

TUGAS AKHIR
PERUBAHAN ELEVASI DASAR SUNGAI PALU DI
RUAS KOTA PALU



Diajukan Kepada Universitas Tadulako untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh
Derajat Sarjana Strata Satu Teknik Sipil

Oleh :
Rizqita Humairah Tandju
STB. F 111 21 097

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
PALU 2025

TUGAS AKHIR
PERUBAHAN ELEVASI DASAR SUNGAI PALU DI
RUAS KOTA PALU



Diajukan Kepada Universitas Tadulako untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh
Derajat Sarjana Strata Satu Teknik Sipil

Oleh :

Rizqita Humairah Tandju

STB. F 111 21 097

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
PALU 2025

HALAMAN PENGESAHAN

PERUBAHAN ELEVASI DASAR SUNGAI PALU DI RUAS KOTA PALU

Yang dipersiapkan dan disusun oleh:

RIZQITA HUMAIRAH TANDJU

F11121097

SKRIPSI

Telah dipertahankan didepan Majelis Penguji dan dinyatakan diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Strata Satu (S1) Teknik Sipil

Pada tanggal 10 September 2025

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Tadulako,

Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Tadulako,



Ir. Andi Arham Adam, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 19740323 199903 1 002



Dr. Sriyati Ramadhani, S.T., M.T.
NIP. 19750925 200501 2 011

HALAMAN PERSETUJUAN

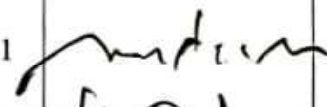
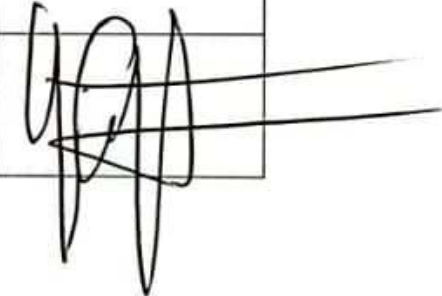
Panitia Ujian Tugas Akhir Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Tadulako yang ditetapkan berdasarkan SK Dekan Fakultas Teknik No. 15160/UN.28.6/DK/2025, Tanggal 20 Agustus 2025 menyatakan menyetujui Tugas Akhir yang telah dipertanggungjawabkan di hadapan Majelis Penguji pada Hari Rabu tanggal 10 September 2025 oleh:

Nama : Rizqita Humairah Tandju

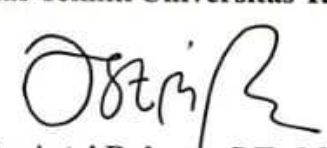
No. Stambuk : F 111 21 097

Judul : Perubahan Elevasi Dasar Sungai Palu Di Ruas Kota Palu

Dosen Pembimbing

No	Nama/NIP	Jabatan	Tanda Tangan
1	<u>Prof. Dr.Eng. Ir. Andi Rusdin, S.T., M.T.,M.Sc.</u> NIP. 19710303 199803 1 003	Pembimbing 1	
2	<u>Dr. Yassir Arafat, S.T.,M.T.</u> NIP. 19701231 200003 1 002	Pembimbing 2	

Palu, 2025
Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Tadulako


Dr. Astri Rahayu, S.T., M.T.
NIP. 19670705 196702 2 002

PERNYATAAN
ORISINALITAS LAPORAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rizqita Humairah Tandju

No. Stambuk : F 111 21 097

Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa laporan Tugas Akhir ini adalah benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan duplikasi dari orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar Pustaka. Apabila pada masa mendatang diketahui bahwa pernyataan ini tidak benar adanya, maka saya bersedia menerima sanksi yang diberikan dengan segala konsekuensinya.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Palu, 10 September 2025



Rizqita Humairah Tandju
Stb. F 111 21 097

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini yang berjudul:

“PERUBAHAN ELEVASI DASAR SUNGAI PALU DI RUAS KOTA PALU”

Adapun tujuan dari penyusunan Tugas Akhir ini guna memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Sipil Universitas Tadulako.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis menyadari banyak menjumpai kendala yang disebabkan keterbatasan pengetahuan, namun berkat bantuan, bimbingan dan kerja sama dari berbagai pihak serta berkah dari Allah SWT sehingga kesulitan yang dijumpai dapat penulis lewati.

Pada kesempatan kali ini, penulis juga mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada Bapak prof. Dr.Eng. Ir. Andi Rusdin,S.T.,M.T.,M.Sc. selaku pembimbing satu dan Bapak Dr. Yassir Arafat, ST., MT., selaku pembimbing kedua. Untuk para pembimbing yang telah meluangkan waktu, perhatian dan kesabaran dalam memberi arahan, petunjuk, motivasi dan saran-saran yang sangat berharga kepada penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.

Ucapan terima kasih dan penghargaan penulis sampaikan pula kepada yang terhormat:

1. Ibu Dr. Sriyati Ramadhani, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
2. Ibu Dr. Astri Rahayu, ST., MT., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
3. Bapak Dr. Yassir Arafat, ST., MT., selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian (KDK) Keairan Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
4. Bapak Prof. Dr. I Gede Tunas, ST., MT., Bapak Dr. Alifi Yunar, ST. MT., dan Ibu Siti Rahmi Oktavia, S.T., M.Eng, Selaku tim penguji yang telah memberikan kritikan dan saran demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

5. Bapak Dr. Alifi Yunar, ST. MT., selaku Dosen Wali yang telah memberikan banyak nasehat dan arahan selama melaksanakan studi di Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
6. Bapak dan Ibu Dosen di Fakultas Teknik Universitas Tadulako, khususnya Bapak dan Ibu Dosen di Jurusan Teknik Sipil yang telah berkenan mendidik dan mengajar penulis selama melaksanakan studi di Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
7. Ibu Dosen Sri Warliawati, S.T.,M.T. yang senantiasa mengarahkan dan membersamai seluruh proses penyusunan Tugas Akhir ini serta selalu memberikan perhatian dan dukungan yang besar kepada mahasiswa.
8. Orang tua tercinta, Bapak Dr. Mohamad Ichwan Tandju S.E.,M.Kes. dan Ibu Dahlia Yusuf, S.E.,M.Pwp yang telah mendoakan tanpa putus, memberikan dukungan yang sangat besar, memberikan motivasi dan nasehat kepada penulis selama kuliah dan dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
9. Kakak saya Indah Nur Alifa Tandju, S.T. dan Firmansyah Tandju, S.Ak. yang senantiasa memberikan semangat, masukan dan arahan kepada penulis juga menemani perjalanan penulis dan senantiasa ikhlas untuk direpotkan selama penulis berkuliah serta adik Izul yang selalu menjadi pendengar terbaik untuk penulis.
10. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Sipil Angkatan 2021 Universitas Tadulako, khususnya grup mekflu (Akridah, Erika Rahmania dan Ni Kadek Martina Dewi) yang turut serta saling membantu dari awal perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir.
11. Rekan-rekan Penelitian Sungai Palu (Raden Dodi dan Wisnu Candra) yang senantiasa bersama-sama dan memberikan semangat kepada satu sama lain selama masa penelitian, pengambilan sampel, pengujian lab, proses bimbingan dan olah data, hingga proses penyusunan Tugas Akhir.
12. Rekan-rekan JHS *Club* (Ine, Putri, Nabil, Wulan, Dila, Nayah, Fia dan Lala) yang selalu menjadi pendengar yang baik, memberi masukan dan membantu meningkatkan semangat penulis selama masa studi.

13. Rekan-rekan Tebar Karya (Ine, Nisa, Ain, Pas, Afif, Ghaidah, Intan, Dhea dan Sabrina) yang selalu hadir menemani serta memberikan motivasi di saat penulis kesulitan.

14. Rekan-rekan dan senior HMTS FT-UNTAD yang selalu memotivasi penulis dan memberikan kesempatan kepada penulis untuk semakin berkembang dan mengasah kemampuan penulis serta membantu penulis dalam memperluas relasi.

Akhir kata, penulis menyadari dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan, untuk itu penulis harapan saran dan kritikan yang bersifat mendidik serta dukungan yang membangun, senantiasa penulis terima dengan lapang dada.

Palu, 10 September 2025

Penulis,

Rizqita Humairah Tandju

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan elevasi dasar Sungai Palu pada ruas Kota Palu yang disebabkan oleh proses sedimentasi dengan menggunakan pemodelan hidraulika HEC-RAS. Pengumpulan data mencakup pengukuran debit harian, pengambilan sampel sedimen dasar dan angkutan sedimen, survei geometri sungai serta data pasang surut wilayah Teluk Palu. Simulasi dilakukan untuk periode November 2024 hingga April 2025. Simulasi transpor sedimen dilakukan pada HEC-RAS menggunakan fungsi transpor dan metode kecepatan jatuh Tofaletti serta metode sortir Thomas (Exner5). Hasil pemodelan menunjukkan adanya perubahan elevasi dasar sungai berupa aggradasi dan degradasi. Sebanyak 30 dari 44 patok mengalami kenaikan elevasi dasar (aggradasi) dengan total volume 6405,67 m³, sedangkan 14 patok mengalami penurunan (degradasi) dengan volume 2604,61 m³. Verifikasi hasil simulasi dengan data pengukuran menunjukkan nilai kesalahan prediksi < 30% berdasarkan metode MAE, sehingga hasil simulasi dianggap cukup representatif. Penelitian ini memberikan informasi untuk perencanaan pengelolaan sungai dan mitigasi banjir pada wilayah padat penduduk di sepanjang Sungai Palu bagian hilir.

Kata kunci: Sungai Palu, sedimentasi, perubahan morfologi, elevasi dasar sungai, HEC-RAS, pengelolaan sungai.

ABSTRACT

This study aims to analyze changes in the base elevation of the Palu River in the Palu City section caused by sedimentation processes using HEC-RAS hydraulic modeling. Data collection includes daily discharge measurements, sampling of bottom sediments and sediment transport, river geometry surveys, and tidal data for the Palu Bay area. Simulations were conducted for the period from November 2024 to April 2025. Sediment transport simulations were performed in HEC-RAS using the transport function and Tofaletti's fall velocity method, as well as the Thomas sorting method (Exner5). The modeling results indicate changes in riverbed elevation in the form of aggradation and degradation. Thirty out of 44 markers experienced an increase in riverbed elevation (aggradation) with a total volume of 6,405.67 m³, while 14 markers experienced a decrease (degradation) with a volume of 2,604.61 m³. Verification of simulation results with measurement data showed a prediction error of <30% based on the MAE method, so the simulation results are considered sufficiently representative. This study provides information for river management planning and flood mitigation in densely populated areas along the lower reaches of the Palu River.

Keywords: Palu River, sedimentation, morphological changes, riverbed elevation, HEC-RAS, river management.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS TUGAS AKHIR.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
1.1 Latar Belakang.....	I-1
1.2 Rumusan Masalah.....	I-2
1.3 Batasan Masalah	I-2
1.4 Tujuan Penelitian	I-3
1.5 Manfaat Penelitian	I-3
BAB II LANDASAN TEORI DAN STUDI PUSTAKA.....	II-1
2.1 Kajian Pustaka.....	II-1
2.1.1 Sungai.....	II-1
2.1.2 Bentuk Dasar Sungai.....	II-8
2.1.3 Sedimentasi	II-10
2.1.4 Analisa Karakteristik Aliran	II-12
2.1.5 HEC-RAS.....	II-17
2.1.6 Evaluasi Akurasi Model Prediksi.....	II-20
BAB III METODE PENELITIAN	III-1
3.1 Lokasi dan Waktu	III-1
3.2 Jenis Penelitian dan Sumber Data.....	III-2
3.3 Alat dan Bahan Survey	III-3
3.4 Metode Pengambilan Data.....	III-3

3.4.1 Tinggi Muka Air.....	III-3
3.4.2 Kecepatan Aliran.....	III-4
3.4.3 Sedimen Dasar	III-4
3.4.4 Transpor Sedimen	III-4
3.5 Metode Analisis Data.....	III-5
3.6 Flowcart Penelitian	III-7
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	IV-1
4.1 Analisis Data.....	IV-1
4.1.1 Peta Topografi Sungai	IV-1
4.1.2 Data Debit Air Sungai	IV-1
4.1.3 Data Pasang Surut	IV-4
4.1.4 Data Ukuran Sedimen	IV-5
4.1.5 Data Angkutan Sedimen.....	IV-6
4.2 Pemodelan Menggunakan HEC-RAS 6.6.....	IV-7
4.2.1 Peniruan Geometri Sungai/ <i>Model Setting</i>	IV-8
4.2.2 Input Data Quasy Unsteady Flow	IV-11
4.2.3 Input Data Sedimen.....	IV-13
4.2.4 Simulasi Transport Sedimen	IV-17
4.3 Hasil Simulasi Analisis Transpor Sedimen.....	IV-19
4.3.1 Perubahan Elevasi Dasar Sungai.....	IV-20
4.3.2 Analisis Tingkat Keakuratan Model.....	IV-31
4.3.3 Besar Nilai Agradasi dan Degradasi Yang Terjadi	IV-33
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	V-1
5.1 Kesimpulan	V-1
5.2 Saran	V-1
DAFTAR PUSTAKA.....	DP-1
Lampiran.....	L-1

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Ukuran Butiran Berdasarkan AGU	II-10
Tabel 4. 1 Luas Penampang Basah Sungai Pada Lokasi Jembatan Gantung.	IV-2
Tabel 4. 2 Pengukuran Kecepatan	IV-3
Tabel 4. 3 Hasil Analisa Saringan Sedimen	IV-5
Tabel 4. 4 Hasil Pengukuran Transpor Sedimen Sungai Palu.....	IV-6
Tabel 4. 5 Potongan Melintang Sungai Palu Patok 1	IV-10
Tabel 4. 6 Karakteristik Masing-Masing Rumus Sedimen Transpor	IV-15
Tabel 4. 7 Perubahan Elevasi RS 42 Per Bulan Pada HEC-RAS.....	IV-21
Tabel 4. 8 Perubahan Elevasi Melintang Sungai Segmen Jembatan Gantung	IV-22
Tabel 4. 9 Perubahan Elevasi RS 23 Hasil Simulasi HEC-RAS	IV-23
Tabel 4. 10 Perubahan Elevasi Penampang Melintang Segmen Jembatan 1 Palu	IV-25
Tabel 4. 11 Perubahan Elevasi RS 11 Hasil Simulasi HEC-RAS	IV-26
Tabel 4. 12 Perubahan Elevasi Penampang Melintang Pada Segmen Jembatan 3	IV-28
Tabel 4. 13 Analisis Perubahan Elevasi Setelah Simulasi HEC-RAS	IV-29
Tabel 4. 14 Perhitungan MAE RS 42 (Jembatan Gantung Maesa-Nunu).....	IV-32
Tabel 4. 15 Perhitungan MAE RS 23 (Jembatan Palu 1)	IV-32
Tabel 4. 16 Perhitungan MAE RS 11 (Jembatan Palu 3)	IV-32
Tabel 4. 17 Hasil Analisis HEC-RAS Volume Perubahan Dasar Saluran	IV-33

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pola Aliran Sungai	II-2
Gambar 2.2 Tipe bentuk Morfologi Sungai.....	II-3
Gambar 2.3 Tipe Morfologi Sungai berdasarkan Leopold.....	II-4
Gambar 2.4 Klasifikasi Aliran Pada Saluran Terbuka.....	II-5
Gambar 2.5 Aliran Seragam (a) dan Aliran Berubah (b).....	II-6
Gambar 2.6 Tipe-Tipe Bed Forms Berdasarkan Simons dan Richardson.....	II-9
Gambar 2.7 Skema Transpor Sedimen	II-11
Gambar 2.8 Alat Pengukur Kecepatan (Current Meter).....	II-13
Gambar 2.9 Bak Ukur.....	II-13
Gambar 2.10 Ilustrasi Pengukuran Penampang Melintang Sungai	II-14
Gambar 2. 11 Komponen Penurunan Persamaan Kontinuitas dan Momentum	II-18
Gambar 2.12 Contoh Metode Veneer.....	II-20
Gambar 3. 1 Das dan Topografi Sungai Palu Bagian Tinjauan	III-2
Gambar 3. 2 Alat Sediment Grab	III-4
Gambar 3. 3 Alat Pengambil Sedimen Transpor Tipe Helley Smith	III-5
Gambar 3. 4 Profil Melintang Sungai.....	III-5
Gambar 3. 5 Grafik Hidrograf Tinggi Muka Air.....	III-6
Gambar 4. 1 Potongan Melintang Sungai Jembatan Gantung Maesa-Lalove	IV-2
Gambar 4. 2 Grafik Hubungan Antara Tinggi Muka Air	IV-3
Gambar 4. 3 Hidrograf Debit Aliran Harian.....	IV-4
Gambar 4. 4 Grafik Gradasi Ukuran Butiran.....	IV-5
Gambar 4. 5 Grafik Hubungan Tinggi Muka Air dan Debit Sedimen Dasar	IV-7
Gambar 4. 6 Hidrograf Debit Sedimen Dasar Sungai Palu	IV-7
Gambar 4. 7 Layar Editor Koordinat Geometri Sungai.....	IV-9
Gambar 4. 8 Layar Editor Tampilan Geometri Hasil Input-an.....	IV-9
Gambar 4. 9 Layar Editor Tampang Melintang.....	IV-11
Gambar 4. 11 Layar Editor Syarat Batas Hulu Aliran dan Hidrograf Data.....	IV-12

Gambar 4. 12	Layar Editor Pengaturan Syarat Batas Hilir Aliran	IV-13
Gambar 4. 13	Layar Editor Gradasi Dasar Sungai	IV-14
Gambar 4. 14	Layar Editor Data Sedimen.....	IV-16
Gambar 4. 15	Layar Editor Sediment Load Series	IV-17
Gambar 4. 16	Layar Editor Analisis Sedimen Transpor.....	IV-18
Gambar 4. 17	Layar Menampilkan Komputasi Selesai	IV-18
Gambar 4. 18	Profil Aliran Sungai Palu 1 November 2024	IV-19
Gambar 4. 19	Profil Aliran Sungai Palu 30 April 2025	IV-19
Gambar 4. 20	Perubahan Profil Melintang Sungai Palu Pada Patok 42.....	IV-20
Gambar 4. 21	Grafik Pengukuran Profil Melintang Segmen Jembatan Gantung.....	IV-22
Gambar 4. 22	Perubahan Profil Melintang Sungai Palu Pada Patok 23	IV-23
Gambar 4. 23	Grafik Pengukuran Profil Melintang Sungai Palu Jembatan 1	IV-24
Gambar 4. 24	Perubahan Profil Melintang Sungai Palu Pada Patok 11	IV-26
Gambar 4. 25	Grafik Pengukuran Profil Melintang Sungai Palu Jembatan 3	IV-27
Gambar 4. 26	Profil Sediment Spasial Plot	IV-28

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai merupakan jaringan pengaliran air dari mata air hingga ke muara yang membentuk alur dengan dibatasi sempadan pada sisi kanan dan kirinya. Secara alami, sungai mengalirkan air dan mengangkut material yang tergerus saat dilewati oleh aliran air sungai. Pada alur sungai sering terdapat area pengendapan material tanah yang berasal dari gerusan air sungai yang terbawa melalui aliran sungai. Proses pengendapan material tersebut dikenal dengan peristiwa sedimentasi.

Proses sedimentasi pada sungai meliputi proses erosi, transportasi, pengendapan dan pemadatan dari sedimentasi itu sendiri (Soewarno, 1991). Besarnya volume angkutan sedimen disebabkan oleh kondisi karakteristik tanah dan bentuk topografi wilayah. Material tanah dengan didominasi oleh agregat halus akan mudah terbawa melalui media air. Selain itu, perbedaan elevasi yang tinggi antara wilayah hulu dan hilir sungai menciptakan aliran air berkecepatan besar yang mampu menggerus material tanah pada segmen sungai tertentu dan menyebabkan sedimentasi pada segmen hilir sungai karena aliran sungai pada area hilir akan melambat. Peristiwa sedimentasi yang terjadi terus menerus akan menyebabkan pendangkalan sungai dan berakibat pada berkurangnya daya tampung sungai.

Peristiwa sedimentasi dapat dijumpai pada hilir Sungai Palu, Kota Palu, Sulawesi Tengah. Sungai Palu memiliki luas wilayah DAS 3,070 km² dan bermuara di Teluk Palu. Sedimentasi yang terjadi pada wilayah hilir Sungai Palu menyebabkan perubahan elevasi dasar sungai, berdasarkan Wiranata (2024) meluapnya air sungai ketika musim hujan menyebabkan beberapa kelurahan di hilir Sungai Palu mengalami banjir. Area di sekitar sungai palu merupakan area padat penduduk sehingga saat air sungai meninggi dan limpasan air dari area pemukiman tidak lagi dapat masuk ke sungai, area

pemukiman sekitar Sungai Palu tersebut akan digenangi oleh air dan mengganggu aktifitas masyarakat.

Penelitian ini dibuat untuk mengetahui perubahan morfologi Sungai Palu pada ruas Kota Palu akibat sedimentasi dengan memodelkan pada HEC-RAS (*Hydrolic Engineering Center*). Data yang digunakan adalah sedimen dasar, debit harian, serta geometri sungai.

Berdasarkan latar belakang tersebut mengarahkan penulis pada suatu penelitian tentang: “Perubahan Elevasi Dasar Sungai Palu di Ruas Kota Palu”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana perubahan elevasi dasar Sungai Palu pada ruas Kota Palu terhadap sedimentasi melalui HEC-RAS?
- b. Berapa besar aggradasi dan degradasi yang terjadi di Sungai Palu ruas Kota Palu?

1.3 Batasan Masalah

Agar memudahkan dalam proses analisis dan pembahasan masalah dalam penelitian ini penulis membatasi lingkup penelitian yaitu:

- a. Pengukuran di lapangan terbatas pada titik atau ruas yang dipilih dengan mempertimbangkan keadaan di lapangan dan tingkat kesulitannya.
- b. Lokasi penelitian dibatasi dari Jembatan Gantung Maesa-Nunu sampai Jembatan Palu 3.
- c. Pengukuran debit dilakukan selama 6 bulan.
- d. Pemodelan morfologi sungai dan simulasi dilakukan melalui perangkat HEC-RAS 6.6.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Untuk mengetahui perubahan elevasi dasar Sungai Palu ruas Kota Palu terhadap material sedimentasi melalui HEC-RAS 6.6.
- b. Untuk mengetahui volume aggradasi dan degradasi yang terjadi di Sungai Palu ruas Kota Palu.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada berbagai pihak termasuk dalam penerapan ilmu pengetahuan. Manfaat penelitian ini adalah:

- a. Hasil dari penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terutama di bidang hidrolika yang berkaitan dengan perubahan dasar sungai.
- b. Sebagai salah satu bahan untuk evaluasi sedimentasi di Sungai Palu.
- c. Sebagai salah satu sumber informasi untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.

BAB II

LANDASAN TEORI DAN STUDI PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

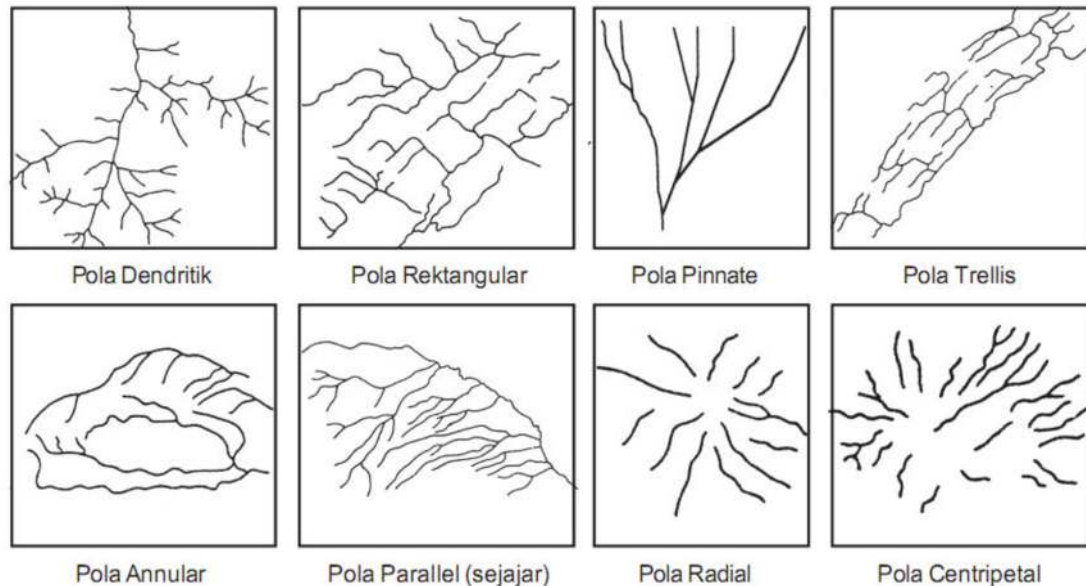
2.1.1 Sungai

Sungai merupakan kumpulan air limpasan ataupun air tanah yang mengalir dari tempat tinggi ke tempat rendah hingga bermuara di laut. Aliran air yang ada secara alamiah akan terjadi dalam jangka waktu panjang sehingga memperdalam dan memperlebar permukaan tanah yang dilaluinya hingga membentuk alur sungai. Menurut Suyono & Masateru (1984), Sebagian air hujan akan melimpas dan mengalir ke tempat lebih rendah karena dipengaruhi gaya berat kemudian melimpah ke danau atau ke laut. Alur panjang yang terbentuk di atas permukaan bumi tempat mengalirnya air disebut alur sungai. Perpaduan antara alur sungai dan aliran air di dalamnya disebut sungai. Dalam perjalanannya dari hulu menuju hilir, aliran sungai berangsur-angsur akan berpadu dengan aliran dari sungai lainnya. Perpaduan tersebut akan membuat tubuh sungai semakin membesar.

