jmts.v3i1.7050>
- Ariska, P. (2020). *Studi Koefisien Kekasaran Saluran Irigasi Kalaena Kiri Kecamatan Kalaena dengan Menggunakan Persamaan Manning.*
- Fatriza, R. (2023). *ANALISIS ANGKUTAN SEDIMEN TOTAL PADA SALURAN PEMBAWA EMBUNG RAWASARI DI KOTA TARAKAN MENGGUNAKAN HEC-RAS 6.0.* 4(1), 88–100.
- Hambali, R., & Apriayanti, Y. (2016). STUDI KARAKTERISTIK SEDIMEN DAN LAJU SEDIMENTASI SUNGAI DAENG – KABUPATEN BANGKA BARAT. *Jurnal Fropil*, 4(2), 165–174.
- Hanny Tangkudung. (2011). Pengukuran Kecepatan Aliran Dengan Menggunakan Pelampung Dan Current Meter. *Pengukuran Kecepatan Aliran Dengan Menggunakan Pelampung Dan Current Meter*, 28–31.
- Hermawan, & Afiato, E. (2021). Analisis Angkutan Sedimen Dasar (Bed Load) Pada Saluran Irigasi Mataram Yogyakarta. *Teknisia*, XXVI(1).  
<https://doi.org/10.20885/teknisia.vol26.iss1.art3>
- 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.  
<https://doi.org/10.32528/hgn.v3i2.2916>
- Juhana, E. A., Permana, S., & Farida, I. (2016). Analisis Kebutuhan Air Irigasi Pada Daerah Irigasi Bangbayang Uptd Sdap Leles Dinas Sumber Daya Air Dan Pertambangan Kabupaten Garut. *Jurnal Konstruksi*, 13(1), 1–28.  
<https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.13-1.285>
- Lemeneger, St. (2018). Sediment. *Veer Ecology*, 168–182.  
<https://doi.org/10.5749/j.ctt1pwt70r.15>
- Muhammad Yunus Ali, Nurjannah, S. (2019). Jurnal Teknik Hidro Kampili Kabupaten Gowa ISSN : 1979 9764 Jurnal Teknik Hidro Jaringan Irigasi. *Jurnal Teknik Hidro*, 12(1), 65–76.
- Nggule, H. R. (2017). Analisis Dimensi Saluran Pada Daerah Irigasi Mohiolo. *Jurnal Peradaban Sains, STITEK Bina Taruna Gorontalo*, 5(2), 230–244.
- Nugroho, F. A. (2010). *Pengendalian sedimentasi di saluran irigasi dengan penempatan benda apung.* 1–93.

- PU. (2016). KP 03 Kriteria Perencanaan Bagian Saluran. *Kementerian Pekerjaan Umum*, 1–23.
- PUPR. (2013). panduan buku perencanaan irigasi PUPR. *Standar Perencanaan Irigasi*.
- 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>
- Sidharta. (1997). Irigasi dan Bangunan Air. *Gunadarma*, January, 268.
- Siswanto, R., Kartini, & Herawati, H. (2021). Studi Karakteristik dan Laju Angkutan Sedimen Parit Langgar Desa Wajok Hilir Kecamatan Siantan Kabupaten Mempawah. *JeLAST: Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*, 8(1), 1–9.
- Siwamba, T. M., Nurhayati, & Nirmala, A. (2019). Angkutan Sedimen Layang pada Saluran Terbuka di Parit Tokaya Kota Pontianak. *JeLAST: Jurnal Teknik Kelautan, PWK, Sipil, Dan Tambang*, 5(3), 1–8.
- 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.
- Sudira, I. W., Mananoma, T., & Manalip, H. (2013). Analisis angkutan sedimen pada Sungai Mansahan. *Media Engineering*, 3(1), 54–57.  
<https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jime/article/view/4261>
- Suleman, A. R. (2015). Analisis Laju Sedimentasi Pada Saluran Irigasi Daerah Irigasi Sanrego Kecamatan Kahu Kabupaten Bone Provinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Pengembangan Teknik Sipil*, 20(2), 76–86.  
<https://jurnal.polines.ac.id/index.php/wahana/article/view/146>
- Sulkifli. (2023). *Analisis Ketersediaan Air Irigasi Untuk Kebutuhan Pertanian Masyarakat Desa Rantebone Kecamatan Sabbang*.
- Tantowi, D. A. (2019). *Kajian Sedimentasi Di Saluran Irigasi Sekunder Menggunakan Program Hec-Ras Versi 4.1*. 1(1), 1–7.
- Valencia, Z. G. (2017). *studi laju sedimentasi pada sungai bedadung menggunakan program HEC-RAS 5.0.5*.