Menurut Suyono & Masateru (1984) suatu sungai dapat dibagi menjadi 3 bagian yaitu: 1) bagian hulu sungai yang merupakan daerah sumber erosi karena pada umumnya alur sungai pada bagian hulu akan mengalir melalui pegunungan, bukit atau lereng yang mempunyai kemiringan cukup curam dan beda elevasi yang tinggi dari muka air laut. Hal tersebut juga menciptakan aliran air sungai yang besar; 2) bagian tengah sungai yang merupakan daerah peralihan dari bagian hulu dan hilir. Kemiringan dasar sungai lebih landai dari bagian hulu sehingga kecepatan alirannya relative lebih kecil dibandingkan pada hulu sungai; 3) bagian hilir sungai yang merupakan daerah dengan kemiringan dasar sungai yang lebih landai dibandingkan pada bagian tengah sungai sehingga aliran air sungainya lambat. Keadaan ini sangat memudahkan terbentuknya pengendapan atau sedimen.

Pola alur sungai sangat bervariasi. Adanya perbedaan pola alur sungai antara wilayah ditentukan oleh perbedaan kemiringan dan struktur batuan dasar. Pola alur

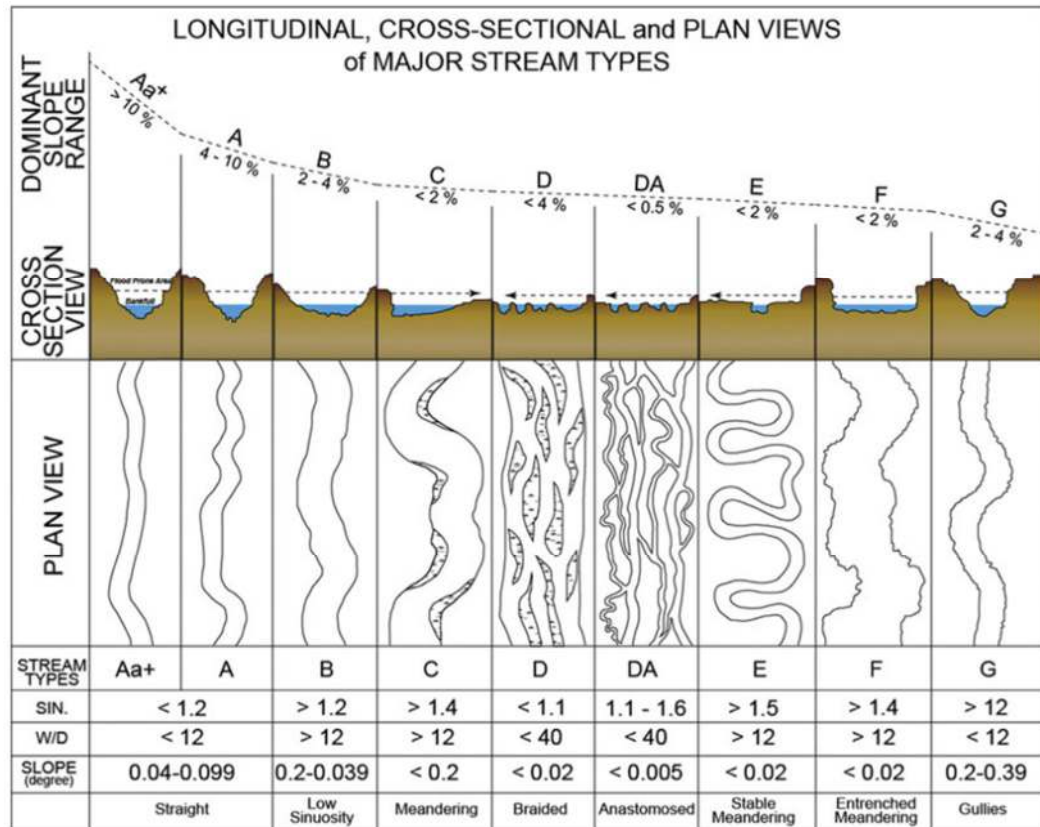
sungai yang umum ditemui adalah pola dendritik, radial, rektangular, trellis, anular, dan parallel (Triatmodjo, 2003). Menurut sumber aliran airnya, sungai dibedakan menjadi sungai permanen dan musiman.



Gambar 2.1 Pola Aliran Sungai
Sumber: Zuidam (1985)

a) Morfologi Sungai

Morfologi sungai adalah ukuran dan bentuk sungai yang merupakan hasil dari reaksi terhadap perubahan kondisi hidraulik alirannya (Kurniawan et al., 2017). Dalam menentukan morfologi suatu sungai diperlukan data-data geometri sungai mencakup lebar sungai, kedalaman sungai, penampang sungai, kemiringan dasar sungai dan koordinat lokasi sungai. Berikut adalah tipe-tipe morfologi sungai (Rosgen, 2003).



Gambar 2.2 Tipe bentuk Morfologi Sungai
Sumber: Applied River Morphology Rosgen, 2003.

Menurut Schumm (1977), tipe morfologi sungai terbagi menjadi sebagai berikut:

i. Sungai Lurus (*Straight*)

Sungai lurus memiliki kemiringan dasar yang relatif besar, mengangkut sedikit sedimen, dan tampang sungai yang relatif kecil.

ii. Sungai Bercabang-Cabang (*Braided*)

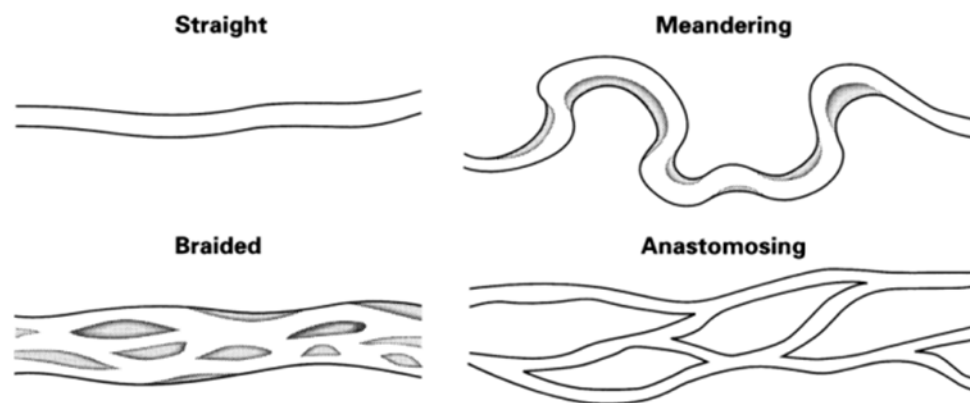
Sungai bercabang terjadi pada daerah dengan kemiringan yang tidak terlalu besar dan mengangkut banyak sedimen di alirannya. Sedimen yang tinggi di jenis sungai ini menyebabkan pengendapan banyak terjadi dan merintang aliran sungai. Karena energi dari arusnya lemah maka aliran sungai akan bercabang saat menemui endapan sedimen.

iii. Sungai *Anastomosing*.

Tipe ini terbentuk karena adanya dua aliran yang bercabang-cabang, dimana percabangan aliran bertemu dan menyatu dengan percabangan aliran lainnya.

iv. Sungai Berkelok (*Meandering*)

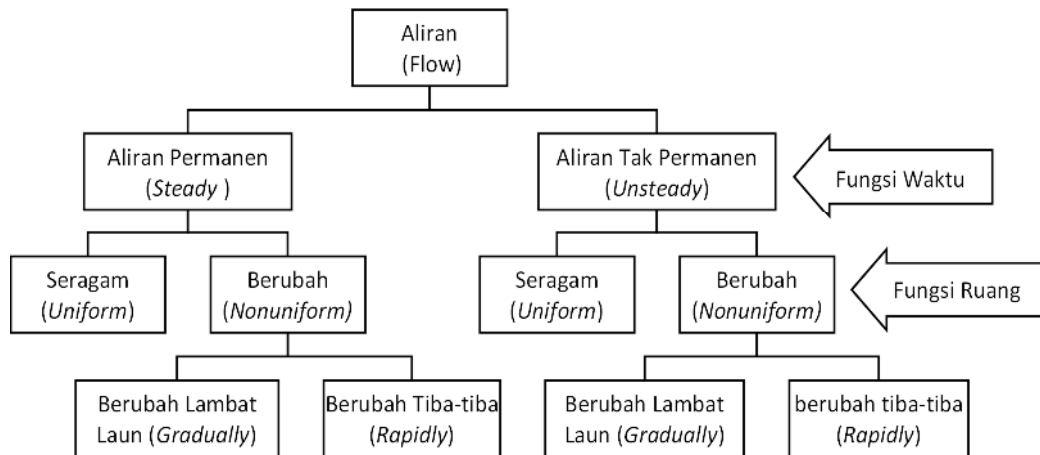
Pada tipe ini ditandai dengan adanya belokan-belokan sehingga alur sungai menyerupai huruf “S”. Sungai dengan tipe ini terbentuk karena pergerakan menyamping akibat dari arus sungai yang berubah mengikuti bentuk lengkungan. Lekukan alur sungai bagian dalam akan mengalami sedimentasi dan arus sungai akan menggerus lekukan bagian luar, perlahan aliran sungai akan berkelok membentuk huruf “S”.



Gambar 2.3 Tipe Morfologi Sungai berdasarkan Leopold
Sumber: The Fluvial System Schumm, 1977

b) Kriteria aliran sungai

Aliran pada saluran terbuka (sungai) dapat diklasifikasikan menjadi berbagai tipe tergantung kriteria yang digunakan. Berdasarkan perubahan kedalaman atau kecepatan mengikuti fungsi waktu, maka aliran dibedakan menjadi permanen (*steady*) dan tidak permanen (*unsteady*). Berdasarkan fungsi ruang, maka aliran dibedakan menjadi aliran seragam (*uniform*) dan tidak seragam (*nonuniform*). klasifikasi aliran pada saluran terbuka tersusun sebagai berikut.



Gambar 2.4 Klasifikasi Aliran Pada Saluran Terbuka

Sumber: Hidraulika II Triatmodjo, 2003

Dari gambar 2.4 diketahui bahwa aliran tidak seragam dapat terbagi berdasarkan laju perubahan kecepatan terhadap jarak, menjadi aliran berubah lambat laun (*gradually varied flow*) dan aliran berubah tiba-tiba (*rapidly varied flow*).

Kriteria aliran menurut waktu dapat dibagi dalam:

i. Aliran Permanen (*Steady Flow*)

Aliran ini terjadi apabila karakteristik aliran berupa kedalaman atau kecepatan aliran tidak mengalami perubahan atau konstan dalam kurun waktu tinjauan.

ii. Aliran Non Permanen (*Unsteady Flow*)

Jenis aliran ini terjadi apabila kedalaman atau kecepatan aliran mengalami perubahan dalam kurun waktu tinjauan.

Sedangkan kriteria aliran menurut ruang terbagi menjadi:

i. Aliran Seragam (*Uniform Flow*)

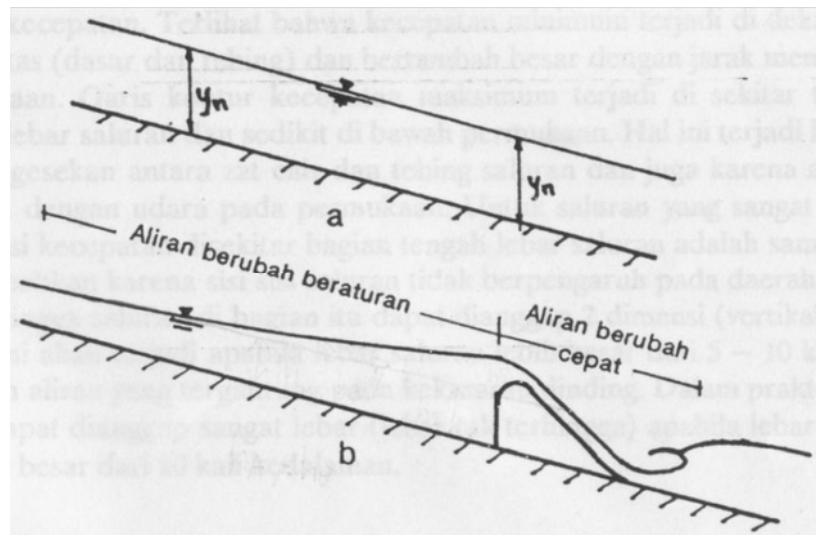
Aliran seragam terjadi apabila variabel aliran mencakup kedalaman, tampang basah, kecepatan, dan debit pada setiap tampang sepanjang aliran adalah konstan. Pada aliran ini, terjadi kesejajaran garis energi, garis muka air, dan dasar saluran

sehingga kemiringan dari garis tersebut adalah sama. Kedalaman air pada aliran seragam disebut dengan kedalaman normal (y_n). Contoh aliran seragam adalah aliran yang melalui saluran irigasi yang sangat panjang dan tidak terjadi perubahan penampang.

ii. Aliran Tidak Seragam (*Nonuniform Flow*)

Aliran menjadi tidak seragam atau berubah apabila variabel aliran berupa kedalaman, tampang basah, kecepatan disepanjang saluran tidak konstan. Pada aliran ini, garis tenaga tidak sejajar disepanjang garis muka air dan dasar saluran. Contoh aliran tidak seragam adalah aliran yang melalui sungai atau saluran irigasi dekat bangunan bendung.

Apabila perubahan aliran terjadi pada jarak yang pendek maka disebut aliran berubah cepat. Jika perubahan aliran terjadi pada jarak yang panjang disebut aliran berubah beraturan.



Gambar 2.5 Aliran Seragam (a) dan Aliran Berubah (b)

Sumber: Hidraulika II Triatmodjo, 2003

c) Tipe Aliran (Bilangan Froude)

Menurut Chow (1959), pengaruh gravitasi terhadap kondisi aliran direpresentasikan oleh rasio gaya inersia terhadap gaya gravitasi. Perbandingan gaya inersia dengan gravitasi pada aliran disebut bilangan Froude. Terdapat tiga macam aliran berdasarkan bilangan Froude, sebagai berikut :

i. Aliran Sub Kritis

Aliran dikatakan sub kritis apabila lebih besar dari pada gaya inersia, sehingga air akan mengalir dengan kecepatan rendah.

Pada aliran sub kritis $V < \sqrt{gh}$ dan $Fr < 1$. Dalam mekanisme gelombang $\sqrt{gh}$ dapat disamakan dengan kecepatan perambatan gelombang dangkal.

ii. Aliran Super Kritis

Aliran dikatakan super kritis apabila gaya berat sangat lemah bila dibandingkan dengan gaya inersia, sehingga air akan mengalir dengan kecepatan tinggi. Pada aliran super kritis $V > \sqrt{gh}$ dan $Fr > 1$

iii. Aliran Kritis

Antara keadaan sub kritis dan super kritis terdapat keadaan kritis. Pada aliran kritis $V = \sqrt{gh}$ dan $Fr = 1$

d) Sifat Aliran (Bilangan Reynolds)

Keadaan aliran di saluran dipengaruhi oleh kekentalan dan gaya berat yang berhubungan dengan gaya inersia dari aliran. Berdasarkan pengaruh kekentalan inersia, aliran dapat merupakan aliran laminar, turbulen dan aliran peralihan. Ketiganya dipengaruhi oleh bilangan Reynolds yang merupakan fungsi dari kecepatan (V), jari-jari hidrolik (R) dan kekentalan kinematik (ν). Perbandingan dari gaya inersia terhadap gaya kekentalan kinematik (viscositas kinematik) per satuan waktu dikenal sebagai bilangan Reynolds.

Aliran dikatakan laminar apabila tahanan antara lapisan-lapisan zat cair lebih besar jika dibandingkan dengan gaya inersia, sehingga kekentalan lebih

menentukan sifat aliran. Pada keadaan ini garis arus tampak lurus karena butir-butir air bergerak secara teratur menurut garis arus.

Aliran disebut tubulen apabila tahanan antara lapisan-lapisan zat cair sangat lemah dibandingkan gaya inersia. Pada keadaan ini garis arus tampak bergelombang karena butir-butir air bergerak secara teratur. Antara aliran laminar dan turbulent terhadap keadaan campuran yang disebut keadaan peralihan.

Klasifikasi aliran berdasarkan bilangan Reynolds yang dilakukan oleh Darcy pada aliran dalam pipa dapat dibedakan menjadi tiga kategori seperti berikut ini:

$Re < 500$ Aliran Laminar.

$500 < Re < 12.500$ Aliran Transisi.

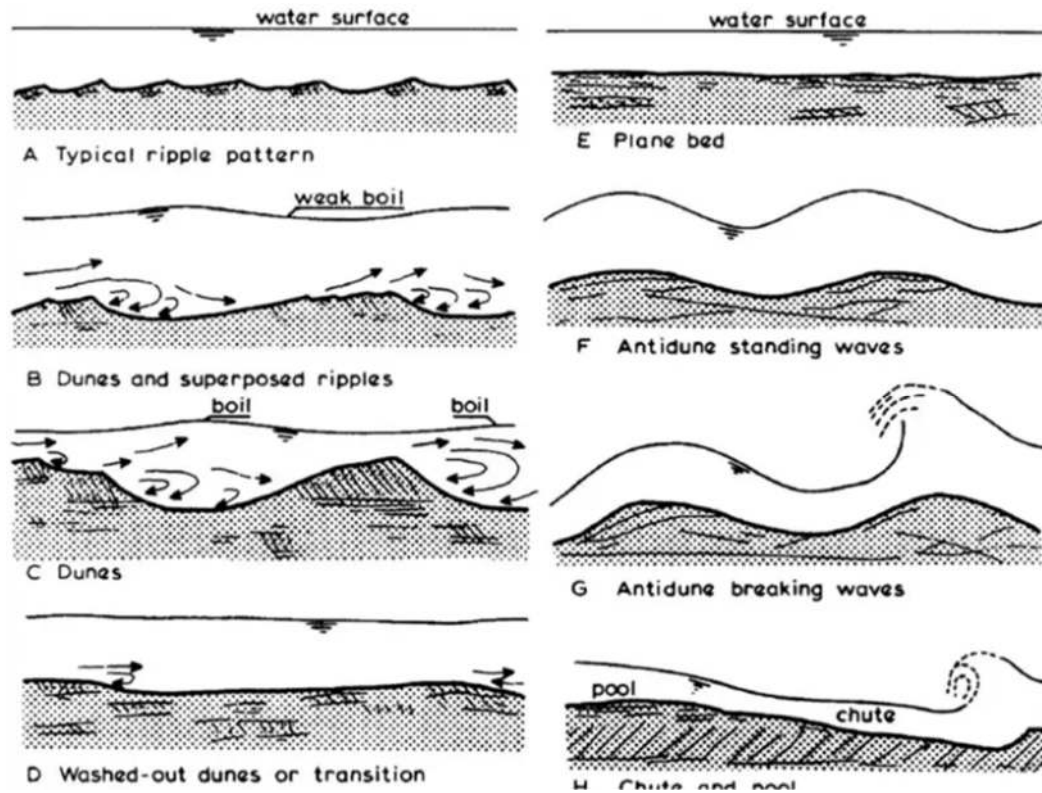
$Re > 12.500$ Aliran Turbulen.

Umumnya tipe aliran pada saluran terbuka merupakan turbulen karena kecepatan aliran dan kekasaran dinding relatif besar (Triatmodjo, 2003). Pada saluran terbuka digunakan kondisi aliran yang sama dan menyerupai persamaan seperti aliran pipa di atas (Chow, V.T., 1959).

2.1.2 Bentuk Dasar Sungai

a) Konfigurasi Dasar Sungai

Transpor sedimen di dasar sungai akan membentuk konfigurasi dasar sungai (*sediment transport body*). Bentuk-bentuk transpor body tersebut memiliki karakteristik mikrostruktur dan mesostruktur atau makrostruktur. Konfigurasi mikrostruktur umumnya terjadi dari *riffle*, *dune*, *plane bed*, *antidune* disamping juga ada *amour layer*. Sedangkan mesostruktur atau makrostruktur terdiri dari gosong pasir atau (*bar*), atau *large dune*, pulau (*island*) dan meander. Sebagai karakteristik universal dari *transport body* adalah bahwa semua bentuk mengikuti prinsip energi minimal, dimana semua bentuk struktur dan konfigurasi mengarah pada bentuk dan konfigurasi yang memiliki resistensi terhadap aliran air.



Gambar 2.6 Tipe-Tipe Bed Forms Berdasarkan Simons dan Richardson
 Sumber: *Hydraulics of Sediment Transport* Graf, 1984

b) Konfigurasi Material Dasar Sungai

Material sedimen yang tidak mampu atau sementara tidak terbawa oleh aliran air akan terendapkan di dasar sungai. Material yang mengendap di dasar sungai disebut material dasar sungai (*bed material*). Butir material dasar dari hulu sampai hilir sungai mengalami perubahan secara bertahap. Butiran pada bagian hulu sungai akan cenderung berukuran besar sedangkan ukuran butir material dasar pada bagian hilir akan semakin kecil (Soewarno, 1991). Klasifikasi ukuran butiran menurut AGU (*American Geophysical Union*) yang diusulkan oleh *The Subcommittee on Sediment Terminology* adalah sebagai berikut

Tabel 2.1 Klasifikasi Ukuran Butiran Berdasarkan AGU

Interval/Range (mm)	Nama	Interval/Range (mm)	Nama
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	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 Silt</i>)
32 – 16	Kerikil kasar (<i>Coarse Gravel</i>)	1/256 – 1/512	Lempung kasar (<i>Coarse 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>)	-	Koloid
1 – 1/2	Pasir kasar (<i>Coarse Sand</i>)	-	-

Sumber : *America Geophysical Union*, 1947

2.1.3 Sedimentasi

Sedimen adalah pecahan batu, mineral, atau material organik yang ditransportasikan dari berbagai sumber dan diendapkan oleh media udara, angin, es atau air, juga termasuk di dalamnya material melayang yang mengendap (Pipkin, 1977). Sedimen umumnya mengendap dibagian bawah kaki bukit, di saluran air, sungai

dan waduk. Pada daerah daerah pengaliran, sedimen merupakan material hasil erosi yang dibawa oleh aliran air sungai dari daerah hulu kemudian mengendap secara bertahap hingga mencapai daerah hilir sungai.

a) Jenis Transpor Sedimen

Sedimen yang terbawa hanyut oleh aliran air dapat dibedakan menjadi muatan dasar (*bed load*), muatan melayang (*suspended load*), dan *wash load*.

i. Muatan Dasar (*Bed Load*)

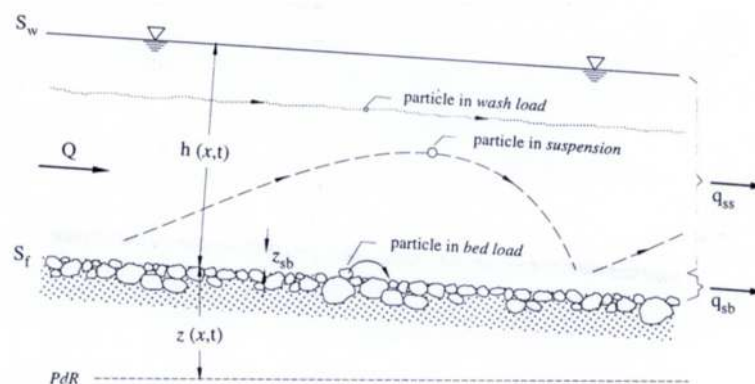
Bed Load adalah gerak butir sedimen yang selalu berada di dekat dasar saluran atau sungai. Butir sedimen bergerak dengan cara bergeser, meluncur, mengguling, atau dengan lompatan pendek. Transpor dengan cara ini umumnya terjadi pada butir sedimen yang berukuran relatif besar.

ii. Muatan Melayang (*Suspended Load*)

Suspended load adalah material dasar sungai yang melayang di dalam aliran yang terdiri dari butir pasir halus yang senantiasa melayang di atas dasar sungai, karena selalu didorong oleh turbulensi aliran. Gerak butir sedimen ini hanya sesekali bersinggungan dengan dasar sungai atau saluran.

iii. *Wash Load*

Wash load merupakan gerak butir sedimen yang hampir tidak pernah bersinggungan dengan dasar sungai atau saluran. Transpor jenis ini umumnya terjadi pada butir sedimen yang berukuran sangat halus.



Gambar 2.7 Skema Transpor Sedimen

Sumber: (Graf, 1984)

b) Proses Sedimentasi

Menurut Soewarno (1991), Proses sedimentasi meliputi proses pelapukan, erosi, angkutan (transportasi), pengendapan (*deposition*), dan pemadatan (*compaction*) dari sedimen itu sendiri. Proses ini merupakan proses yang kompleks, dimulai dari proses erosi yang terjadi ketika husejan turun dan menciptakan energi kinetik. Ada bagian yang tertinggal di atas tanah dan bagian lainnya yang lebih halus terbawa aliran sungai menjadi angkutan sedimen.

Sedimen yang sering ditemukan di dalam sungai, baik terlarut atau tidak terlarut, merupakan hasil dari pelapukan batuan induk. Air hujan dan aliran air permukaan yang menghasilkan tenaga kinetis akan mengupas dan mengangkut partikel-partikel tanah kemudian masuk kedalam sungai dan dikenal sebagai sedimen. Sedimen yang berpindah dari tempat tinggi ke bagian yang lebih rendah dapat menyebabkan pendangkalan waduk, sungai, saluran irigasi dan membentuk gumpalan tanah baru di pinggir-pinggir sungai (Asdak, 2007)

2.1.4 Analisa Karakteristik Aliran

a) Hidrometri

Hidrometri adalah cabang ilmu pengukuran air atau pengumpulan data dasar bagi analisis hidrologi. Ruang lingkup hidrometri pada penelitian ini meliputi:

i. Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran sungai merupakan komponen aliran yang sangat penting. Hal ini disebabkan oleh pengukuran debit sungai secara langsung di suatu penampang sungai tidak dapat dilakukan secara manual. Kecepatan aliran di ukur dalam dimensi satuan panjang setiap satuan waktu (m/detik). Pengukuran kecepatan permukaan aliran sungai dilakukan menggunakan alat *current meter*.



Gambar 2.8 Alat Pengukur Kecepatan (*Current Meter*)

ii. Pengukuran Kedalaman Air Atau Tinggi Muka Air

Pengukuran tinggi muka air dapat digunakan menggunakan *staff gauge*, alat pencatat permukaan air jenis Suiken, Fuess, dan Richard, sumur pengamatan, *water pressure type*, dan *bubble type* (Sosrodarsono, 1976). Pada penelitian ini menggunakan alat pengukur kedalaman berupa bak ukur yang terbuat dari balok kayu yang ditemplei dengan rambu ukur.

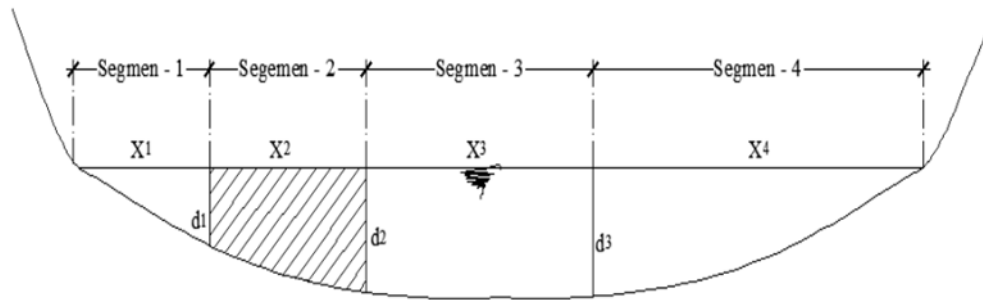


Gambar 2.9 Bak Ukur

iii. Pengukuran Penampang Basah Sungai

Pengukuran penampang dilakukan untuk menentukan debit aliran sungai, karena penampang sungai tidak beraturan maka digunakan pendekatan matematis untuk menentukan luas penampang basah aliran dengan membagi keseluruhan penampang aliran menjadi beberapa bagian segmen berbentuk segitiga dan trapezium, sehingga dapat diketahui luas pada masing masing segmen tersebut.

Pengukuran dilakukan menggunakan tali yang diberi pemberat. Tali yang ada di berikan penanda per satu meter kemudian pemberat (kubus beton) di jatuhkan dari atas jembatan. Setelah pemberat menyentuh dasar sungai, dilakukan pembacaan pada tali untuk mengetahui tinggi muka air. Pengukuran dilakukan tiap 10 meter jarak melintang sungai.



Gambar 2.10 Ilustrasi Pengukuran Penampang Melintang Sungai

Untuk mendapat luas penampang basah sungai (A), hasil pengukuran kemudian di olah seperti berikut:

$$A1 = \frac{1}{2} \cdot d1 \cdot x1$$

$$A2 = \frac{d1+d2}{2} \cdot x2$$

$$A3 = \frac{d2+d3}{2} \cdot x3$$

$$A4 = \frac{1}{2} \cdot d3 \cdot x4$$

$$A = \text{Total Luas Segmen}$$

$$= A1 + A2 + A3 + A4$$

b) Analisa Kecepatan Aliran

Untuk menentukan kecepatan rata-rata saluran atau sungai berlaku rumus dasar hidrolika berikut:

$$Q = V1 \cdot A1 = V2 \cdot A2, Vm = \frac{Q}{A} \quad \text{.....(2.1)}$$

$$V = C\sqrt{R \cdot I} \quad (Chezy) \quad \text{.....(2.2)}$$

$$V = Ks \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (Stickler) \quad \text{.....(2.3)}$$

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (Manning) \quad \text{.....(2.4)}$$

$$R = \frac{A}{P} \quad \text{.....(2.5)}$$

Dimana:

Q = Debit (m³/detik)

A1 dan A2 = Luas penampang sungai (m²) (gambar 2.11)

V1 dan V2 = Kecepatan (m/detik)

Vm = Kecepatan rata-rata (m/detik)

R = Jari-jari hidrolis (m)

I = Kemiringan dasar sungai

C = Koefisien *Chezy*

Ks = Koefisien *Stickler*

n = Koefisien kekasaran *Manning*

A = Luas Penampang Sungai (m²)

P = Penampang Basah (m)

c) Kecepatan Geser

$$U_* = \sqrt{g \cdot h \cdot I} \quad \dots\dots(2.6)$$

Dimana:

g = Gaya gravitasi $9,81 \text{ m/s}^2$

h = Kedalaman aliran (m)

I = Kemiringan dasar sungai

d) Analisa Debit

Debit aliran adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu (Asdak, 2007). Berdasarkan Sosrodarsono (1976), pengukuran debit dilakukan dengan sebagai berikut:

- i. Pengukuran debit dengan bendung
- ii. Pengukuran debit dengan mengukur kecepatan aliran dan luas penampang melintang.
- iii. Melalui kerapatan larutan obat.
- iv. Dengan menggunakan pengukur arus magnetis, pengukur arus gelombang supersonis, meter venturi dan lainnya.

Adapun metode pengukuran debit yang digunakan yaitu dengan cara mengukur kecepatan aliran dan mengukur luas penampang melintang sungai. Untuk mendapatkan nilai debit yang lewat pada suatu periode tertentu, maka dilakukan perhitungan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = A \cdot V \quad \dots\dots(2.7)$$

Dimana:

Q = Debit aliran (m^3/detik)

A = Luas penampang sungai (m^2)

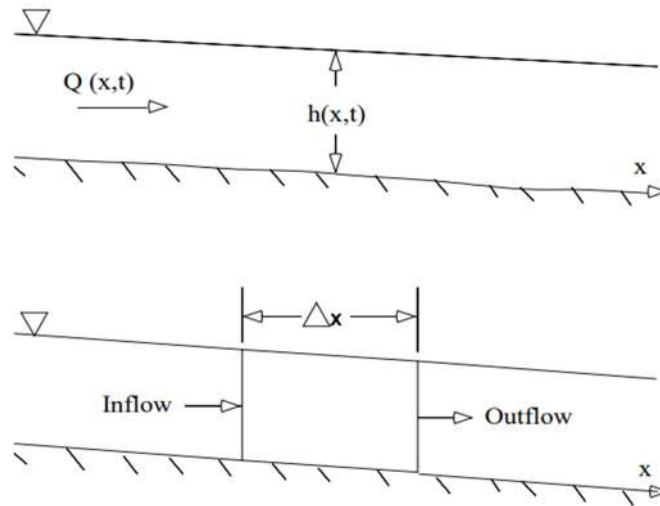
V = Kecepatan aliran (m/s)

2.1.5 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 Engineering* (USACE). HEC-RAS merupakan model satu dimensi aliran tunak maupun tak tunak (*steady and unsteady one-dimensional flow model*). HEC-RAS memiliki empat komponen model satu dimensi: 1) hitungan profil muka air aliran tunak (*Steady Flow*), 2) simulasi aliran tak tunak (*Unsteady Flow*), 3) hitungan transpor sedimen, dan 4) hitungan kualitas air. Pada simulasi dalam HEC-RAS, keempat komponen tersebut dapat disimulasikan memakai data geometri yang sama, hitungan hidraulika yang sama, serta beberapa fitur desain hidraulik yang dapat diakses setelah hitungan profil muka air berhasil dilakukan. HEC-RAS merupakan program aplikasi yang mengintegrasikan fitur *graphical user interface*, analisis hidraulik, manajemen dan penyimpanan data, grafik, serta pelaporan. (Istiarto, 2014). Model satu dimensi aliran saluran terbuka yang dimaksudkan yaitu mensimulasikan profil aliran dan memprediksi perubahan pada dasar sungai yang diakibatkan oleh erosi atau pengendapan dalam selang waktu tertentu (Sisinggih et al., 2020)

Perhitungan *bed load transport* menjadi parameter penting dalam memperkirakan perubahan dasar sungai baik peningkatan sedimen ataupun erosi saluran. Persamaan yang digunakan untuk memperkirakan transpor sedimen banyak dikembangkan oleh ilmuwan, sehingga memerlukan pemahaman dan penelitian agar mendapatkan persamaan yang sesuai dengan karakteristik sungai.

Untuk aliran tak permanen, persamaan dasar yang digunakan oleh HEC-RAS adalah persamaan kekekalan massa (*continuity conservation of mass*) dan persamaan momentum. Kedua persamaan dijabarkan dalam bentuk persamaan diferensial parsial, yang kemudian diselesaikan dengan metode pendekatan *finite difference* berskema implisit.



Gambar 2. 11 Komponen Penurunan Persamaan Kontinuitas dan Momentum
Sumber: US Army Corps of Engineers, 2016

a) Persamaan Kontinuitas

Berikut dasar persamaan kontinuitas yang menjelaskan massa pada aliran satu dimensi.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0 \quad \dots\dots(2.8)$$

Dimana:

$\frac{\partial A}{\partial t}$ = Turunan parsial luas penampang basah terhadap turunan parsial waktu

$\frac{\partial Q}{\partial x}$ = Turunan parsial debit terhadap turunan parsial jarak

q_l = Debit lateral per satuan jarak

b) Persamaan Momentum

Persamaan momentum menyatakan bahwa laju perubahan momentum sama dengan gaya eksternal yang berkerja pada suatu sistem (Wardhana, P.N. 2015).

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(QV)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + Sf \right) = 0 \quad \dots\dots(2.9)$$

$$Sf = \frac{Q^2.n^2}{R^{\frac{4}{3}}.A^2} \quad \dots(2.10)$$

Dimana:

$\frac{\partial Q}{\partial t}$ = Turunan parsial debit terhadap turunan parsial waktu

$\frac{\partial(QV)}{\partial x}$ = Turunan parsial debit dan kecepatan terhadap turunan parsial jarak

$\frac{\partial z}{\partial x}$ = Kemiringan permukaan air

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

Sf = Kemiringan Friksi

A = Luas penampang (m²)

c) Persamaan Perubahan Elevasi Dasar

Untuk menganalisis perubahan elevasi dasar saluran terhadap sedimentasi, HEC-RAS menggunakan Persamaan Kontinuitas Sedimen (*The Exner Equation*) yang merupakan persamaan dasar simulasi pergerakan pada dasar saluran arah vertikal (Wardhana, 2015)

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + Bo \frac{\partial Y}{\partial t} = 0 \quad \dots(2.11)$$

Dimana:

Bo = Lebar Saluran

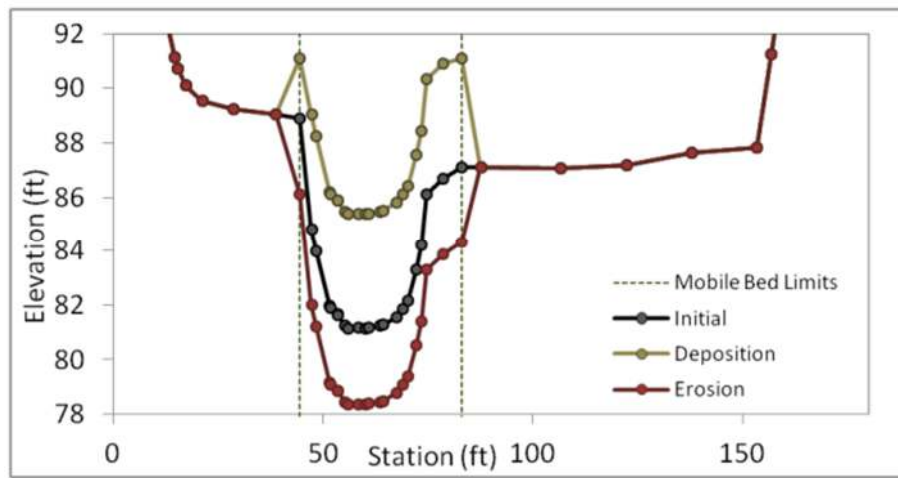
t = Waktu

Qs = Jumlah sedimen dalam waktu tertentu

x = Jarak saluran

Ys = Kedalaman sedimen pada volume kontrol

Perubahan dasar saluran pada HEC-RAS menggunakan metode veneer. prinsip di balik metode ini adalah bahwa kecepatan pengikisan atau geseran terbatas pada saluran, tetapi pengendapan dapat terjadi di dataran banjir di mana air yang bergerak lambat memungkinkan material untuk mengendap (HEC-RAS User's Manual, 2020).



Gambar 2.12 Contoh Metode Veneer
Sumber: HEC-RAS User's Manual, 2020

2.1.6 Evaluasi Akurasi Model Prediksi

Evaluasi akurasi model merupakan proses yang bertujuan untuk menilai tingkat kesesuaian hasil simulasi suatu model terhadap data observasi (nilai aktual). Dalam konteks pemodelan numerik atau regresi, evaluasi akurasi umumnya melibatkan pengukuran besaran kesalahan (error) seperti *Mean Absolute Error* (MAE), *Root Mean Square Error* (RMSE), atau *Coefficient of Determination* (R^2), yang masing-masing memberikan perspektif berbeda mengenai kedekatan hasil simulasi dengan nilai pengamatan (Chicco et al., 2021). Hasil evaluasi akurasi ini menjadi dasar dalam menentukan kelayakan model dan membandingkan alternatif model.

Secara lebih lanjut, pada penelitian ini menggunakan metode evaluasi akurasi model prediksi *Mean Absolute Error* (MAE) didasari pada dalam proses perhitungan metode ini tetap menggunakan satuan yang sama dengan satuan data sehingga lebih

mudah dalam menjelaskan eror yang terjadi pada hasil simulasi terhadap data aktual. Berikut rumus MAE:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_1 - \hat{y}_1| \quad \dots(2.12)$$

Dimana:

y_1 = Data pengukuran

$\hat{y}_1$ = Data model

n = Banyak data

Mean Absolute Error (MAE) merepresentasikan rata-rata besaran kesalahan absolut antara hasil prediksi atau simulasi dan nilai observasi tanpa memperhitungkan arah kesalahan (positif atau negatif). Nilai MAE yang semakin mendekati nol menunjukkan bahwa secara rata-rata perbedaan absolut antara hasil simulasi dan data aktual semakin kecil (Chicco et al., 2021). Dengan kata lain, hasil pemodelan memiliki tingkat kesesuaian yang tinggi dalam merepresentasikan fenomena yang dimodelkan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa model mampu menghasilkan simulasi lebih akurat terhadap variabel yang diamati.

Berdasarkan (Maricar, 2019), terdapat kisaran persentase yang dapat dijadikan bahan pengukuran mengenai kemampuan dari suatu model peramalan, sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Kisaran Kesesuaian Kemampuan Model Peramalan

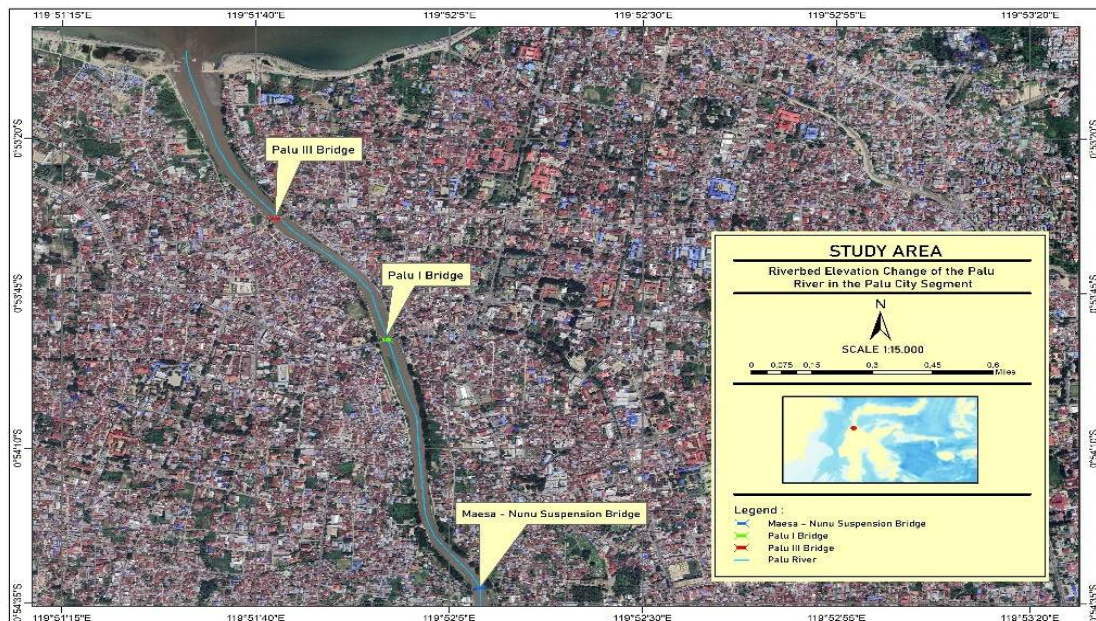
Kisaran	Kesesuaian
<10%	Kemampuan Model Peramalan Sangat Baik
10-20%	Kemampuan Model Peramalan Baik
20-50%	Kemampuan Model Peramalan Layak
>50%	Kemampuan Model Peramalan Buruk

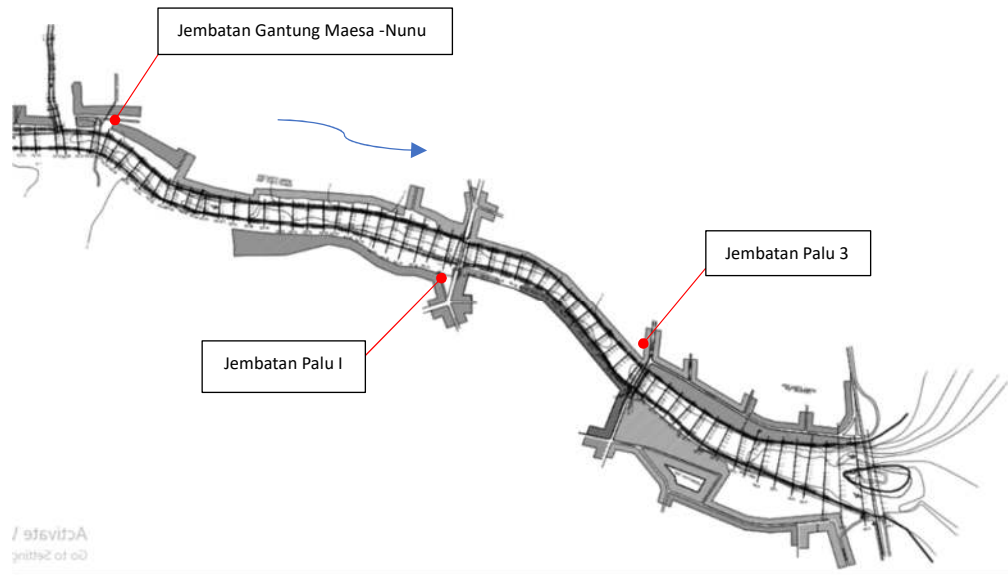
Sumber: Maricar, 2019

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu

Lokasi penelitian untuk pengambilan data dilaksanakan di Sungai Palu pada Jembatan Gantung Maesa-Nunu, Jembatan Palu 1, hingga kearah muara. Sungai Palu merupakan sungai yang berada dalam DAS Palu, Sungai Palu termasuk dalam Wilayah Sungai WS Palu–Lariang yang secara umum terletak pada $0^{\circ} 3' \text{ LU} - 2^{\circ} 25' \text{ LS}$ dan $119^{\circ} 20' - 120^{\circ} 30' \text{ BT}$, sementara Daerah Aliran Sungai (DAS) Palu sendiri berada pada posisi geografis $0^{\circ} 55' - 1^{\circ} 30' \text{ LS}$ dan $119^{\circ} 05' - 120^{\circ} 15' \text{ BT}$ (PT. Jasakons Putra Utama, 2010). Jembatan Gantung Maesa-Nunu merupakan jembatan yang menghubungkan Jalan Miangas dengan Kelurahan Nunu dan memiliki panjang bentang jembatan 73 meter, Jembatan Palu 1 merupakan jembatan yang menghubungkan Jalan Gajah Mada dengan Jalan Hasanudin dengan bentang jembatan sepanjang 111,2 meter, dan Jembatan Palu 3 adalah jembatan yang menghubungkan Jalan Wahid Hasyim dengan Jalan Kimaja dengan panjang bentang jembatan sebesar 125,2 meter.





Gambar 3. 1 Lokasi dan Peta Topografi Sungai Palu Bagian Tinjauan
Sumber: BWS Sulawesi III, 2014

3.2 Jenis Penelitian dan Sumber Data

Jenis penelitian ini ialah deskriptif kuantitatif yaitu menjelaskan hubungan antara variabel dengan menganalisis data angka-angka. Metode yang digunakan adalah dengan mengumpulkan data melalui pengukuran lapangan dan dari instansi terkait kemudian melakukan analisis data dan simulasi menggunakan aplikasi HEC-RAS.

Pada penelitian ini akan menggunakan dua sumber data, yaitu:

1. Data primer penelitian ini adalah data yang diperoleh langsung oleh peneliti dari lokasi penelitian, data primer berupa data kecepatan aliran, kedalaman muka air, sedimen dasar, sedimen transpor dan penampang melintang sungai pada lokasi tinjauan.
2. Data sekunder yakni data yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya. Pengambilan/pengumpulan data sekunder dapat diperoleh berdasarkan acuan dan literatur yang berhubungan dengan materi, karya tulis ilmiah yang berhubungan dengan penelitian atau dengan mendatangi instansi terkait untuk memperoleh data penunjang. Adapun data sekunder dari penelitian ini meliputi peta topografi sungai tinjauan dalam bentuk file *autocad*. Data diperoleh dari Balai

Wilayah Sungai (BWS) Sulawesi III. Serta data tinggi muka air yang disebabkan oleh proses pasang surut diunduh melalui *website* Sistem Referensi Geospasial Indonesia.

3.3 Alat dan Bahan Survey

a. Alat

1. Balok kayu untuk bak ukur
2. Baut untuk bak ukur
3. Tali tambang
4. Kubus/pemberat
5. *Current meter*
6. Sediment Grab
7. Alat Sediment Transport tipe Helley Smith
8. Meteran
9. Kamera untuk dokumentasi

b. Bahan

1. Stiker rambu ukur tahan air dengan panjang 10 meter untuk bak ukur
2. Form pencatatan data.

3.4 Metode Pengambilan Data

Hal penting dalam setiap penelitian adalah pengambilan data. Pada dasarnya data yang diambil adalah data yang akan digunakan sebagai parameter dalam analisis. Berikut tahapan pengambilan data:

3.4.1 Tinggi Muka Air

Untuk mendapatkan data tinggi muka air, dipasang bak ukur (Gambar 2.9) yang terletak tepat di bawah Jembatan Gantung Maesa-Nunu. Lokasi bak ukur diletakan sebaik mungkin agar tinggi muka air dapat terbaca dalam keadaan muka air rendah hingga tinggi. Pencatatan dilakukan dengan membaca tinggi muka air kemudian mendokumentasikan hasil pembacaan.

3.4.2 Kecepatan Aliran

Pengukuran kecepatan aliran dilakukan menggunakan alat *current meter* (Gambar 2.8) dari atas Jembatan Gantung Maesa-Nunu. Pada tiap pengukuran, pembacaan kecepatan dilakukan sebanyak tiga kali kemudian hasil masing-masing pembacaan di rata-ratakan.

3.4.3 Sedimen Dasar

Pengambilan sampel sedimen dasar menggunakan alat *sediment grab*. Alat ini mengambil sedimen dengan cara menjepit material sedimen. alat *sediment grab* dijatuhkan dari atas jembatan kemudian saat alat mencapai dasar sungai, secara otomatis *bucket sediment grab* akan tertutup dan menahan sedimen yang telah terambil. Agar alat tidak terbawa oleh aliran air, maka pengambilan sampel sedimen dasar dilakukan pada sisi bantaran sungai. Sampel sedimen dasar yang telah terambil kemudian dianalisis lebih lanjut.



Gambar 3. 2 Alat *Sediment Grab (Van Veen Grab)*

Sumber: Website Aquatic bio technology

3.4.4 Transpor Sedimen

Pengambilan sampel transpor sedimen menggunakan alat pengambilan sedimen tipe *Helley Smith*. Alat ini berbentuk seperti ikan dengan bagian depannya terdapat bukaan yang akan menampung sedimen dasar yang bergerak terbawa aliran. Alat yang digunakan telah dimodifikasi dengan menambah pemberat pada sisi kanan dan kiri alat agar alat tetap berada di dasar sungai tidak terbawa aliran air.



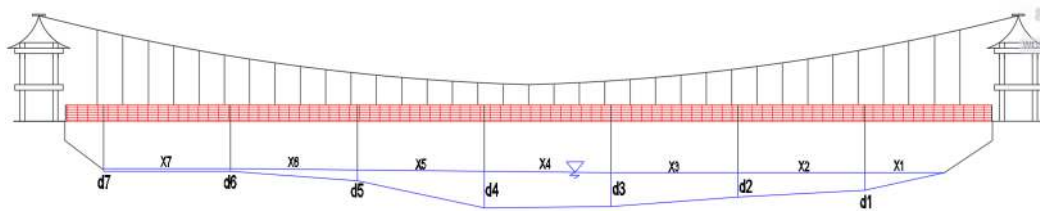
Gambar 3. 3 Alat Pengambil Sedimen Transpor Tipe *Helley Smith*

3.5 Metode Analisis Data

Analisis data yang menyangkut hubungan antara variabel-variabel dalam penelitian dilakukan dengan tahap sebagai berikut:

a) Perhitungan Debit

1. Pengukuran profil melintang sungai



Gambar 3. 4 Profil Melintang Sungai

- Luas segmen segitiga

$$A = \frac{1}{2} \cdot X1 \cdot d1$$

- Luas segmen trapesium

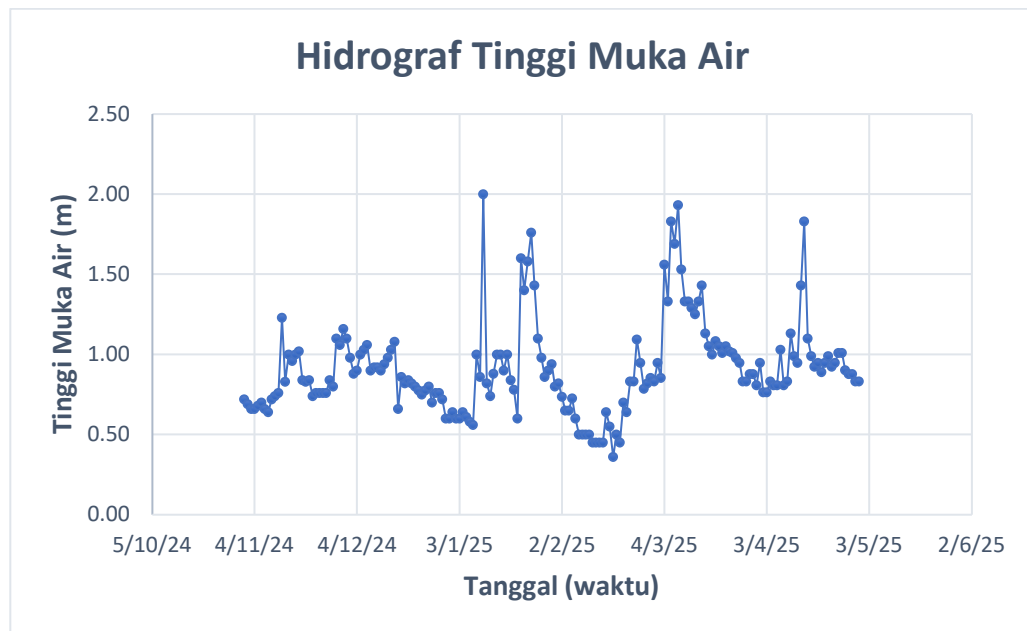
$$A = \frac{d2+d3}{2} \cdot X3$$

- Luas Keseluruhan

$$A = \text{Jumlah luasan tiap segmen}$$

2. Pengukuran kedalaman aliran melalui pembacaan bak ukur.

Hasil dari pembacaan bak ukur ditampilkan dalam bentuk grafik hubungan antara waktu (hari) dengan tinggi muka air (m). berdasarkan pengukuran profil melintang sungai, maka dapat dihitung luas penampang sungai terhadap variasi tinggi muka air.



Gambar 3. 5 Grafik Hidrograf Tinggi Muka Air

3. Pengukuran Kecepatan

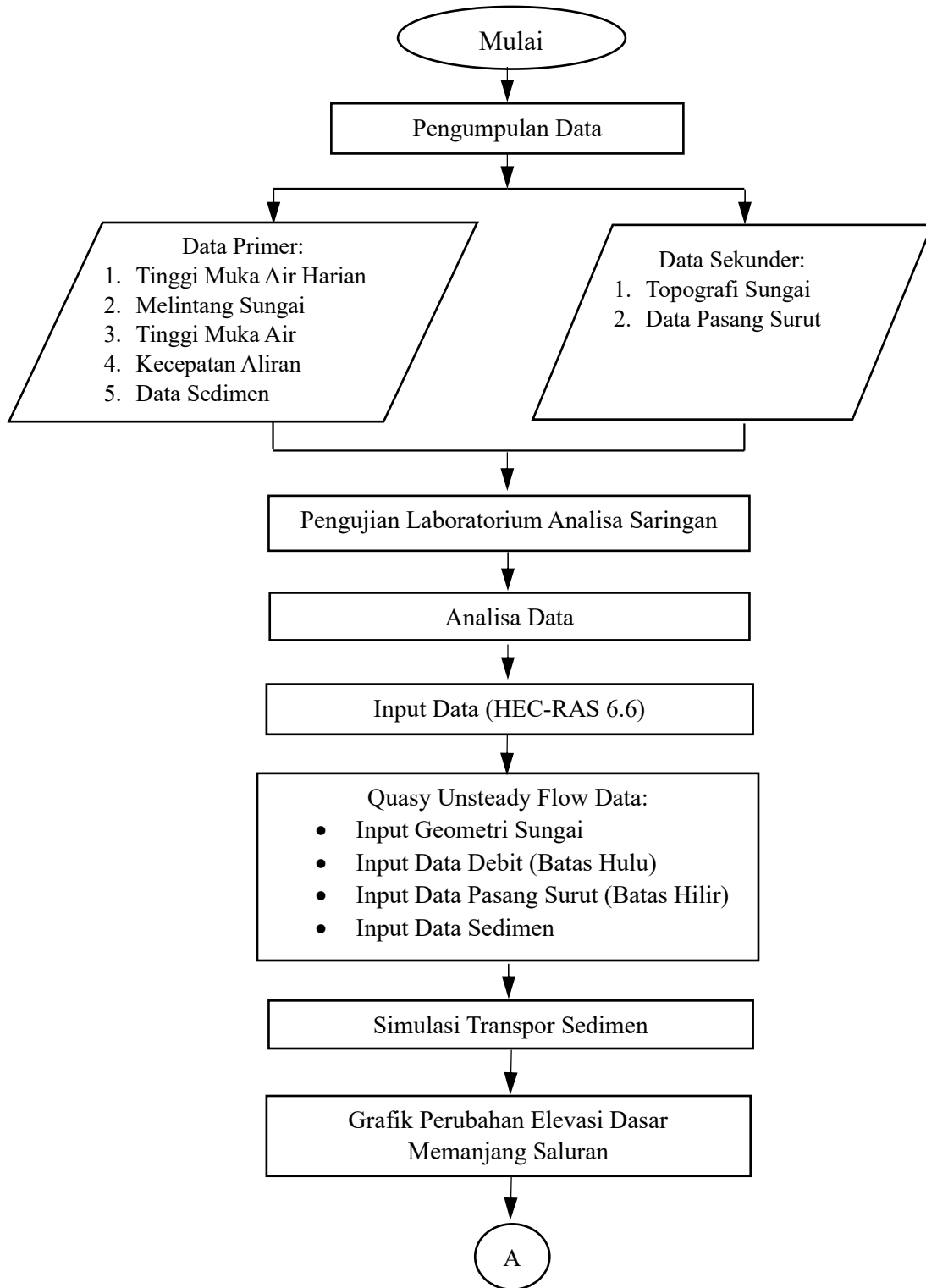
Pengukuran kecepatan ditampilkan dalam bentuk grafik hubungan antara kecepatan aliran sungai (m/s) dengan tinggi muka air (m). Dari proses plotting data akan di dapatkan persamaan dimana kecepatan merupakan fungsi dari kedalaman air.

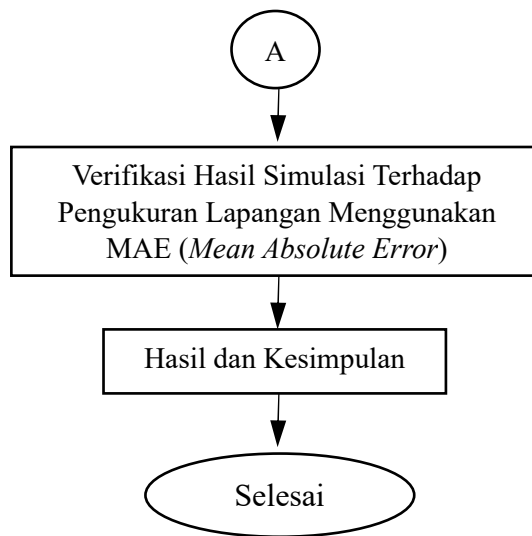
4. Perhitungan debit aliran

$$Q = A . V$$

Berdasarkan poin 2 dan poin 3 dapat dibuat grafik hubungan antara Q (m^3/s) dengan waktu (hari)

3.6 Flowcart Penelitian





BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

4.1.1 Peta Topografi Sungai

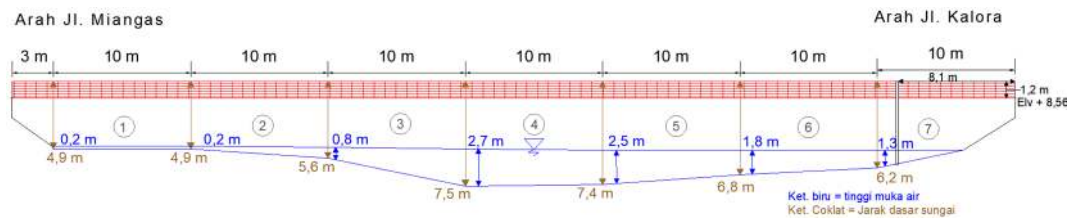
Peta topografi Sungai Palu digunakan untuk peniruan geometri Sungai Palu pada HEC-RAS. Sungai ditinjau sepanjang 3.031,48 km dengan patok sebanyak 44 titik dimulai dari patok B.436 yang terletak 50 meter sebelum Jembatan Gantung hingga patok B.479 yang terletak di muara Sungai Palu (Lampiran 3). Peta topografi yang digunakan merupakan peta pengukuran pada tahun 2014, dengan mengasumsikan bahwa geometri sungai tidak mengalami perubahan.

4.1.2 Data Debit Air Sungai

Data debit yang digunakan dalam simulasi diperoleh melalui tiga tahapan pengukuran, yaitu pencatatan tinggi muka air, pengukuran penampang melintang sungai dan pengukuran kecepatan aliran. Pencatatan dilakukan selama enam bulan, mulai dari November 2024 hingga April 2025. Nilai debit sungai dihitung berdasarkan hasil perkalian antara luas penampang basah dan kecepatan aliran air. Proses pengukuran sebagai berikut:

a. Pengukuran penampang melintang dan pencatatan tinggi muka air.

Pengukuran penampang melintang sungai dilakukan pada 3 lokasi yaitu pada Jembatan Gantung Maesa-Lalove, Jembatan 1 Palu, dan Jembatan 3 Palu. Alat ukur GPS Geo Detik digunakan untuk mendapatkan elevasi jembatan dan panjang jembatan. Pengukuran penampang melintang sungai dilakukan dengan menjatuhkan kubus beton yang terikat tali hingga mencapai dasar sungai kemudian mengukur kedalamannya setiap interval 10 meter bentang jembatan. Pengukuran ini dilakukan secara berkala setiap bulan (Lampiran 1). Berikut sketsa pengukuran penampang melintang sungai:



Gambar 4. 1 Penampang Melintang Sungai Segmen Jembatan Gantung Maesa-Lalove

Rambu ukur dipasang pada jarak 8,1 meter dari sisi kiri jembatan untuk mencatat tinggi muka air harian. Dengan menghubungkan hasil pengukuran melintang penampang sungai dengan pencatatan tinggi muka air, maka didapatkan luas penampang basah sungai.

Tabel 4. 1 Luas Penampang Basah Sungai Pada Lokasi Jembatan Gantung.

Tanggal	h (m)	Luas Bidang (m ²)							A (m ²)
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	
27/11/24	0.80	-	2.09	15.56	25.34	20.84	14.84	3.87	82.51
21/12/24	0.80	-	-	2.70	13.73	20.00	15.53	3.14	58.80
31/01/25	0.80	1.43	4.57	12.97	20.97	21.47	15.97	3.73	80.58
26/02/25	0.79	1.31	5.46	13.46	21.46	23.46	17.96	3.93	84.26
05/04/25	0.81	0.47	3.92	11.42	17.86	19.36	16.34	3.59	71.25

Keterangan. h = tinggi muka air, A = luas penampang basah

Data yang terdapat pada tabel 4.1 merupakan hasil perhitungan luas penampang basah sungai setiap bulan pada kondisi tinggi muka air yang sama. Berdasarkan data tersebut, terjadi perubahan nilai luas penampang basah dari bulan ke bulan. Pada bulan november 2024, luas penampang basah tercatat sebesar 82,53 m² sedangkan pada bulan april 2025 luas penampang basah sungai sebesar 72,75 m². Hal tersebut mengindikasikan adanya perubahan elevasi dasar sehingga mengubah penampang basah sungai.

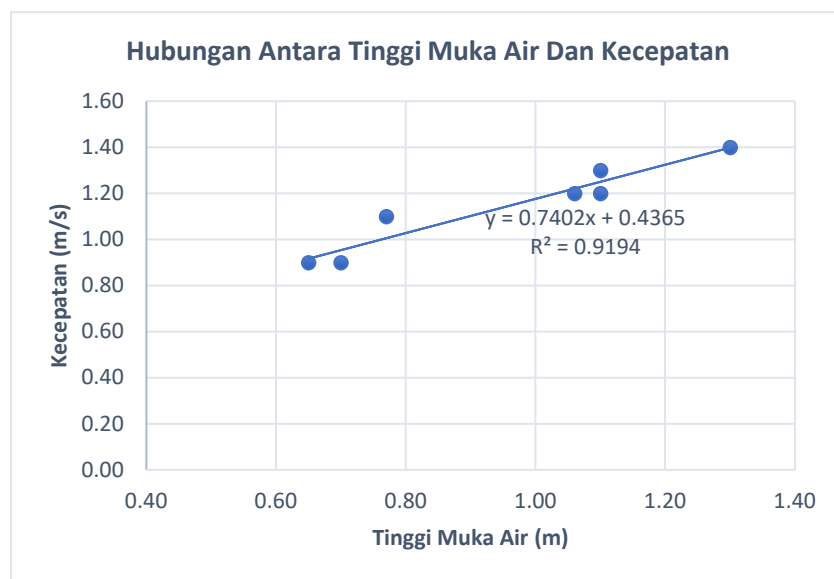
b. Pengukuran Kecepatan

Pengukuran kecepatan aliran sungai menggunakan alat current meter dilakukan melalui Jembatan Gantung Maesa-Lalove pada kondisi tinggi muka air rendah dan saat kondisi muka air tinggi. Hasil pengukuran kecepatan sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Pengukuran Kecepatan

Tanggal	Tinggi Muka Air (m)	Kecepatan V (m/s)
8 Maret 2025	0.65	0.90
9 Maret 2025	0.70	0.90
12 Maret 2025	0.77	1.10
20 Mei 2025	1.06	1.20
1 Juni 2025	1.10	1.20
2 Juni 2025	1.10	1.30
8 Juni 2025	1.30	1.40

Hasil Pengukuran kecepatan dibuat dalam bentuk grafik dengan garis tren linear untuk memperoleh persamaan hubungan antara tinggi muka air dengan kecepatan aliran. Persamaan garis linear tersebut kemudian digunakan untuk memperkirakan nilai kecepatan aliran pada berbagai kondisi tinggi muka air yang berbeda.



Gambar 4. 2 Grafik Hubungan Antara Tinggi Muka Air Terhadap Kecepatan Aliran

c. Perhitungan Debit Sungai

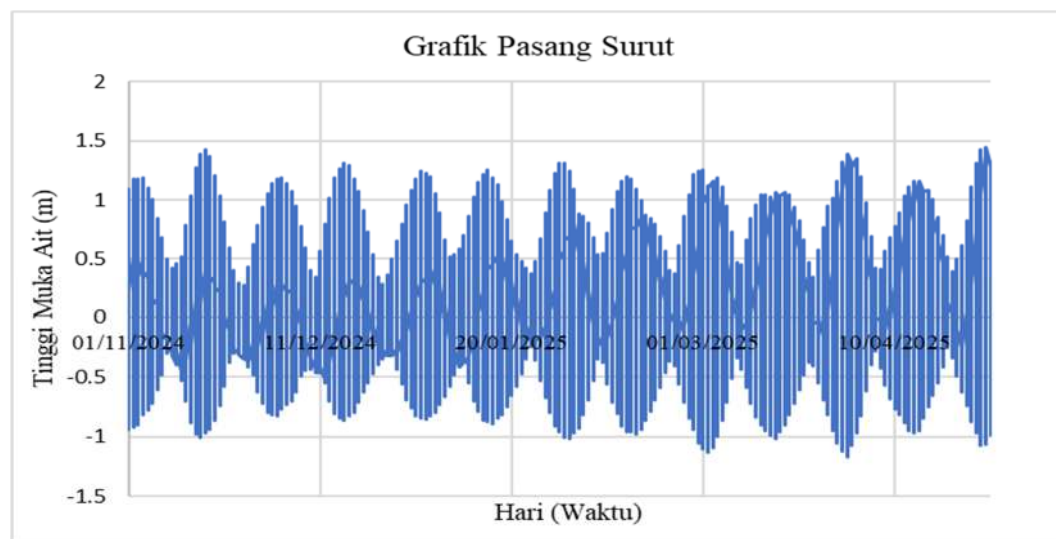
Debit harian sungai dihitung berdasarkan hasil pengukuran luas penampang basah dan kecepatan aliran. Debit harian yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai nilai input batas aliran pada HEC-RAS. Berikut hidrograf debit aliran Sungai Palu. Tabel perhitungan debit dapat dilihat pada lampiran 2.



Gambar 4. 3 Hidrograf Debit Aliran Harian

4.1.3 Data Pasang Surut

Pada proses simulasi, data pasang surut digunakan sebagai batas hilir simulasi. Digunakan data pasang surut berdasarkan lokasi patok terakhir dalam simulasi yang berada di antara muara sungai Kota Palu dengan Teluk Palu sehingga tinggi muka air dipengaruhi oleh pasang surut yang terjadi di teluk. Tabel pasang surut 1 November 2024 hingga 30 April 2025 diunduh melalui *website* Sistem Referensi Geospasial Indonesia. Berikut grafik pasang surut:



Gambar 4. 4 Grafik Pasang Surut

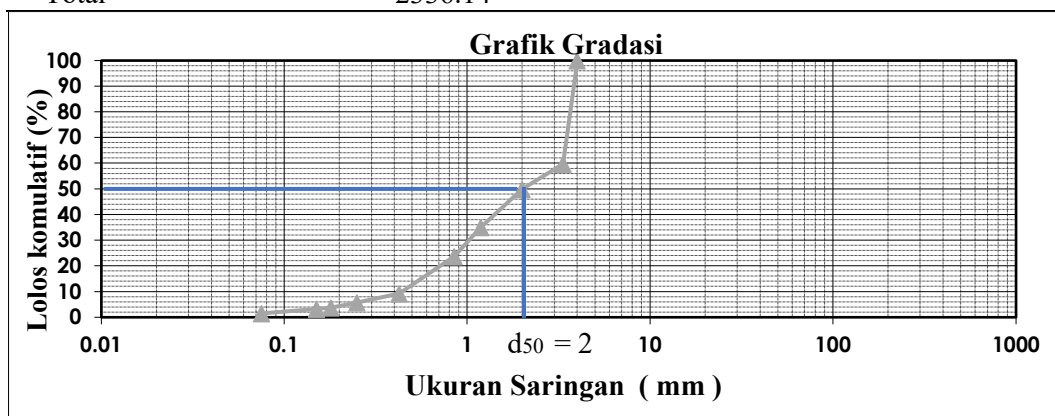
Sumber: *Website* Sistem Referensi Geospasial Indonesia, 2025

4.1.4 Data Ukuran Sedimen

Data distribusi ukuran sedimen dasar Sungai Palu diperoleh melalui hasil pengujian analisa saringan (Lampiran 4) terhadap sampel sedimen yang diambil menggunakan alat *sediment grab*. Pengambilan sampel dilakukan pada bantaran sungai sekitar 50 meter sebelum Jembatan Gantung Maesa-Lalove. Sampel hasil pengujian analisa saringan digunakan sebagai data input klasifikasi sedimen pada HEC-RAS dan penentuan nilai kekasaran dasar saluran (koefisien manning).

Tabel 4. 3 Hasil Analisa Saringan Sedimen

Nomor Saringan	Ukuran Bukaan (mm)	berat tertahan (gr)	kumulatif tertahan (gr)	%tertahan	%lolos
5	4	0	0	0.00	100.00
6	3.35	941.09	941.09	40.28	59.72
10	2	229.54	1170.63	50.11	49.89
16	1.19	348.5	1519.13	65.03	34.97
20	0.85	265.25	1784.38	76.38	23.62
40	0.425	337.31	2121.69	90.82	9.18
60	0.25	82.49	2204.18	94.35	5.65
80	0.18	46.63	2250.81	96.35	3.65
100	0.15	9.93	2260.74	96.77	3.23
200	0.075	40.79	2301.53	98.52	1.48
pan		34.61	2336.14	100.00	0.00
Total		2336.14			



Gambar 4. 5 Grafik Gradasi Ukuran Butiran

Untuk memperoleh nilai koefisien manning (n) berdasarkan ukuran butiran d_{50} digunakan persamaan Stickler (Graf, 1984):

$$n_{\text{Stickler}} = \frac{(d_{50})^{1/6}}{21,1} \quad \dots(4.1)$$

Adapun dengan nilai $d_{50} = 2$ yang didapatkan melalui plotting pada grafik distribusi ukuran sedimen dasar, nilai manning sebagai berikut:

$$n_{\text{Stickler}} = \frac{(2)^{1/6}}{21,1} = 0,051$$

4.1.5 Data Angkutan Sedimen

Sampel angkutan sedimen diperoleh menggunakan alat ukur sedimen Helley Smith. Pengambilan sampel dilakukan dengan menurunkan alat ukur sedimen Helley Smith hingga ke dasar sungai dengan rentang waktu 15 menit. Selama periode tersebut, material sedimen dasar yang terbawa air masuk dan tertampung di dalam alat. Setelah pengambilan, material sedimen yang tertampung ditimbang untuk menentukan beratnya. Hasil pengukuran kemudian dibuat dalam grafik linear untuk mendapatkan persamaan hubungan antara tinggi muka air dan berat sedimen yang tertampung.

$$q_b = \text{Berat Sampel (Kg)} \times b \times T \quad \dots(4.2)$$

Dimana:

$$q_b = \text{Debit sedimen dasar (kg/sm)}$$

$$b = \text{lebar bukaan alat ukur sedimen}$$

$$T = \text{Lama waktu pengambilan sampel (detik)}$$

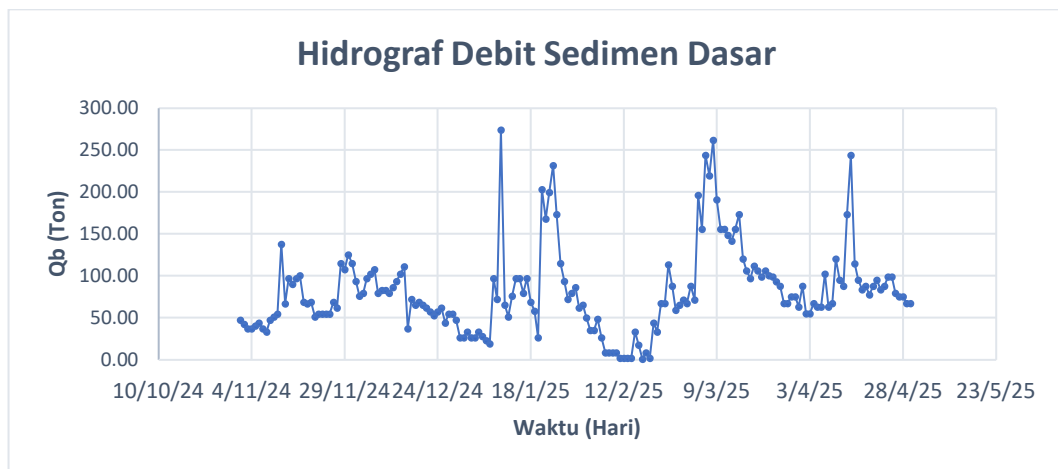
Tabel 4. 4 Hasil Pengukuran Transpor Sedimen Sungai Palu

No.	Tinggi Muka Air (m)	Berat Sampel (gr)	Berat Sampel (Kg)	b (m)	T (detik)	Kg/sm
1	0.52	385.34	0.3853	0.0763	900	0.0056
2	0.66	443.54	0.4435	0.0763	900	0.0065
3	0.90	1304.57	1.3046	0.0763	900	0.0190
4	0.76	903.61	0.9036	0.0763	900	0.0132
5	0.70	878.58	0.8786	0.0763	900	0.0128
6	0.94	1721	1.7210	0.0763	900	0.0251
7	0.70	707.17	0.7072	0.0763	900	0.0103



Gambar 4. 6 Grafik Hubungan Antara Tinggi Muka Air dan Debit Sedimen Dasar

Berdasarkan persamaan yang terdapat pada grafik hubungan antara tinggi muka air dengan debit sedimen dasar diperoleh hidrograf debit sedimen dasar selama 6 bulan sebagai berikut:



Gambar 4. 7 Hidrograf Debit Sedimen Dasar Sungai Palu

Berdasarkan data hidrograf didapatkan bahwa nilai sedimen dasar terbesar adalah 274,10 ton dan nilai sedimen terkecil adalah 2 ton. Tabel besar debit sedimen per hari dapat dilihat pada lampiran 5.

4.2 Pemodelan Menggunakan HEC-RAS 6.6

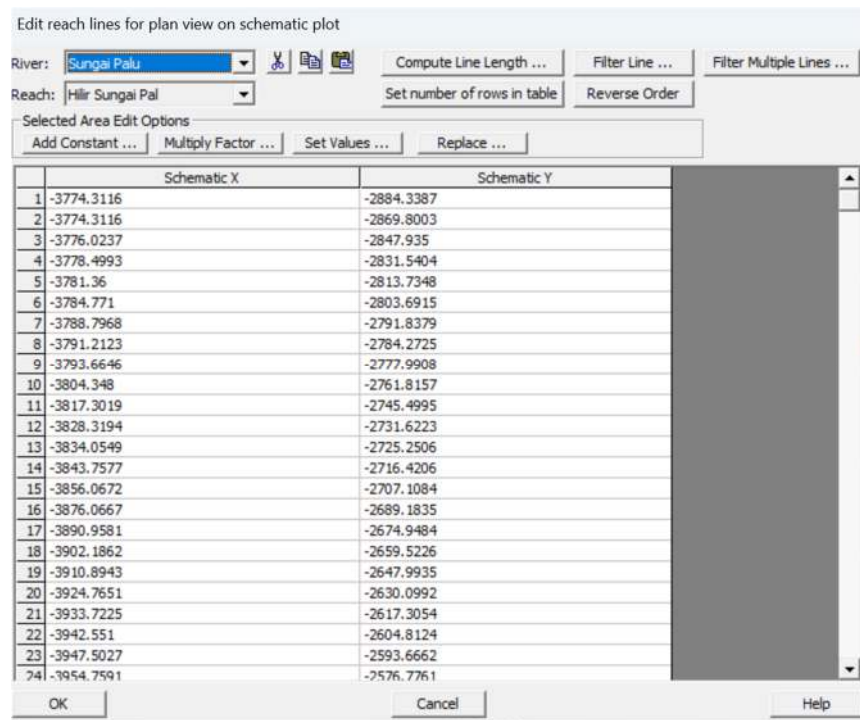
untuk mensimulasikan transportasi sedimen di Sungai Palu dan menganalisis perubahan sedimentasi dan erosi yang terjadi menggunakan pemodelan pada HEC-RAS perlu dilakukan beberapa prosedur sebagai berikut:

1. Peniruan geometri Sungai Palu
2. Simulasi aliran
3. Simulasi transpor sedimen

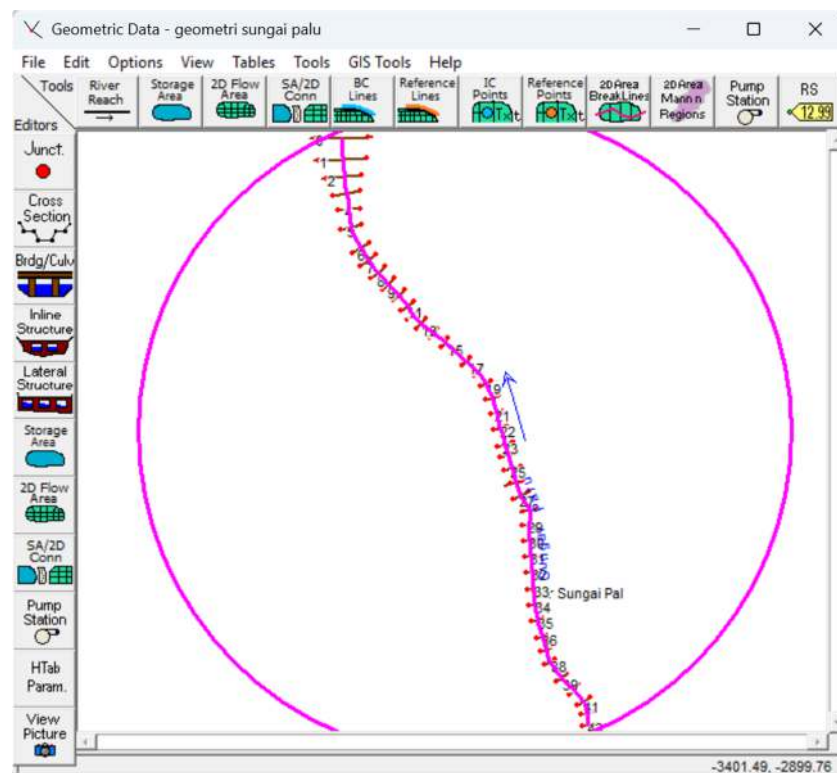
4.2.1 Peniruan Geometri Sungai/*Model Setting*.

Parameter geometri saluran yang dibutuhkan oleh HEC-RAS adalah alur tampang panjang dan melintang dan kekasaran dasar saluran (koefisien manning). Cara peniruan geometri Sungai Palu adalah sebagai berikut:

- a. Mengaktifkan layar editor data geometri dengan memilih menu **Edit/Enter Geometric Data** (). Untuk membuat *file* geometri pilih menu **File|New Geometry Data** kemudian lakukan penyimpanan dengan menulis nama *file* lalu klik OK.
- b. Untuk memasukkan koordinat memanjang (alur sungai) dimulai dengan menekan tombol **River Reach** () kemudian menarik garis lurus dan mengklik dua kali di akhir garis untuk memberi nama skema sungai. Setelah skema terbuat, menekan menu **GIS Tools | Reach Invert Lines Table**, akan terbuka layar menyerupai tabel yang bertuliskan **Schematic X** untuk input koordinat X dan **Schematic Y** untuk input koordinat Y (gambar 4.8). Data koordinat X dan Y Sungai Palu bagian tinjauan (terlampir). Setelah seluruh koordinat terinput, mengklik kanan kursor kemudian memilih **Set Schematic Plot Extents** dan menekan pilihan **Set To Computed Extents** lalu OK. Secara otomatis skema sungai yang berupa garis lurus akan membentuk tampang memanjang sungai seperti pada gambar 4.9.



Gambar 4. 8 Layar Editor Koordinat Geometri Sungai
Sumber: *User's Manual HEC-RAS*



Gambar 4. 9 Layar Editor Tampilan Geometri Hasil Input-an
Sumber: *User's Manual HEC-RAS*

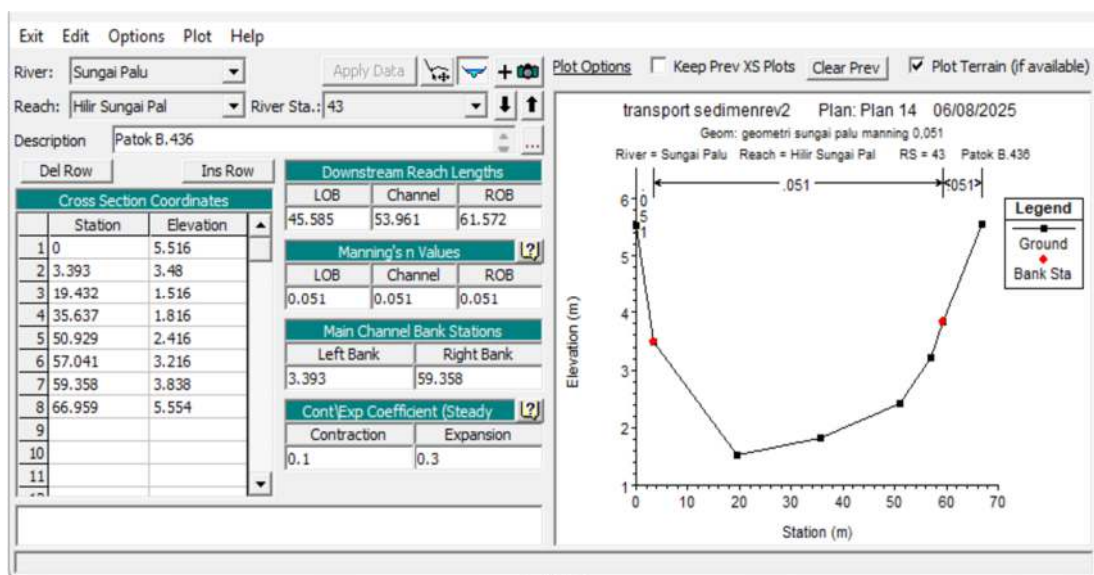
- c. Pembuatan Tampang Melintang Sungai (Cross Section)
 - i. Mengaktifkan layar editor tampang lintang dengan mengklik menu cross section ()
 - ii. Menginput data tampang lintang berurutan dari hilir sampai hulu. Untuk menginput data tampang lintang, pilih menu **Option | Add New Cross Section**. Pada Sungai Palu segmen tinjauan, data tampang lintang yang di masukkan berjumlah 44 patok dengan patok paling ujung hilir bertuliskan “0”
 - iii. Memasukkan data titik-titik koordinat tampak lintang berurutan dari kiri ke kanan; **Station** adalah jarak titik diukur dari kiri dan **Elevation** adalah nilai elevasi titik. Untuk RS “1” data tampang lintang dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Potongan Melintang Sungai Palu Patok 1

No	RS "1"		Downstream Reach Length		
	STA	Elevation	ROB	Channel	LOB
1	0	0.987			
2	22.507	0.94			
3	56.435	0.797			
4	60.239	-1.528			
5	79.868	-1.428			
6	100.34	-1.128			
7	130.53	-0.828			
8	148.214	-0.128	107.427	94.713	87.098
9	167.576	0.102			
10	209.613	0.153			
11	211.573	-0.263			
12	228.574	-0.621			
13	234.577	-0.352			
14	237.483	0.1			
15	247.373	0.954			
16	250.296	2.906			

- iv. **Downstream Reach Lengths** merupakan jarak antar patok, **LOB** (*left overbank*) merupakan jarak antar patok pada bantaran kiri, **Channel** merupakan jarak antar alur utama, dan **ROB** (*right overbank*) merupakan jarak antar patok pada bantaran kanan. Patok “0” merupakan patok ujung hilir sehingga jarak antar patoknya diisi dengan angka nol.

- v. Nilai koefisien kekasaran dasar, pada simulasi ini **Manning's n Values** 0,051 untuk semua tampang.
- vi. **Main Channel Bank Station** adalah titik yang menentukan batas antara saluran utama dan area luapan pada bantaran kiri dan kanan. Pada patok “1” bagian **Main Channel Bank Station** diisi sta. 22.507 untuk bagian kiri dan sta. 247.373 untuk bagian kanan.
- vii. Untuk **Data Cont|Exp Coefficients** pada simulasi ini diisi dengan nilai 0,1 untuk **Contraction** dan 0,3 untuk **Expansion** yang merupakan nilai default dari HEC-RAS.
- viii. Melakukan prosedur yang sama hingga setiap tampang lintang patok 0 hingga patok 43 terinput. Adapun hasil input data pada tampang lintang “43” dapat dilihat pada gambar 4.10.
- ix. Menyimpan data geometri Sungai Palu dengan memilih menu **File | Save Geometry Data**.

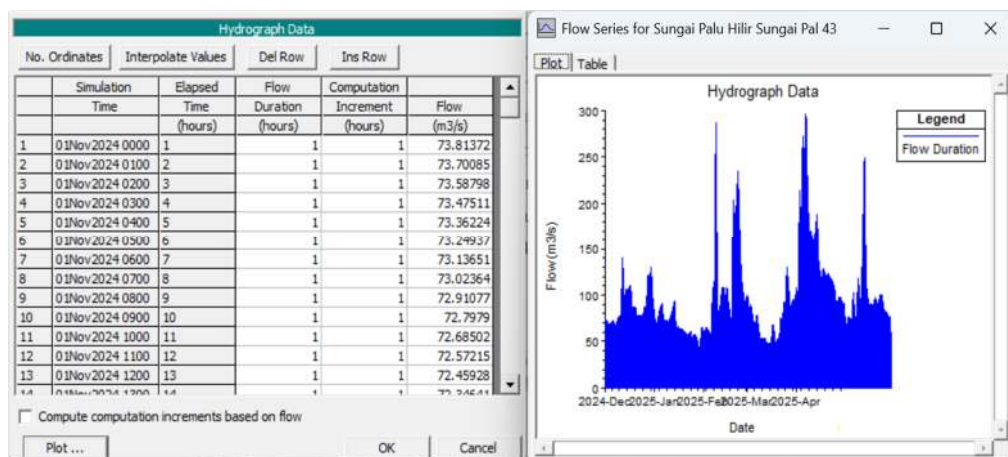


Gambar 4. 10 Layar Editor Tampang Melintang
Sumber: *User's Manual HEC-RAS*

4.2.2 Input Data Quasy Unsteady Flow

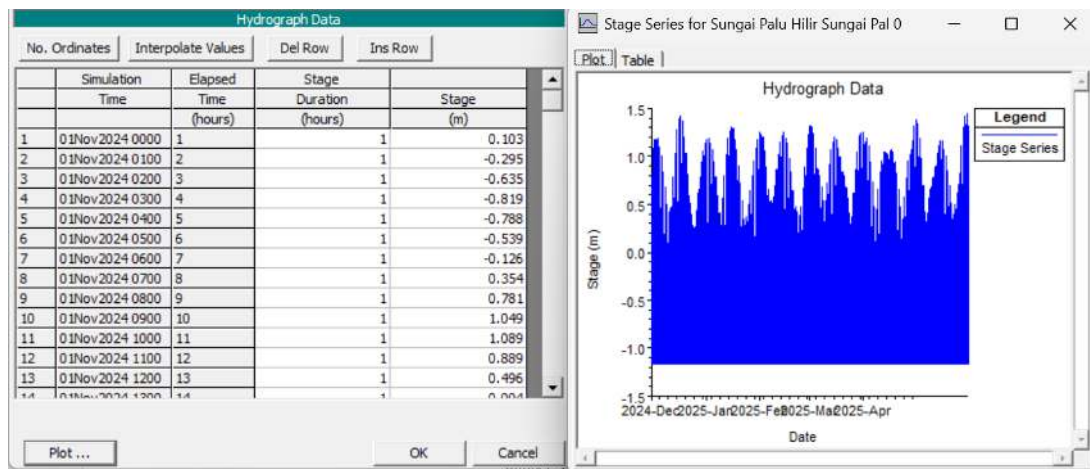
Data aliran yang diperlukan dalam hitungan transpor sedimen berupa aliran semu. Langkah-langkah pemasukan data aliran dan syarat batas untuk aliran adalah sebagai berikut:

- a. Mengaktifkan layar editor data semu dengan memilih menu **Edit | Quasi Unsteady Flow (Sediment Analysis)** atau mengklik ikon ().
- b. Memasukkan data aliran, klik tombol **Flow Series** sebagai pilihan *boundary condition type* pada RS 43. Untuk waktu simulasi di pilih **Fix Start Time** dengan memasukkan tanggal awal simulasi yaitu **Date** 01NOV2024 dan **Time** 2400. Memasukan angka “1” pada kolom **Flow Duration** yang menyatakan bahwa aliran tersebut kemungkinan terjadi dalam 1 jam. Pada kolom **Flow** dimasukkan nilai debit aliran hasil perhitungan, debit yang dimasukkan pada kolom ini merupakan debit hasil interpolasi data pada gambar 4.3 yang berupa debit harian menjadi debit perjam. Hasil input kondisi batas aliran pada hulu (RS 43) dapat dilihat pada gambar 4.11 di bawah ini.



Gambar 4. 11 Layar Editor Pengaturan Syarat Batas Hulu Aliran dan Hidrograf Data
Sumber: *User's Manual HEC-RAS*

- c. Mengatur syarat batas hilir di RS 0 dengan opsi **Stage Series**. Memasukkan waktu simulasi dan durasi aliran seperti pada data di hulu. Mengisi data tinggi muka air perjam berdasarkan data pasang surut (Gambar 4.4) pada kolom **Stage**. Hasil input kondisi batas aliran pada hilir dapat dilihat pada gambar 4.13.



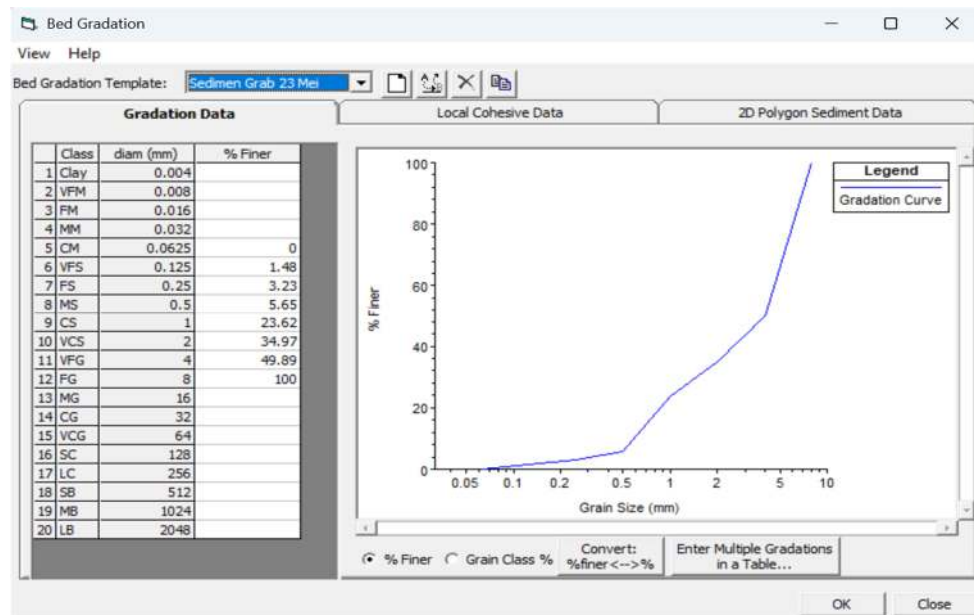
Gambar 4. 12 Layar Editor Pengaturan Syarat Batas Hilir Aliran
Sumber: *User's Manual HEC-RAS*

- d. Menyimpan data aliran semu dengan memilih menu **File | Save Quasy – Unsteady Flow File**.

4.2.3 Input Data Sedimen

Untuk mengakses editor data sedimen pilih **Edit | Sediment Data** atau dengan mengklik ikon () kemudian akan muncul tab editor sedimen. Membuat file data sedimen dengan memilih menu **File | New Sediment Data**. Pada tab sedimen data terdapat tiga opsi yaitu *Initial Conditions and Transport Parameters*, *Boundary Conditions*, dan *USDA-ARS Bank stability and Toe Erosion Model (BSTEM) (Beta)*. Berikut tahapan input data sedimen pada penelitian ini:

- a. Menginput data gradasi ukuran butiran sedimen dengan mengklik opsi **Initial Conditions and Transport Parameters**, kemudian mengklik **Define/Edit Bed Gradation** pada bagian kanan layar lalu memasukkan data gradasi ukuran butiran sedimen. Data analisa saringan (Tabel 4.3) yang didapatkan setelah pengujian perlu disesuaikan kembali berdasarkan klasifikasi ukuran butiran yang digunakan HEC-RAS. Berikut gradasi dasar yang digunakan pada simulasi ini:



Gambar 4. 13 Layar Editor Gradasi Dasar Sungai
Sumber: *User's Manual HEC-RAS*

Setelah data gradasi terbentuk mengklik OK kemudian layar akan kembali ke opsi *Initial Conditions and Transport Parameters*. Setelah itu mengklik **Bed Gradation** pada tabel paling kanan dan memilih jenis sedimen yang akan digunakan pada masing-masing RS yang ada. Pada simulasi ini digunakan satu data gradasi dasar untuk setiap RS.

- b. Menentukan *Transport Function*, *Sorting Method*, dan *Fall Velocity Method*.
 - i. Menentukan **Transport Function**. Rumus transport sedimen yang dapat dipilih antara lain Ackers and White, Englund and Hansen, Laursen (Copeland), Meyer Peter Muller, Toffaleti, MPM-Toffaleti, Yang, dan Wilcock-Crowe. Karakteristik masing-masing fungsi transpor dapat dilihat pada Tabel 4.6. Hasil transport sedimen sangat bergantung pada rumus yang dipilih, sehingga perlu dipilih metode yang paling sesuai dengan kondisi yang paling mendekati. Dalam menentukan rumus transport sedimen yang digunakan, ada beberapa prosedur yang dipertimbangkan antara lain ketersediaan jenis data yang dapat diperoleh atau diukur sesuai dengan kebutuhan dari persamaan tersebut dan kesesuaian rumus dengan kondisi yang ada. Pada penelitian ini digunakan rumus fungsi transpor Tofaletti dengan pertimbangan ukuran butiran sampel

yang sesuai dengan rumus dan hasil simulasi paling mendekati dengan kondisi pengukuran di lapangan.

Tabel 4. 6 Karakteristik Masing-Masing Rumus Sedimen Transpor

Fungsi	D (mm)	dm	S	V
Ackers-White (Flume)	0.04 - 7.0	NA	0.00006 - 0.037	0.07 - 7.1
Englund-Hansen (flume)	NA	0.19 - 0.93	0.000055 – 0.019	0.65 – 6.34
Laursen (field)	NA	0.08– 0.7	0.0000021 – 0.0018	0.068 – 7.8
Laursen (flume)	NA	0.011 -29	0.00025 – 0.025	0.7 - 9.4
Meyer-Peter Muller (flume)	0.4 – 29	NA	0.0004 – 0.02	1.2 – 9.4
Tofaletti (field)	0.062 – 4.0	0.095 – 0.76	0.000002 – 0.0011	0.7 - 7.8
Tofaletti (flume)	0.062 – 4.0	0.45 – 0.91	0.00014 – 0.019	0.7 - 6.3
Yang (field-gravel)	2.5 – 7.0	NA	0.0012 – 0.029	1.4 - 5.1
Yang (field-sand)	0.15 – 1.7	NA	0.000043 – 0.028	0.8 - 6.4

Sumber: Manual HEC-RAS, 2020

- ii. Menentukan **Sorting Method**. Terdapat 3 jenis simulasi *bed shorting* dan *armoring* yang ada pada HEC-RAS. Masing-masing rumus membagi lapisan dasar menjadi lapisan aktif dan inaktif. Lapisan aktif adalah lapisan yang materialnya tertransportasi secara aktif. HEC-RAS mensimulasikan kapasitas transport berdasarkan gradasi pada lapisan aktif, tidak pada semua dasar saluran. Tiga metode tersebut adalah Thomas (Exner-5), pada lapisan aktif terdapat lapisan *cover* dan lapisan *subsurface* dimana lapisan cover atau lapisan pelindung kasar yang membatasi erosi lapisan yang lebih dalam. Kemudian metode Copeland yang mengembangkan versi alternatif dari algoritma pencampuran Thomas (Exner 7) dimana metode ini dirancang untuk sungai berpasir karena membentuk lapisan pelindung lebih lambat dan memperhitungkan erosi yang lebih besar. Terakhir adalah metode *Active Layer* yang membagi lapisan dasar menjadi 30% lapisan aktif dan 70% lapisan inaktif. Pada penelitian ini, simulasi dilakukan menggunakan metode Thomas (Exner 5).

- iii. Metode kecepatan jatuh yang terdapat dalam pilihan antara lain Ruby yang merupakan metode default HEC-RAS, Toffaleti, Van Rijn, Report 12, dan Dietrich. Pada penelitian ini digunakan metode kecepatan jatuh Toffaleti disesuaikan dengan metode transport sedimen yang digunakan. Gambar 4.14 menampilkan kombinasi fungsi dan metode yang digunakan dalam simulasi transpor sedimen ini.

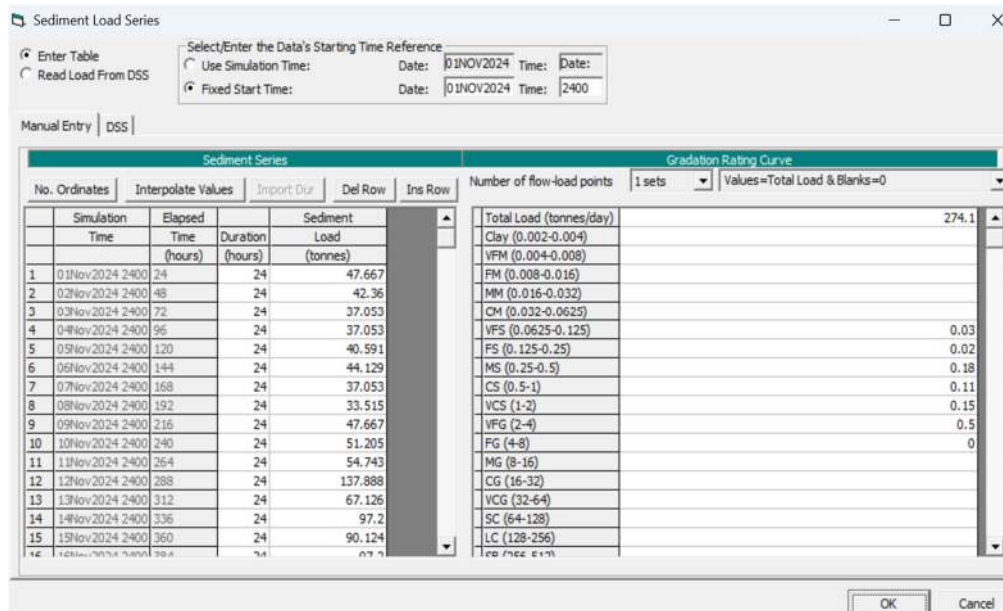
	River	Reach	RS	Invert	Max Depth	Min Elev	Left Sta	Right Sta	Bed Gradation
1	Sungai Palu	Hilir Sungai Pal	43	1.516	2.322		3.393	59.358	Sedimen Grab 23 Mei
2	Sungai Palu	Hilir Sungai Pal	42	1.451	1.945		2.7	63.103	Sedimen Grab 23 Mei
3	Sungai Palu	Hilir Sungai Pal	41	1.366	2.376		1.868	66.917	Sedimen Grab 23 Mei
4	Sungai Palu	Hilir Sungai Pal	40	1.257	3.554		1.801	64.194	Sedimen Grab 23 Mei
5	Sungai Palu	Hilir Sungai Pal	39	1.101	2.737		5.035	61.703	Sedimen Grab 23 Mei
6	Sungai Palu	Hilir Sungai Pal	38	1.182	1.6		3.499	56.446	Sedimen Grab 23 Mei
7	Sungai Palu	Hilir Sungai Pal	37	1.095	1.6		4.823	52.212	Sedimen Grab 23 Mei
8	Sungai Palu	Hilir Sungai Pal	36	0.162	3.727		3.694	55.401	Sedimen Grab 23 Mei
9	Sungai Palu	Hilir Sungai Pal	35	0.87	3.224		2.83	57.085	Sedimen Grab 23 Mei
10	Sungai Palu	Hilir Sungai Pal	34	0.83	1.75		3.746	54.686	Sedimen Grab 23 Mei
11	Sungai Palu	Hilir Sungai Pal	33	0.718	1.8		2.112	56.239	Sedimen Grab 23 Mei

Gambar 4. 14 Layar Editor Data Sedimen

Sumber: *User's Manual HEC-RAS*

- c. Mengisi kedalaman maksimal dengan mengarahkan kursor ke tabel dengan kolom bertuliskan **Max Depth**. Nilai kedalaman maksimal diisi dengan memasukkan selisih elevasi tertinggi dengan elevasi terendah penampang basah sungai pada masing-masing patok tampang melintang.
- d. Mengisi batas bantaran kiri dan kanan penampang basah sungai pada masing-masing patok tampang melintang dengan menginput pada kolom **Left Sta** dan **Right Sta**, nilai pada kolom ini harus persis dengan nilai yang terinput pada data geometri.
- e. Menginput syarat batas hulu dengan mengarahkan kursor ke tab bertuliskan **Boundary Conditions**. Terdapat tiga tipe boundary condition antara lain *Rating Curve*, *Sediment Load Series*, dan *Equilibrium Load*. Pada simulasi yang dilakukan, dipilih *boundary condition* tipe *Load Series* dengan menggunakan data debit sedimen per hari (Gambar 4.15). Selain itu, dimasukan juga data **Gradation Rating Curve**. Pada baris **Total Load** diisi nilai sedimen terbesar

sepanjang waktu tinjauan kemudian pada baris klasifikasi sedimen diisi data yang diperoleh dari berat tertahan pada analisa saringan sampel.



Gambar 4. 15 Layar Editor Sediment Load Series

Sumber: *User's Manual* HEC-RAS

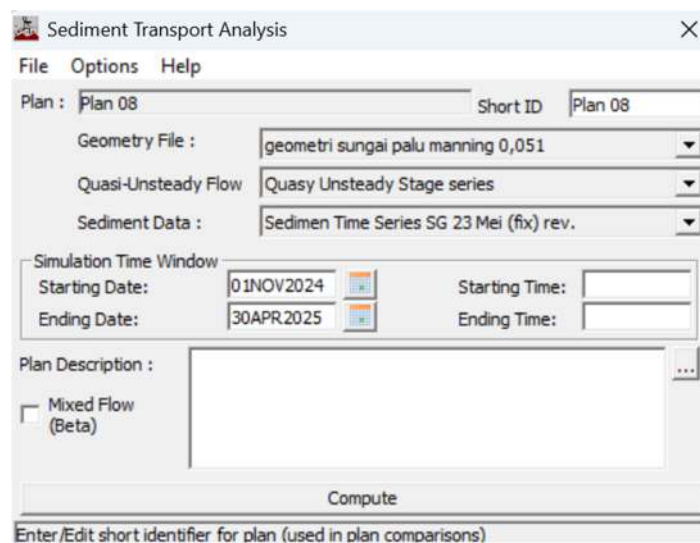
4.2.4 Simulasi Transport Sedimen

Setelah data sedimen dan data aliran dimasukkan maka dapat dilakukan simulasi transport sedimen pada Sungai Palu. Pelaksanaan simulasi dilakukan pada aliran tak permanen untuk melihat proses pergerakan sedimen berupa aggradasi dan degradasi. Adapun langkah-langkah dalam pelaksanaan simulasi adalah sebagai berikut:

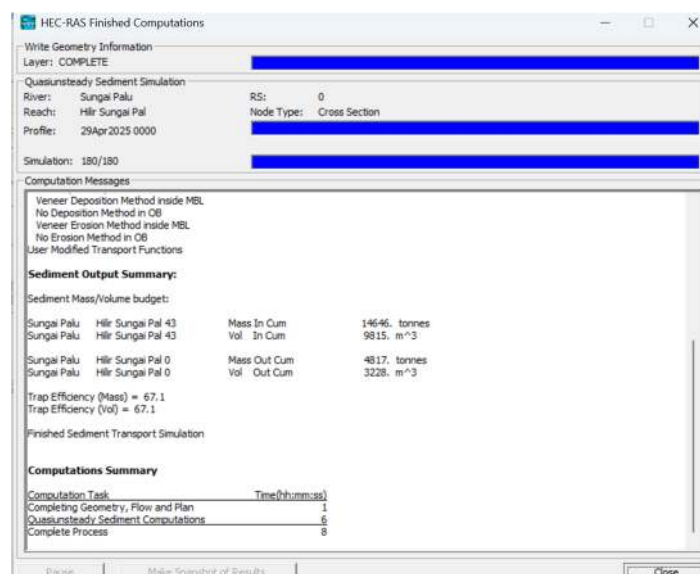
- Mengaktifkan layar utama HEC-RAS kemudian menekan opsi **Run | Quasy Unsteady Analysis (Sediment)** atau dengan mengklik ikon ().
- Membuat *Plan file* dengan memilih menu **File | New Plan** kemudian beri nama.
- Mengecek kesesuaian file *Geometry*, *Quasy Unsteady Flow*, dan *Sediment Data* yang akan disimulasikan.
- Mengisi *Simulation Time Window* sesuai dengan data *time series* yang digunakan pada data *quasy unsteady flow*. *Time Window* ini terdiri *Starting Date* dan *Ending Date* dengan format DDMMYYYY, sedangkan *Starting Time* dan *Ending Time* diisi dengan format HHMM dalam sistem waktu 24 jam. *Time Window* ini bisa diatur lebih panjang dibanding data yang dimasukkan

namun tidak bisa lebih pendek. Pada penelitian ini *starting date* “01NOV2024” dan *ending date* “30APR2025”.

- e. Menekan **Compute** untuk memulai simulasi. Proses simulasi akan berjalan pada box HEC-RAS. Komputasi ditandai dengan bar berwarna biru (Gambar 4.16), jika proses simulasi berhasil tanpa error maka bar *Writing Geometry Information*, *Sediment Simulation*, dan *Simulation* berwarna biru penuh dan disertai keterangan “*Finished Sediment Transport Simulation*”.



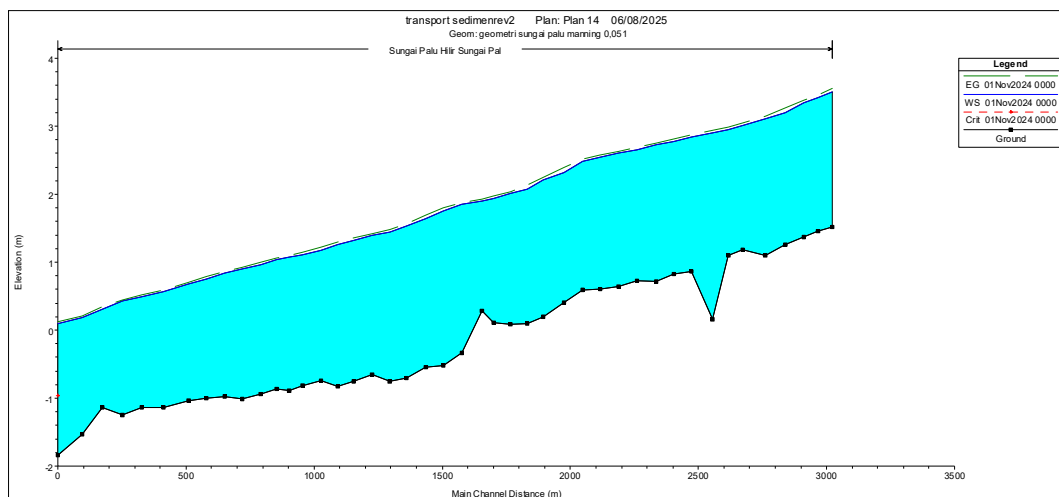
Gambar 4. 16 Layar Editor Analisis Sedimen Transpor
Sumber: *User's Manual HEC-RAS*



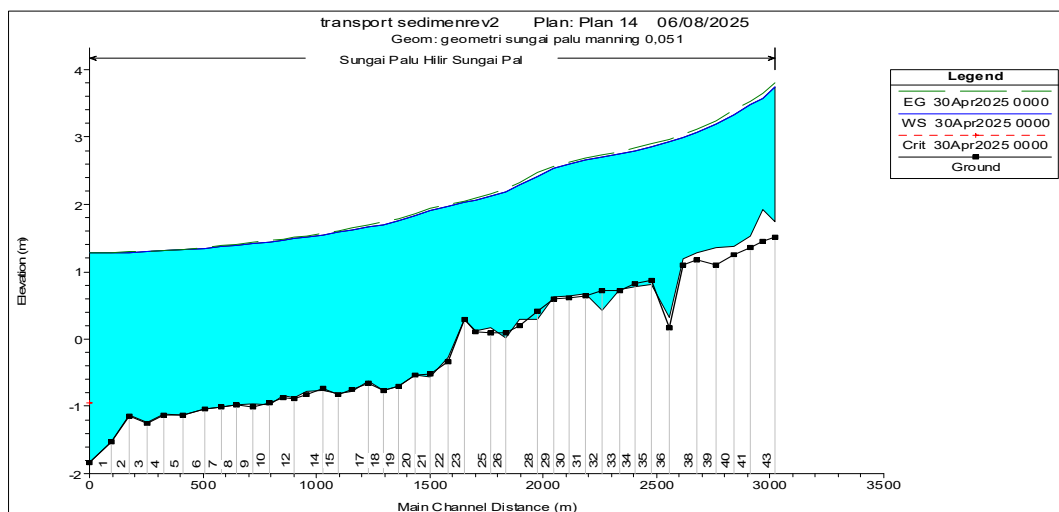
Gambar 4. 17 Layar Menampilkan Komputasi Selesai
Sumber: *User's Manual HEC-RAS*

4.3 Hasil Simulasi Analisis Transpor Sedimen

Berdasarkan hasil simulasi transpor sedimen yang telah dilakukan pada ruas Sungai Palu sebagai lokasi penelitian dapat diketahui perubahan elevasi dasar sungai akibat dari pergerakan sedimen berupa kenaikan dan penurunan elevasi pada area-area tertentu. Terlihat pada gambar 4.18 dan gambar 4.19 adanya perubahan berupa terbentuk ruang di antara dasar saluran dengan dasar aliran air pada awal simulasi 1 November 2024 dan akhir simulasi 30 April 2025 yang menandakan adanya kenaikan elevasi. Sedangkan area biru yang melewati garis hitam menandakan penurunan elevasi.



Gambar 4. 18 Profil Aliran Sungai Palu 1 November 2024
Sumber: Hasil Analisis HEC-RAS 6.6, 2025

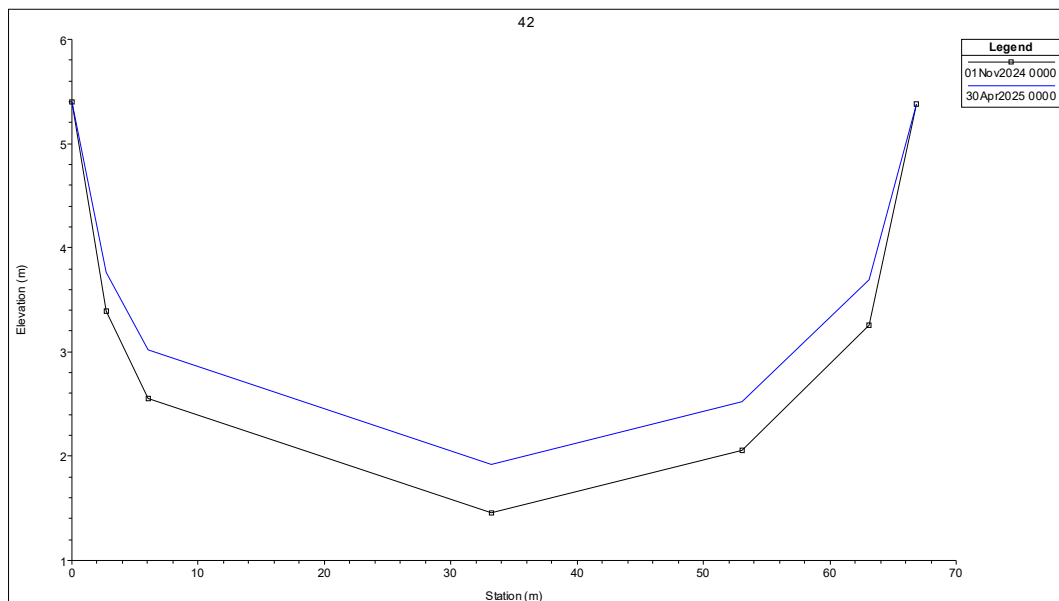


Gambar 4. 19 Profil Aliran Sungai Palu 30 April 2025
Sumber: Hasil Analisis HEC-RAS 6.6, 2025

4.3.1 Perubahan Elevasi Dasar Sungai

Pada bagian ini, data perubahan elevasi dasar sungai yang diperoleh dari hasil pengukuran lapangan digunakan sebagai acuan untuk memverifikasi hasil simulasi perubahan morfologi sungai yang dihasilkan dari simulasi HEC-RAS. Verifikasi dilakukan pada 3 lokasi yaitu pada RS 42, RS 23 dan RS 11 dimana RS 42 adalah lokasi Jembatan Gantung Maesa-Nunu, RS 23 adalah lokasi Jembatan 1 Palu, dan RS 11 adalah Lokasi Jembatan 3 Palu. Perbandingan antara hasil pengukuran dan simulasi ini bertujuan untuk menilai tingkat akurasi model dalam mempresentasikan kondisi perubahan dasar sungai di lapangan.

Berdasarkan gambar 4.20 terlihat pada RS 42 (Jembatan Gantung Maesa-Nunu) terjadi perubahan elevasi penampang dasar sungai setelah simulasi. Garis hitam menunjukkan elevasi awal penampang RS 42 yaitu pada 1 November 2024 sedangkan garis biru menunjukkan elevasi setelah simulasi yaitu 30 April 2025.



Gambar 4. 20 Perubahan Profil Melintang Sungai Palu Pada Patok 42
Sumber: Hasil Analisis HEC-RAS 6.6, 2025

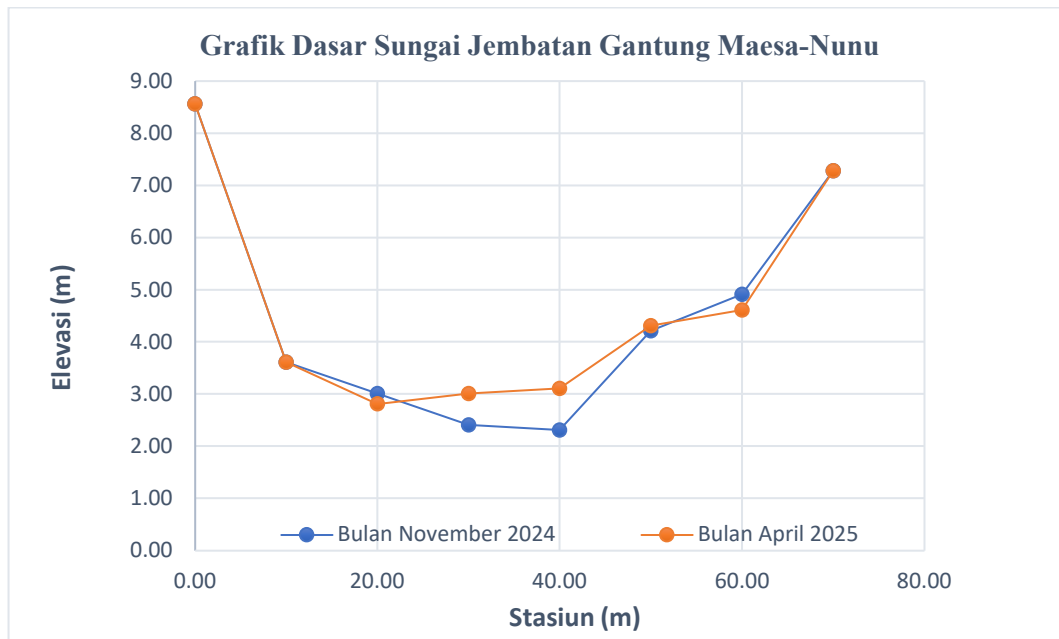
Pada tabel 4.7, tabel yang menunjukkan nilai perubahan pada potongan melintang RS 42 dapat diketahui bahwa saluran utama RS 42 yang berada pada stasiun 33,25 meter mengalami kenaikan dasar saluran dimana pada awal simulasi

elevasi +1,45 meter menjadi +1,92 meter pada akhir simulasi. Hal ini menunjukkan terjadinya akumulasi sedimen dengan peningkatan elevasi dasar sebesar 0,47 meter.

Tabel 4. 7 Perubahan Elevasi RS 42 Per Bulan Pada HEC-RAS

Tanggal	STA	ELV	Tanggal	STA	ELV
01/11/2024	0.00	5.40	31/01/2025	0.00	5.40
	2.70	3.40		2.70	3.48
	6.02	2.55		6.02	2.70
	33.25	1.45		33.25	1.60
	53.09	2.05		53.09	2.20
	63.10	3.25		63.10	3.38
	66.89	5.38		66.89	5.38
30/11/2024	0.00	5.40	28/02/2025	0.00	5.40
	2.70	3.45		2.70	3.55
	6.02	2.61		6.02	2.78
	33.25	1.51		33.25	1.68
	53.09	2.11		53.09	2.28
	63.10	3.31		63.10	3.45
	66.89	5.38		66.89	5.38
29/12/2024	0.00	5.40	30/04/2025	0.00	5.40
	2.70	3.48		2.70	3.76
	6.02	2.70		6.02	3.02
	33.25	1.60		33.25	1.92
	53.09	2.20		53.09	2.52
	63.10	3.38		63.10	3.69
	66.89	5.38		66.89	5.38

Sumber: Hasil Analisis HEC-RAS 6.6, 2025



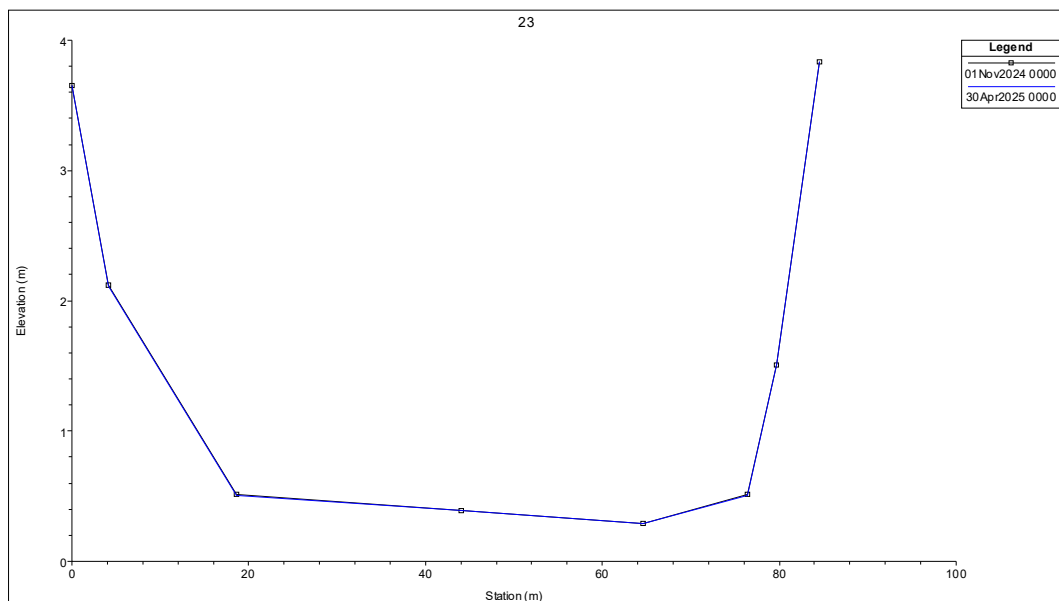
Gambar 4. 21 Grafik Pengukuran Profil Melintang Sungai Palu Jembatan Gantung.

Tabel 4. 8 Perubahan Elevasi Penampang Melintang Sungai Pada Segmen Jembatan Gantung

Tanggal	STA	ELV	Tanggal	STA	ELV
20/11/24	0.00	Tanggul +8.56	30/04/25	0.00	Tanggul +8,56
	10.00	3.61		10.00	3.61
	20.00	3.01		20.00	2.81
	30.00	2.41		30.00	3.01
	40.00	2.31		40.00	3.11
	50.00	4.21		50.00	4.31
	60.00	4.91		60.00	4.61
	70.00	7.28		70.00	7.28

Membandingkan hasil simulasi HEC-RAS pada RS 42 tersebut dengan hasil pengukuran yang ditunjukkan pada gambar 4.21, terdapat kecenderungan yang serupa, yaitu peningkatan elevasi dasar di lokasi yang sama. Namun, nilai perubahan yang diperoleh dari pengukuran lebih besar, dimana elevasi terendah penampang pada bulan november tercatat +2,31 meter kemudian meningkat menjadi +3,11 meter pada bulan april. Dengan demikian, dari hasil pengukuran diperoleh peningkatan elevasi dasar sungai sebesar 0,80 meter.

Terlihat pada gambar 4.22, hasil simulasi pada RS 23 hampir tidak terjadi perubahan dimana garis berwarna hitam sebagai elevasi awal simulasi dan garis biru sebagai elevasi akhir simulasi terlihat sejajar. Berdasarkan pada Tabel 4.9 rincian perubahan yang terjadi pada RS 23 dapat diketahui bahwa terjadi penurunan elevasi pada RS 23 tetapi dengan nilai yang kecil, pada stasiun 64,64 meter berelevasi +0,289 meter pada awal simulasi kemudian menjadi +0,287 meter pada akhir simulasi dimana terjadi penurunan elevasi sebesar 0,002 meter.



Gambar 4. 22 Perubahan Profil Melintang Sungai Palu Pada Patok 23
Sumber : Hasil Analisis HEC-RAS 6.6, 2025

Tabel 4. 9 Perubahan Elevasi RS 23 Hasil Simulasi HEC-RAS

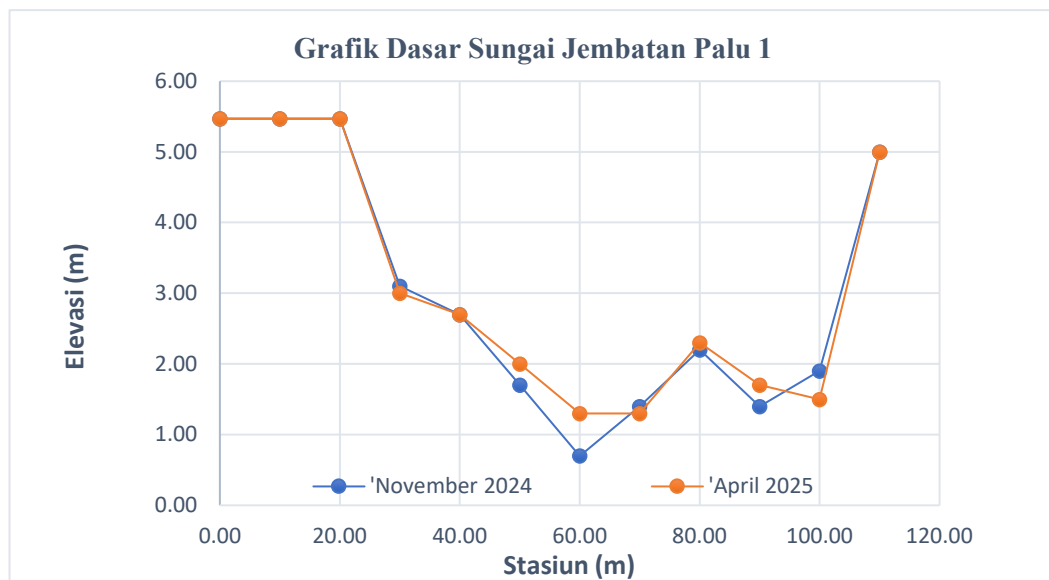
Tanggal	STA	ELV	Tanggal	STA	ELV
30/11/2024	0.00	3.65	28/02/2025	0.00	3.65
	4.13	2.12		4.13	2.15
	18.58	0.53		18.58	0.64
	44.09	0.41		44.09	0.52
	64.64	0.31		64.64	0.42
	76.41	0.53		76.41	0.64
	79.69	1.53		79.69	1.62
	84.55	3.83		84.55	3.83
29/12/2024	0.00	3.65	31/03/2025	0.00	3.65
	4.13	2.11		4.13	2.16
	18.58	0.48		18.58	0.61
	44.09	0.36		44.09	0.49
	64.64	0.26		64.64	0.39

Lanjutan Tabel 4.9 Perubahan Elevasi RS 23 Hasil Simulasi HEC-RAS

Tanggal	STA	ELV	Tanggal	STA	ELV
31/01/2025	76.41	0.48	30/04/2025	76.41	0.61
	79.69	1.48		79.69	1.59
	84.55	3.83		84.55	3.83
	0.00	3.65		0.00	3.65
	4.13	2.15		4.13	2.12
	18.58	0.56		18.58	0.51
	44.09	0.44		44.09	0.39
	64.64	0.34		64.64	0.29
	76.41	0.56		76.41	0.51
	79.69	1.56		79.69	1.51
	84.55	3.83		84.55	3.83

Sumber: Hasil Analisis HEC-RAS 6.6, 2025

Hasil pengukuran lapangan menunjukkan adanya peningkatan elevasi dasar sungai pada segmen Jembatan 1 Palu. Berdasarkan Gambar 4.23 dapat terlihat kenaikan elevasi dimana garis biru menunjukkan elevasi pada awal simulasi dan garis berwarna jingga menunjukkan elevasi setelah simulasi.



Gambar 4. 23 Grafik Pengukuran Profil Melintang Sungai Palu Jembatan 1 Palu.

Berdasarkan Tabel 4.10, elevasi dasar sungai pada stasiun 60 meter tercatat sebesar +0,7 meter pada bulan november kemudian meningkat menjadi +1,3 meter pada bulan april yang menunjukan terjadinya pengendapan sedimen sebesar 0,6

meter. Pada stasiun 80 meter terdapat pelat dari pilar jembatan yang menyebabkan hasil pengukuran menunjukkan kenaikan elevasi dasar sungai secara signifikan di titik tersebut.

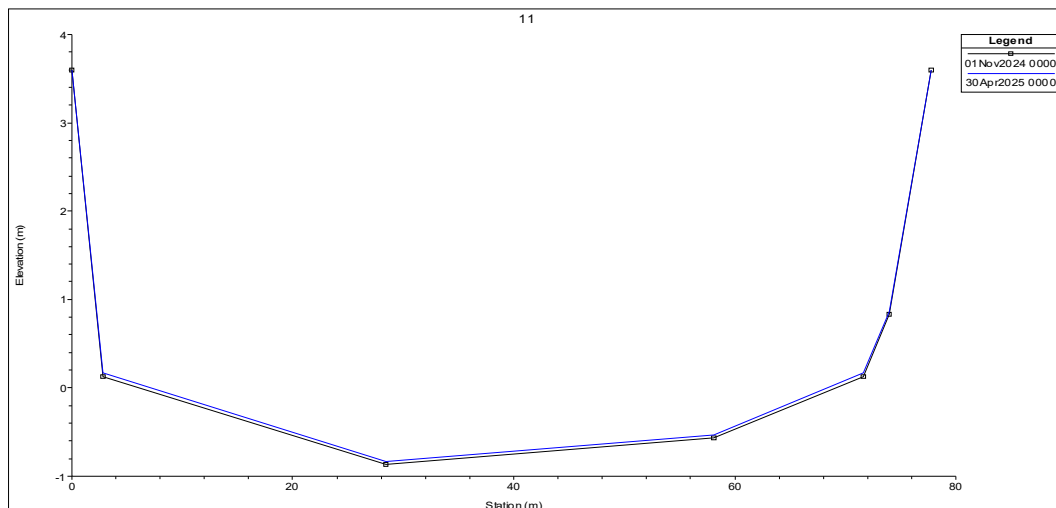
Tabel 4. 10 Perubahan Elevasi Penampang Melintang Pada Segmen Jembatan 1 Palu

Tanggal	STA	ELV	Tanggal	STA	ELV
30/11/2024	0.00	Tanggul	30/04/2025	0.00	Tanggul
	10.00	Tanggul		10.00	Tanggul
	20.00	5.47		20.00	5.47
	30.00	3.10		30.00	3.00
	40.00	2.70		40.00	2.70
	50.00	1.70		50.00	2.00
	60.00	0.70		60.00	1.30
	70.00	1.40		70.00	1.30
	80.00	2.20		80.00	2.30
	90.00	1.40		90.00	1.70
	100.00	1.90		100.00	1.50
	110.00	5.00		110.00	5.00

Pada RS 23 (segmen Jembatan Palu 1) terjadi perbedaan yang cukup besar antara hasil simulasi dengan data ukur di lapangan. Banyak faktor yang dapat mempengaruhi hal ini, salah satunya adalah adanya bangunan berupa pilar dan plat jembatan yang tidak tergambarkan pada HEC-RAS sehingga memungkinkan perubahan elevasi tidak sepenuhnya terwakili oleh model. Selain itu, apabila data ukuran sedimen atau fungsi transpor yang digunakan kurang mewakili kondisi aktual juga memungkinkan menghasilkan model yang berbeda. Kesalahan juga dapat terjadi saat pengukuran di lapangan yaitu pembacaan kedalaman yang kurang teliti atau meleset akibat arus deras dari aliran air sungai.

Dapat dilihat pada Gambar 4.25, RS 11 juga mengalami kenaikan elevasi ditandai dengan garis berwarna biru yaitu garis hasil akhir simulasi berelevasi di atas garis berwarna hitam yaitu garis penanda elevasi awal simulasi. berdasarkan Tabel 4.11 dapat diketahui besar kenaikan elevasi yang terjadi di RS 11 dimana pada bulan november di stasiun 28,42 meter memiliki elevasi -0,87 meter sedangkan pada akhir simulasi elevasi stasiun naik menjadi -0,83. Kenaikan elevasi

akibat sedimen pada RS 11 berdasarkan hasil simulasi HEC-RAS sebesar 0,04 meter.



Gambar 4. 24 Perubahan Profil Melintang Sungai Palu Pada Patok 11
Sumber : Hasil Analisis HEC-RAS 6.6, 2025

Tabel 4. 11 Perubahan Elevasi RS 11 Hasil Simulasi HEC-RAS

Tanggal	STA	ELV	Tanggal	STA	ELV
30/11/2024	0.00	3.60	28/02/2025	0.00	3.60
	2.79	0.13		2.79	0.14
	28.42	-0.87		28.42	-0.86
	58.12	-0.57		58.12	-0.56
	71.62	0.13		71.62	0.14
	73.95	0.83		73.95	0.84
	77.76	3.60		77.76	3.60
29/12/2024	0.00	3.60	31/03/2025	0.00	3.60
	2.79	0.10		2.79	0.22
	28.42	-0.90		28.42	-0.78
	58.12	-0.60		58.12	-0.48
	71.62	0.10		71.62	0.22
	73.95	0.80		73.95	0.92
	77.76	3.60		77.76	3.60
31/01/2025	0.00	3.60	30/04/2025	0.00	3.60
	2.79	0.15		2.79	0.17
	28.42	-0.85		28.42	-0.83

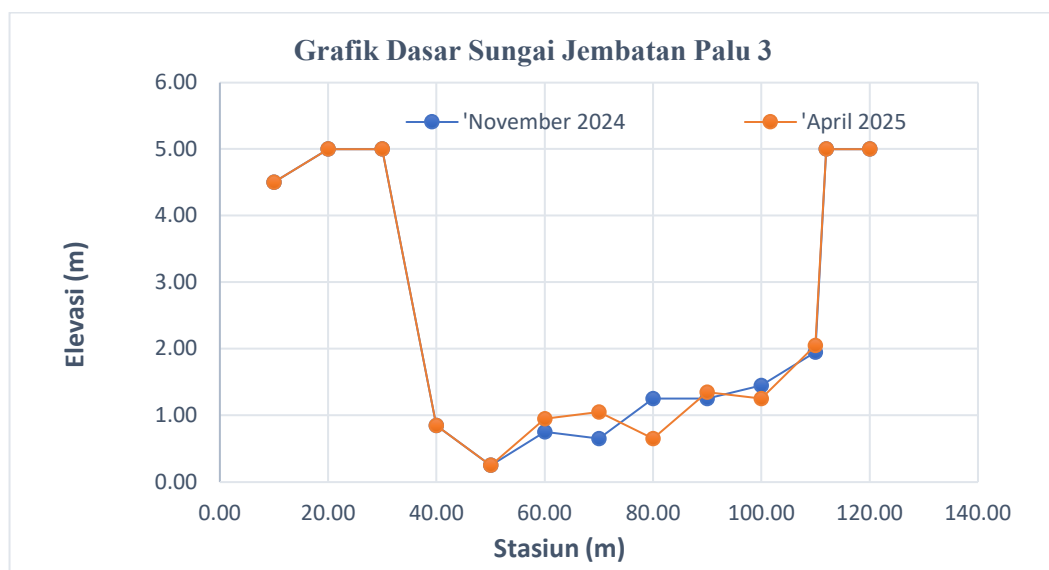
Lanjutan Tabel 4.11 Perubahan Elevasi RS 11 Hasil Simulasi HEC-RAS

Tanggal	STA	ELV	Tanggal	STA	ELV
	58.12	-0.55		58.12	-0.54
	71.62	0.15		71.62	0.17
	73.95	0.85		73.95	0.86
	77.76	3.60		77.76	3.60

Sumber: Hasil Analisis HEC-RAS 6.6, 2025

Berdasarkan hasil pengukuran yang ditampilkan pada gambar 4.25. terjadi perubahan elevasi dasar sungai pada penampang melintang di lokasi jembatan 3 Palu antara bulan November dan April. Pada stasiun 60 meter hingga 75 meter terjadi penumpukan sedimen dengan akumulasi sebesar 0,4 meter. Sedangkan pada bagian antara stasiun 75 meter hingga 90 meter terjadi pengikisan dasar sungai sebesar 0,6 meter.

Pada saat pengukuran data lapangan, khususnya pada segmen Jembatan Palu 3 sedang berjalan kegiatan proyek penggalian pembuatan tanggul pada bantaran sungai berdekatan dengan lokasi pengukuran, besar kemungkinan kegiatan penggalian dan penimbunan tersebut mempengaruhi hasil pengukuran. Pengukuran tampang lintang yang dilakukan tiap bulan di Jembatan 3 Palu dapat dilihat pada lampiran 1.

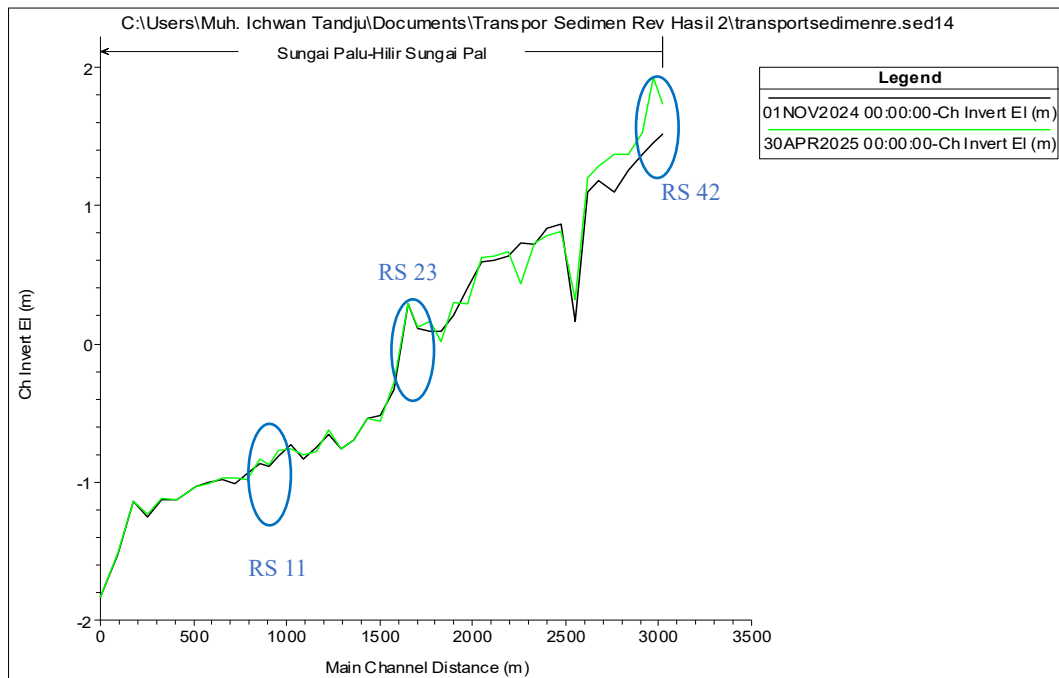


Gambar 4. 25 Grafik Pengukuran Profil Melintang Sungai Palu Jembatan 3 Palu.

Tabel 4. 12 Perubahan Elevasi Penampang Melintang Pada Jembatan 3 Palu

Tanggal	STA	ELV	Tanggal	STA	ELV
30/11/2024	0.00	Tanggul	30/04/2025	0.00	Tanggul
	10.00	Tanggul		10.00	Tanggul
	20.00	Tanggul		20.00	Tanggul
	30.00	Tanggul		30.00	Tanggul
	40.00	0.85		40.00	0.85
	50.00	0.25		50.00	0.25
	60.00	0.75		60.00	0.95
	70.00	0.65		70.00	1.05
	80.00	1.25		80.00	0.65
	90.00	1.25		90.00	1.35
	100.00	1.45		100.00	1.25
	110.00	1.95		110.00	2.05

Gambar 4.26 menampilkan keseluruhan perubahan elevasi dasar saluran pada potongan memanjang sungai hasil simulasi HEC-RAS selama 6 bulan. Garis berwarna hitam mewakili elevasi pada awal simulasi dan garis berwarna hijau mewakili elevasi pada akhir simulasi.



Gambar 4. 26 Profil Sediment Spasial Plot

Sumber: Hasil Analisis HEC-RAS 6.6, 2025

Tabel 4. 13 Analisis Perubahan Elevasi Setelah Simulasi HEC-RAS

RS	STA (m)	Elevasi Dasar Saluran (m)		Δh (m)	Keterangan
		1 Nov 2024	30 Apr 2025		
43	53.96	1.516	1.737	0.221	Belokkan
42	58.16	1.451	1.922	0.471	Belokkan
41	69.01	1.366	1.530	0.164	Belokkan
40	78.48	1.257	1.372	0.115	Belokkan
39	88.86	1.101	1.365	0.264	Lurus
38	57.32	1.182	1.282	0.100	Belokkan
37	61.87	1.095	1.197	0.102	Lurus
36	80.44	0.162	0.322	0.160	Lurus
35	70.80	0.870	0.814	-0.056	Lurus
34	67.58	0.830	0.785	-0.045	Lurus
33	75.28	0.718	0.730	0.012	Lurus
32	72.70	0.725	0.434	-0.291	Lurus
31	71.91	0.640	0.669	0.029	Lurus
30	68.00	0.605	0.634	0.029	Lurus
29	72.34	0.592	0.621	0.029	Lurus
28	80.09	0.408	0.292	-0.116	Belokkan
27	62.70	0.203	0.297	0.094	Belokkan
26	64.46	0.093	0.014	-0.079	Lurus
25	66.73	0.087	0.161	0.074	Lurus
24	46.21	0.106	0.121	0.015	Lurus
23	77.46	0.289	0.287	-0.002	Lurus
22	74.17	-0.334	-0.274	0.060	Lurus
21	68.48	-0.523	-0.566	-0.043	Lurus
20	74.40	-0.539	-0.537	0.002	Belokkan
19	66.28	-0.699	-0.703	-0.004	Belokkan
18	67.97	-0.757	-0.766	-0.009	Belokkan
17	70.26	-0.660	-0.627	0.033	Lurus
16	61.95	-0.752	-0.782	-0.030	Lurus
15	67.29	-0.830	-0.807	0.023	Lurus
14	72.95	-0.735	-0.765	-0.030	Lurus
13	50.99	-0.817	-0.772	0.044	Belokkan
12	48.35	-0.883	-0.875	0.008	Belokkan
11	63.71	-0.868	-0.835	0.033	Lurus
10	71.05	-0.941	-0.984	-0.043	Lurus
9	69.13	-1.013	-0.968	0.044	Lurus
8	71.01	-0.979	-0.974	0.005	Lurus

Lanjutan Tabel 4.13 Analisis Perubahan Elevasi Setelah Simulasi HEC-RAS

RS	STA (m)	Elevasi Dasar Saluran (m)		Δh (m)	Keterangan
		1 Nov 2024	30 Apr 2025		
7	68.91	-1.003	-1.015	-0.012	Lurus
6	100.04	-1.037	-1.031	0.006	Lurus
5	83.44	-1.130	-1.132	-0.002	Belokkan
4	75.57	-1.131	-1.115	0.016	Belokkan
3	78.11	-1.250	-1.238	0.012	Lurus
2	78.81	-1.139	-1.136	0.003	Lurus
1	94.71	-1.528	-1.521	0.007	Lurus
0	0.00	-1.835	-1.832	0.003	Lurus

Sumber: Hasil Analisis HEC-RAS 6.6, 2025

Tabel 4.13 merupakan rincian perubahan elevasi pada masing-masing patok berdasarkan Gambar 4.26, berdasarkan tabel diketahui bahwa sebagian besar penampang sungai mengalami peningkatan elevasi dasar sungai akibat pengendapan sedimen. Tercatat sebanyak 30 patok mengalami kenaikan elevasi antara lain, RS 43, 42, 41, 40, 39, 38, 37, 36, 33, 31, 30, 29, 27, 25, 24, 22, 20, 17, 15, 13, 12, 11, 9, 8, 6, 4, 3, 2, 1 dan RS 0 dengan nilai kenaikan elevasi terbesar yaitu 0,471 meter pada RS 42 dan rata-rata kenaikan elevasi sebesar 0,073 meter. Sedangkan patok yang mengalami penurunan elevasi berjumlah 14 patok antara lain RS 35, 34, 32, 28, 26, 23, 21, 20, 19, 18, 16, 14, 10, 7 dan RS 5 dengan penurunan terbesar yaitu 0,291 meter pada RS 32 dan rata-rata penurunan elevasi sebesar 0,054 meter. Perubahan elevasi pada masing-masing patok dapat dilihat pada tabel kolom Δh .

Terlihat dari gambar 4.26 kenaikan elevasi pada bagian hulu simulasi terjadi cukup besar, pada bagian hilir simulasi juga mengalami sedimentasi tetapi dengan nilai kenaikan elevasi yang tidak signifikan. Besarnya kenaikan elevasi dasar sungai pada patok di hulu simulasi berkemungkinan diakibatkan oleh pengaruh tinggi muka air pasang di hilir yang menyebabkan *backwater* dan mempengaruhi kecepatan aliran sungai. Pada Gambar 4.19, terlihat dari garis energi aliran air sungai bahwa tinggi muka air hilir mempengaruhi aliran sungai hingga RS 33 yang berada kurang dari 1 km dari patok hulu simulasi (RS 43). Fenomena yang sama terjadi di Sungai Serang Yogyakarta dimana terjadi pengendapan material sedimen

di area pertemuan antara aliran sungai dengan gelombang air laut. Arus yang membawa sedimen dari sungai bertabrakan dengan arus yang bergerak berlawanan arah (arus saat pasang) sehingga energi arus berkurang dan sedimen mengendap di daerah tersebut (Fikri et al., 2013). Selain itu, kemiringan sungai yang makin melandai di bagian hilir dan material dasar yang didominasi butiran berukuran halus dan pasir sangat berpotensi menyebabkan sedimentasi.

Berdasarkan tabel 4.13 juga dapat diketahui bahwa simulasi transpor sedimen 1 dimensi yang dilakukan belum menggambarkan secara maksimal pola gerusan dan sedimentasi jika aliran berbelok. Berdasarkan (Ishak, 2010) dampak utama akibat dari fenomena aliran pada belokkan adalah terjadinya serangan pada tebing saluran pada sisi luar belokan, serta pengendapan atau sedimentasi pada dasar saluran di dekat sisi dalam belokan. Seperti pada RS 42 (segmen Jembatan Gantung Maesa-Nunu) dimana hasil pengukuran, bagian dalam tikungan mengalami sedimentasi tetapi hasil simulasi HEC-RAS 1D tidak dapat menggambarkan pola serupa.

4.3.2 Analisis Tingkat Keakuratan Model

Membandingkan hasil simulasi HEC-RAS dengan pengukuran di lapangan diperoleh pola yang cukup beragam sehingga dilakukan perhitungan ukuran kesalahan prediksi menggunakan MAE (*Mean Absolut Error*) untuk mengetahui apakah akumulasi besarnya kenaikan dan penurunan elevasi dasar sungai hasil dari simulasi merepresentasikan keadaan yang aktual. MAE adalah metode pengukuran kesalahan prediksi yang banyak digunakan dalam evaluasi model (Hodson, 2022). Berikut persamaan yang digunakan berdasarkan (Hodson, 2022):

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_1 - \hat{y}_1| \quad \dots(4.2)$$

Dimana:

y_1 = Data pengukuran

$\hat{y}_1$ = Data model

n = Banyak data

Tabel 4. 14 Perhitungan MAE RS 42 (Jembatan Gantung Maesa-Nunu)

No	STA (m)	Δy_1 (m)	$\Delta \hat{y}_1$ (m)	$\Delta \hat{y}_1 - \Delta y_1$ (m)	MAE (m)	%
1	2.70	0.00	0.37	0.3685	0.1994	26.15
2	6.02	0.60	0.47	0.1290		
3	33.25	0.80	0.47	0.3289		
4	53.09	0.50	0.47	0.0290		
5	63.10	0.30	0.44	0.1415		
$\Sigma =$				0.9969		

Tabel 4. 15 Perhitungan MAE RS 23 (Jembatan Palu 1)

No	STA (m)	Δy_1 (m)	$\Delta \hat{y}_1$ (m)	$\Delta \hat{y}_1 - \Delta y_1$ (m)	MAE (m)	%
1	4.13	0.10	0.00	0.0979	0.2486	32.61
2	18.58	0.00	0.00	0.0020		
3	44.09	0.60	0.00	0.5980		
4	64.64	0.10	0.00	0.0979		
5	76.41	0.30	0.00	0.2980		
6	79.69	0.40	0.00	0.3980		
$\Sigma =$				1.4918		

Tabel 4. 16 Perhitungan MAE RS 11 (Jembatan Palu 3)

No	STA (m)	Δy_1 (m)	$\Delta \hat{y}_1$ (m)	$\Delta \hat{y}_1 - \Delta y_1$ (m)	MAE (m)	%
1	2.79	0.00	0.03	0.0332	0.0676	8.87
2	28.42	0.17	0.03	0.1352		
3	58.12	0.03	0.03	0.0015		
4	71.62	0.15	0.03	0.1182		
5	73.95	0.08	0.03	0.05		
$\Sigma =$				0.3381		

Berdasarkan Tabel 4.14, Tabel 4.15 dan Tabel 4.16 diketahui bahwa pada masing-masing penampang telah dibandingkan ukuran kesalahan prediksi melalui metode MAE. Untuk menilai apakah nilai MAE masih berada pada batas yang dapat diterima, dilakukan perhitungan persentase nilai MAE terhadap rentang perubahan elevasi dasar sungai berdasarkan hasil simulasi yaitu sebesar 0,762 m (selisih kenaikan elevasi terbesar 0,471 m ditambahkan dengan penurunan elevasi

terbesar 0,291 m). Semakin nilai MAE mendekati nol maka semakin akurat hasil simulasi, dari hasil perhitungan yang didapatkan nilai MAE pada 3 lokasi verifikasi model masing-masing sebesar 26,15%, 32,61%, dan 8,87%, berdasarkan Tabel 2.2 dimana nilai kesalahan prediksi paling jauh berada pada rentang 30% sehingga dikategorikan sebagai data yang masih cukup layak. Dengan demikian, hasil simulasi HEC-RAS cukup representatif terhadap kondisi aktual di lapangan dan dapat digunakan sebagai acuan untuk memprediksi perubahan elevasi dasar Sungai Palu. Untuk mendapatkan nilai kesalahan prediksi yang kecil atau mendekati nol, perlu dilakukan simulasi berulang dengan jangka waktu pengamatan yang panjang.

4.3.3 Besar Nilai Agradasi dan Degradasi Yang Terjadi

Pada pembahasan sebelumnya diketahui bahwa hasil analisis dari HEC-RAS terdapat 30 patok yang mengalami agradasi dan 14 patok mengalami degradasi selama masa simulasi dari 1 november 2024 hingga 30 april 2025. Pada tabel 4.17, total volume agradasi mencapai 6405,57 m³, sedangkan total volume degradasi terjadi sebesar 2604,61 m³. Informasi mengenai volume perubahan elevasi dasar sungai pada masing masing patok adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 17 Hasil Analisis HEC-RAS Volume Perubahan Dasar Saluran

RS	STA (m)	Volune Perubahan Dasar Saluran		Keterangan
		(m3)		
		1 Nov 2024	30 Apr 2025	
43	53.96	0.00	191.62	Aggradation
42	58.16	0.00	1235.22	Aggradation
41	69.01	0.00	443.41	Aggradation
40	78.48	0.00	359.33	Aggradation
39	88.86	0.00	999.37	Aggradation
38	57.32	0.00	352.37	Aggradation
37	61.87	0.00	260.24	Aggradation
36	80.44	0.00	486.13	Aggradation
35	70.80	0.00	-195.41	Degradation
34	67.58	0.00	-182.29	Degradation
33	75.28	0.00	36.07	Aggradation
32	72.70	0.00	-1033.41	Degradation
31	71.91	0.00	73.13	Aggradation
30	68.00	0.00	70.67	Aggradation

Lanjutan Tabel 4.17 Hasil Analisis HEC-RAS Volume Perubahan Dasar Saluran

RS	STA (m)	Volume Perubahan Dasar Saluran		Keterangan
		(m3)		
		1 Nov 2024	30 Apr 2025	
29	72.34	0.00	80.10	Aggradation
28	80.09	0.00	-317.97	Degradation
27	62.70	0.00	359.21	Aggradation
26	64.46	0.00	-236.18	Degradation
25	66.73	0.00	266.08	Aggradation
24	46.21	0.00	23.45	Aggradation
23	77.46	0.00	-21.84	Degradation
22	74.17	0.00	230.37	Aggradation
21	68.48	0.00	-140.00	Degradation
20	74.40	0.00	-2.48	Aggradation
19	66.28	0.00	-13.67	Degradation
18	67.97	0.00	-27.52	Degradation
17	70.26	0.00	94.88	Aggradation
16	61.95	0.00	-92.49	Degradation
15	67.29	0.00	63.37	Aggradation
14	72.95	0.00	-96.71	Degradation
13	50.99	0.00	137.26	Aggradation
12	48.35	0.00	14.86	Aggradation
11	63.71	0.00	106.59	Aggradation
10	71.05	0.00	-143.52	Degradation
9	69.13	0.00	193.39	Aggradation
8	71.01	0.00	12.91	Aggradation
7	68.91	0.00	-47.66	Degradation
6	100.04	0.00	18.44	Aggradation
5	83.44	0.00	-53.46	Degradation
4	75.57	0.00	76.73	Aggradation
3	78.11	0.00	84.42	Aggradation
2	78.81	0.00	24.73	Aggradation
1	94.71	0.00	94.46	Aggradation
0	0.00	0.00	16.75	Aggradation

Sumber: Hasil Analisis HEC-RAS 6.6, 2025

Besarnya nilai agradasi yang terjadi pada Sungai Palu berpotensi menimbulkan permasalahan serius dalam jangka panjang, khususnya apabila material sedimen yang mengendap di dasar sungai mengalami proses pemadatan secara alamiah. Pemadatan tersebut menyebabkan sedimen menjadi lebih sulit

untuk bergerak kembali oleh aliran sungai. Seiring berjalanya waktu, kondisi tersebut akan menyebabkan penurunan kapasitas tampung sungai dan memperbesar resiko limpasan air saat debit tinggi.

Dalam konteks pengelolaan sungai, kondisi aggradasi yang terus berlanjut dapat mengganggu kestabilan morfologi sungai. Oleh karena itu diperlukan upaya pengendalian sedimen secara berkelanjutan, seperti normalisasi sungai, pengerukan berkala, serta penerapan teknik konservasi lahan di daerah tangkapan air untuk mengurangi suplai sedimen dari hulu. Pemanfaatan hasil simulasi HEC-RAS juga dapat menjadi alat pendukung dalam merencanakan strategi pengelolaan sedimen dengan memprediksi zona rawan aggradasi dan merumuskan tindakan mitigasi yang tepat sasaran.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan simulasi transpor sedimen melalui HEC-RAS 6.6 dengan menggunakan data debit sedimen dasar dan analisis menggunakan fungsi transpor Tofaletti selama 6 bulan dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada penampang Sungai Palu ruas Kota Palu sebagian besar mengalami sedimentasi akibat pergerakan material dasar. Dari total 44 patok, terdapat 30 patok mengalami kenaikan elevasi antara lain, RS 43, 42, 41, 40, 39, 38, 37, 36, 33, 31, 30, 29, 27, 25, 24, 22, 20, 17, 15, 13, 12, 11, 9, 8, 6, 4, 3, 2, 1 dan RS 0 dengan nilai kenaikan elevasi terbesar yaitu 0,471 meter pada RS 42 dan rata-rata kenaikan elevasi sebesar 0,073 meter. Sedangkan patok yang mengalami penurunan elevasi berjumlah 14 patok antara lain RS 35, 34, 32, 28, 26, 23, 21, 20, 19, 18, 16, 14, 10, 7 dan RS 5 dengan penurunan terbesar yaitu 0,291 meter pada RS 32 dan rata-rata penurunan elevasi sebesar 0,054 meter.
2. Proses aggradasi menyebabkan pengendapan material sedimen sebesar 6405,67 m³ sedangkan proses degradasi memindahkan material sedimen sebesar 2604,61 m³.

5.2 Saran

1. Bagi peneliti yang hendak meneliti lebih lanjut tentang perubahan elevasi dasar Sungai Palu sebaiknya mengukur atau menggunakan data topografi terbaru.
2. Pada penelitian ini terdapat 3 patok yang digunakan sebagai acuan untuk mengverifikasi hasil simulasi HEC-RAS, peneliti menyarankan untuk menambah patok verifikasi pada segmen-segmen lain yang dapat dilakukan pengukuran tampang lintang.
3. Peneliti yang hendak meneliti topik ini lebih lanjut sebaiknya melakukan simulasi dengan rentang waktu yang panjang dan simulasi dengan model 2 dimensi agar dapat merepresentasikan data aktual dengan lebih baik.

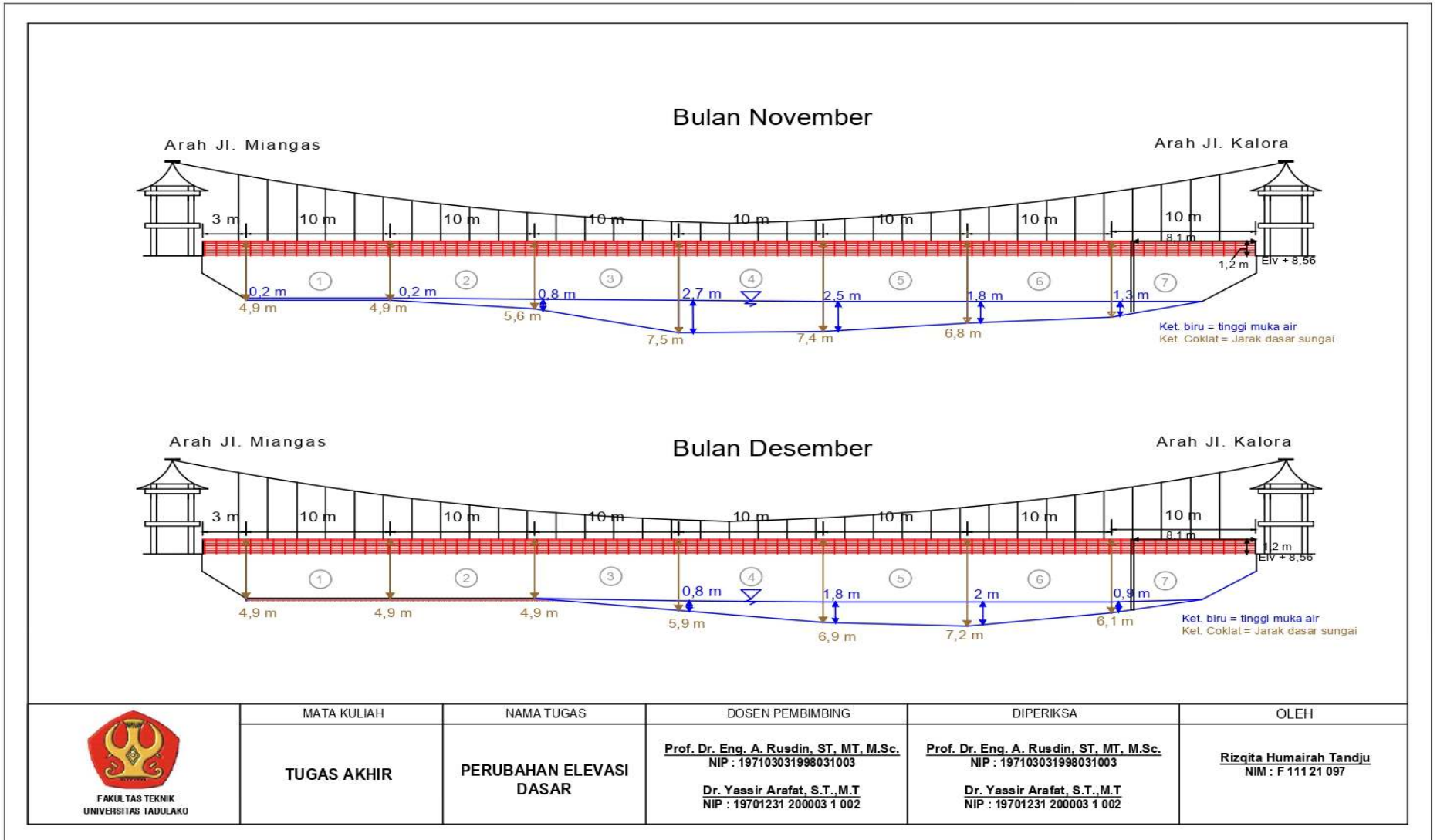
DAFTAR PUSTAKA

- Wiranata, I Ketut (2024). Hujan di Hulu Banjir Rendam Dua Kelurahan di Palu. Diakses pada 5 Februari 2025, dari <https://www.rri.co.id/daerah/671658/hujan-di-hulu-banjir-rendam-dua-kelurahan-di-palu>.
- Triatmodjo, B. (1993). *Hidraulika II*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Soewarno. (1991). *Hidrologi: Pengukuran Dan Pengolahan Data aliran Sungai (hidrometri)*. Bandung: Ova.
- Chicco, D., Warrens, M. J., & Jurman, G. (2021). The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. *PeerJ Computer Science*, 7, 1–24. <https://doi.org/10.7717/PEERJ-CS.623>
- Fikri, I., Purwanto, P., & Hariadi, H. (2013). Studi Pola Transpor Sedimen Di Perairan Pelabuhan Tanjung Adikarta Pantai Gelagah, Yogyakarta. *Jurnal Oseanografi*, 2(2), 171–178.
- Graf, W. H. (1984). *Hydraulics of sediment transport*. Water Resources Publication.
- Hodson, T. O. (2022). Root-mean-square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): when to use them or not. *Geoscientific Model Development*, 15(14), 5481–5487. <https://doi.org/10.5194/gmd-15-5481-2022>
- Ishak, M. G. (2010). Konsep Penanganan Alur Di Belokan Dalam Rangka Pengelolaan Sungai Di Sulawesi Tengah. *Media Litbang Sulteng*, III(1), 1–5.
- Kurniawan, R., Sigit, S., & Bambang, S. (2017). Analisis Perubahan Morfologi Sungai Rokan Berbasis Sistem Informasi Geografi dan Penginderaan Jauh. *Jom FTEKNIK Vo*, 4(1), 1–10.
- Lane, E. W. (1947). Report of the subcommittee on sediment terminology. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 28(6), 936–938.
- Maricar, M. A. (2019). Analisa Perbandingan Nilai Akurasi Moving Average dan Exponential Smoothing untuk Sistem Peramalan Pendapatan pada Perusahaan XYZ. *Jurnal Sistem Dan Informatika*, 13, 37–46.
- Rosgen, D. L. (2003). *Applied river morphology*. University of East Anglia.
- Schumm, S. A. (1977). *The fluvial system*.

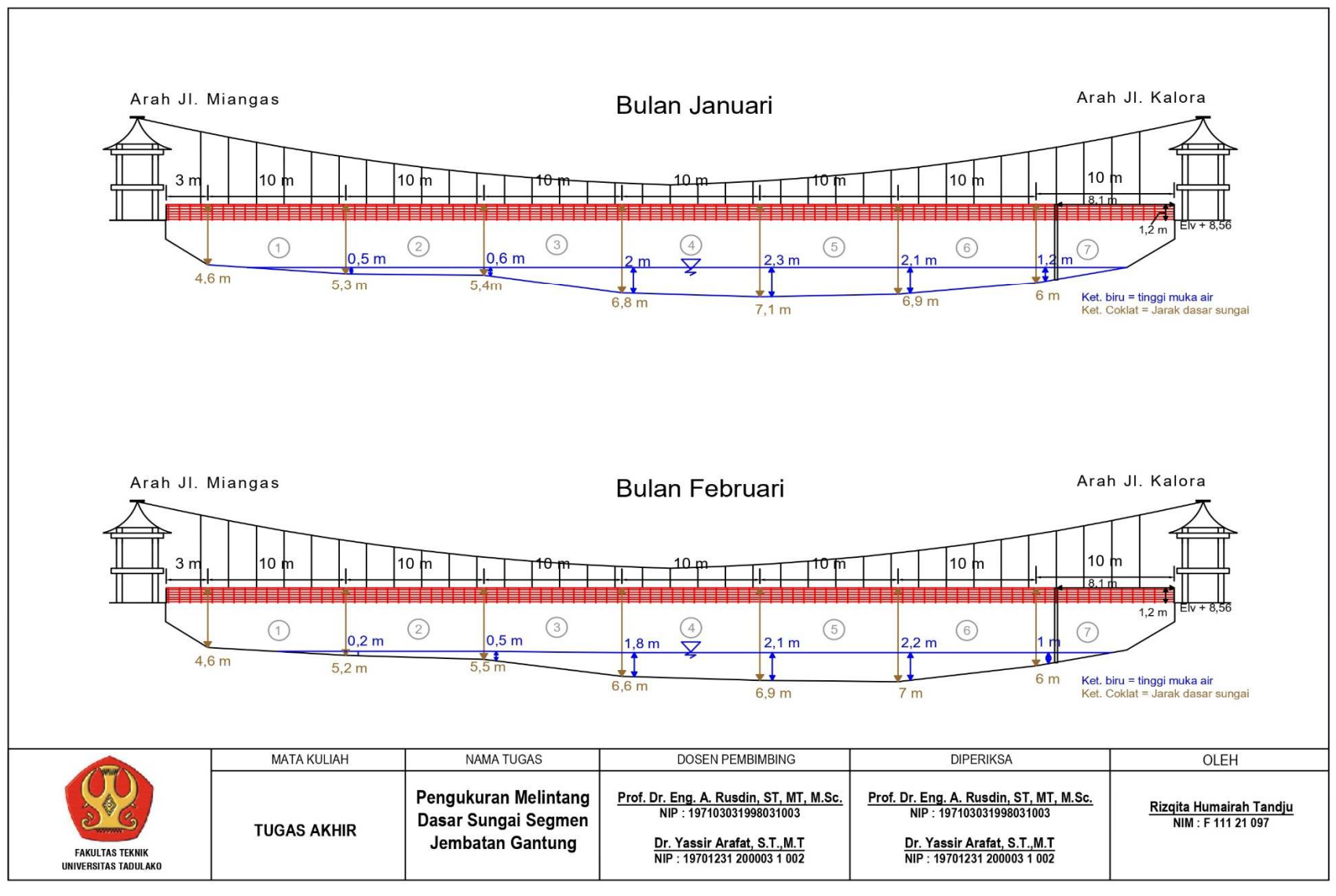
- Sisinggih, D., Wahyuni, S., Nugroho, R., Hidayat, F., & Rahman, K. I. (2020). Sediment transport functions in HEC-RAS 4.0 and their evaluation using data from sediment flushing of Wlingi reservoir-Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 437(1), 12014.
- Suyono, S., & Masateru, T. (1984). Perbaikan dan Pengaturan sungai. *Jakarta: Pradnya Paramita*.
- Triatmodjo, B. (2003). *Hidraulika II*.
- User, H. (2020). HEC-RAS User ' s Manual. *HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual*.
- Wardhana, P. N. (2015). Analisis Transpor Sedimen sungai Opak dengan Menggunakan Program HEC-RAS 4.1.0. *Jurnal Teknisia*, XX(1), 22–31.
- Chow, V.T. (1959). *Open Channel Hydraulics*. McGraw-Hill. New York.
- Pipkin. (1977). *Principle of Sedimentation*. Mc Graw Hill Books Company Inc. New York
- Asdak, C. (2007). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Zuidam Van, R.A. 1985. *Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorfologic Mapping*, Smith Publisher, The Haque, Amsterdam.
- Istiarto, (2014). *Modul Pelatihan Simulasi Aliran 1-Dimensi Dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika HEC-RAS Jenjang Dasar: Simple Geometry River*. Diakses pada 6 Feburari 2025, melalui <http://istiarto.staff.ugm.ac.id/docs/hidter/HECRAS%20Dasar%20Simple%20Geometry%20River%20Jul14.pdf> [06/03/2025]

LAMPIRAN

Lampiran 1 Pengukuran Penampang Melintang Sungai



Jembatan Gantung Maesa-Nunu



Arah Jl. Miangas

Bulan April

Arah Jl. Kalora

3 m

10 m

10 m

10 m

10 m

10 m

10 m

10 m

10 m

8.1 m

1.2 m

Elv + 8.56

1

2

3

4

5

6

4.6 m

0.2 m

0.5 m

1.7 m

1.8 m

2 m

1.2 m

5.2 m

5.5 m

6.7 m

6.8 m

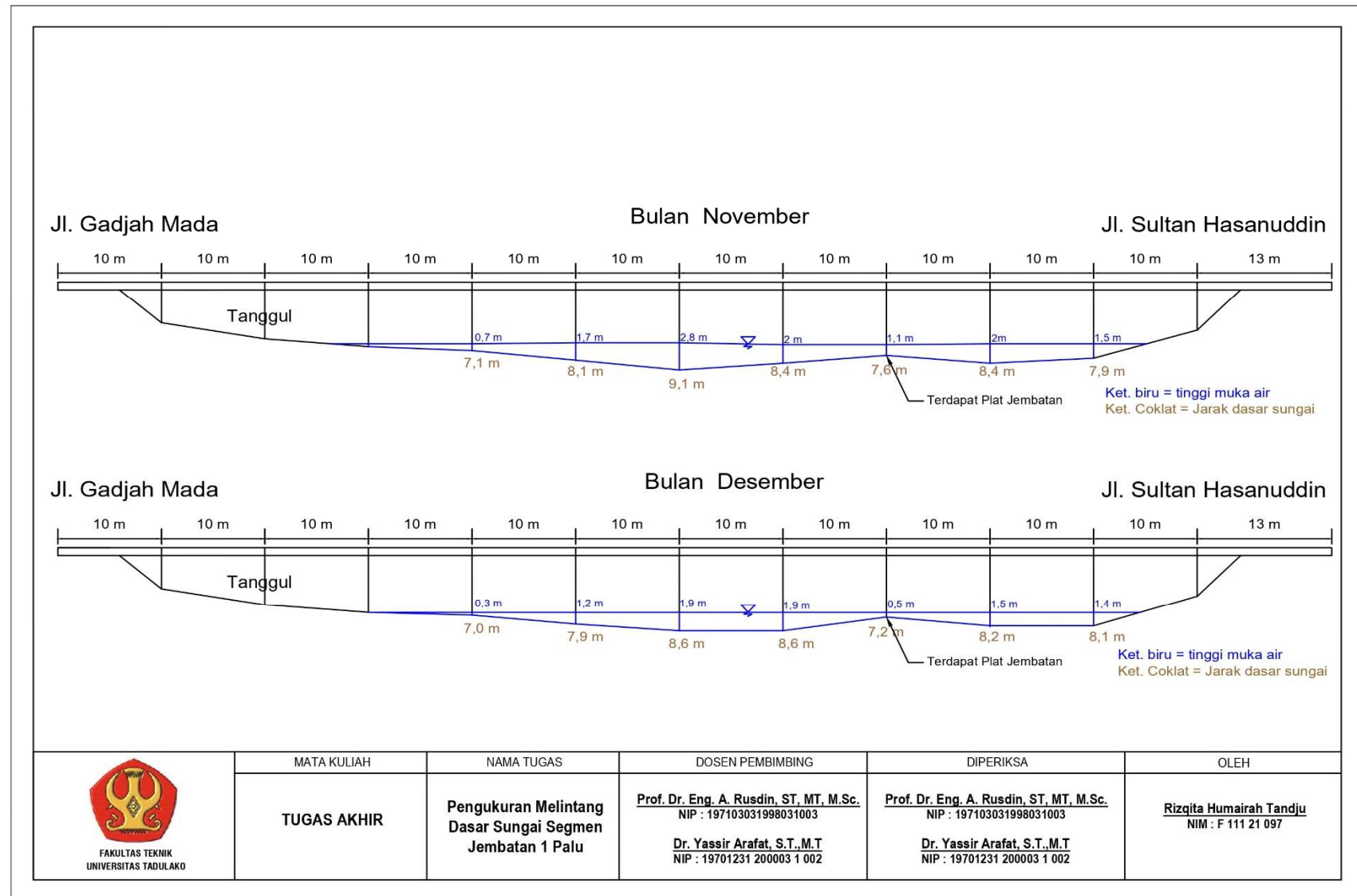
7 m

6.2 m

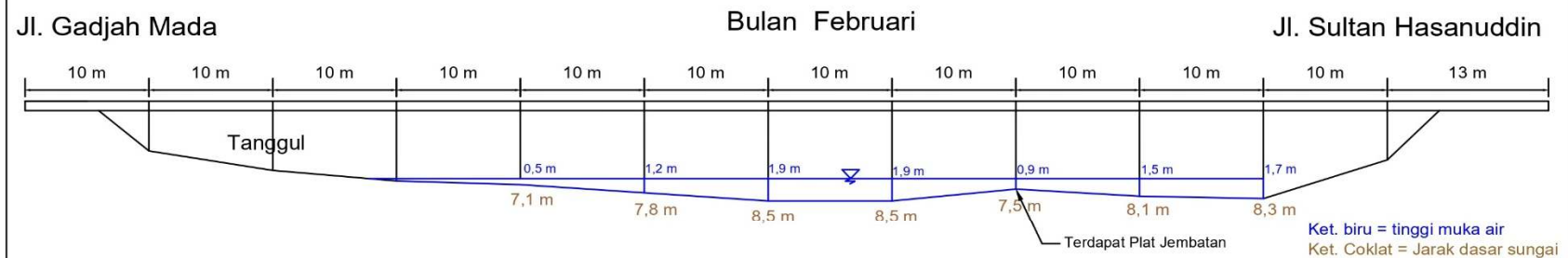
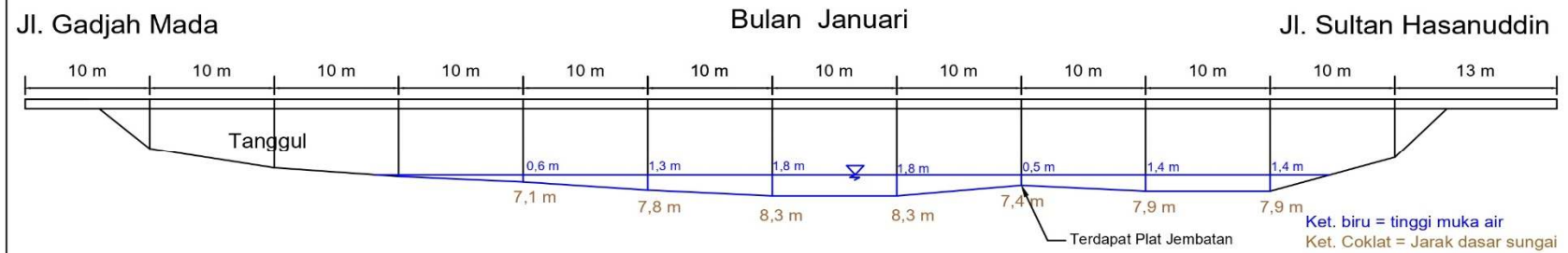
Ket. biru = tinggi muka air

Ket. coklat = Jarak dasar sungai

Jembatan Palu 1



Jembatan Palu 1



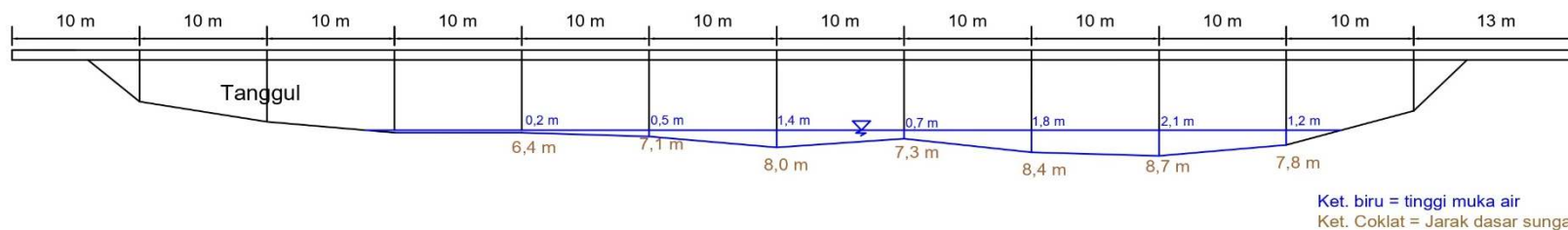
 FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO	MATA KULIAH	NAMA TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	DIPERIKSA	OLEH
	TUGAS AKHIR	Pengukuran Melintang Dasar Sungai Segmen Jembatan 1 Palu	<u>Prof. Dr. Eng. A. Rusdin, ST, MT, M.Sc.</u> NIP : 197103031998031003 <u>Dr. Yassir Arafat, S.T.,M.T</u> NIP : 19701231 200003 1 002	<u>Prof. Dr. Eng. A. Rusdin, ST, MT, M.Sc.</u> NIP : 197103031998031003 <u>Dr. Yassir Arafat, S.T.,M.T</u> NIP : 19701231 200003 1 002	<u>Rizqita Humairah Tandju</u> NIM : F 111 21 097

Jembatan Palu 1

Jl. Gadjah Mada

Bulan April

Jl. Sultan Hasanuddin



MATA KULIAH

TUGAS AKHIR

NAMA TUGAS

Pengukuran Melintang
Dasar Sungai Segmen
Jembatan 1 Palu

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Eng. A. Rusdin, ST, MT, M.Sc.
NIP : 197103031998031003

Dr. Yassir Arafat, S.T.,M.T
NIP : 19701231 200003 1 002

DIPERIKSA

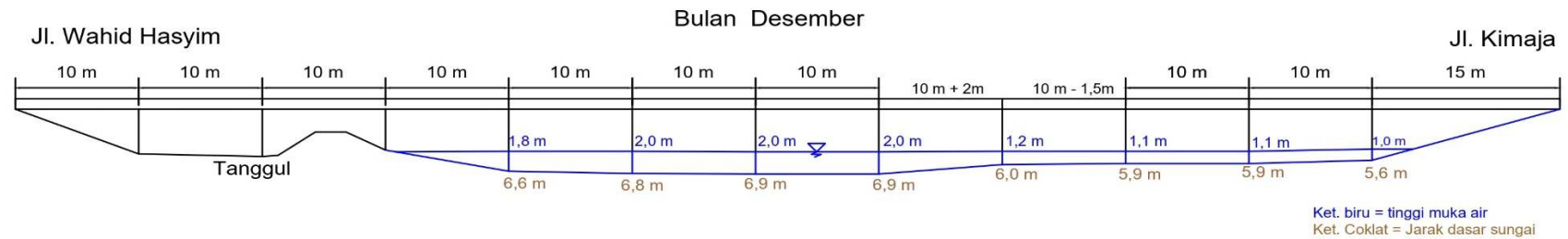
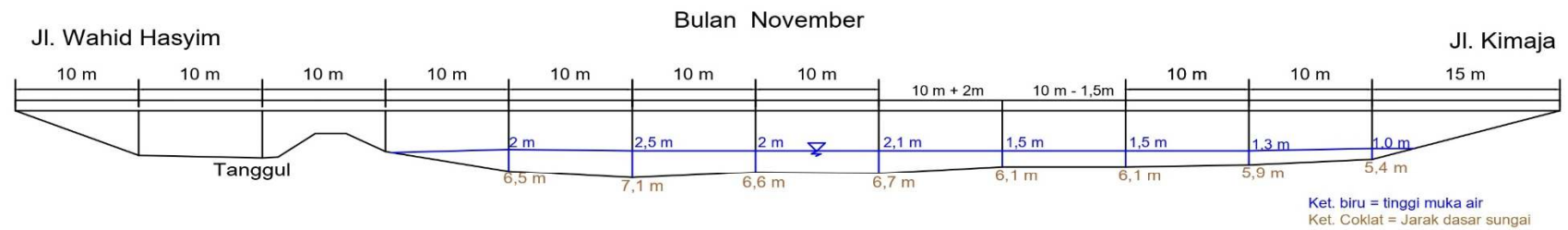
Prof. Dr. Eng. A. Rusdin, ST, MT, M.Sc.
NIP : 197103031998031003

Dr. Yassir Arafat, S.T.,M.T
NIP : 19701231 200003 1 002

OLEH

Rizqita Humairah Tandju
NIM : F 111 21 097

Jembatan Palu 3



MATA KULIAH
TUGAS AKHIR

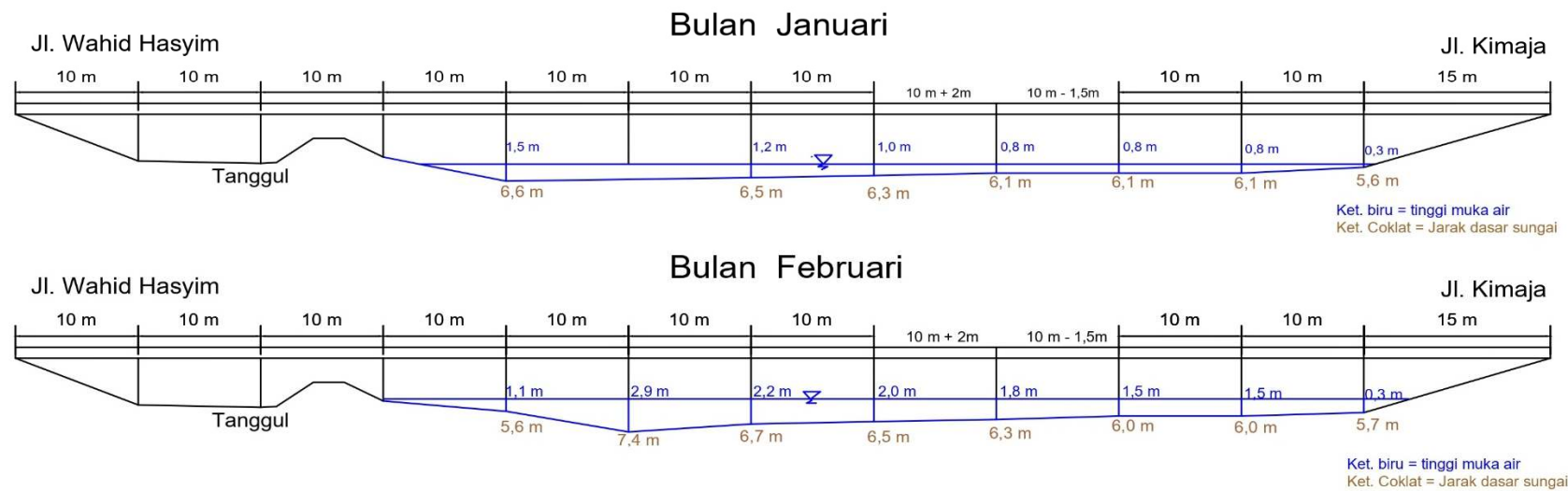
NAMA TUGAS
**Pengukuran Melintang
Dasar Sungai Segmen
Jembatan Palu 3**

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Eng. A. Rusdin, ST, MT, M.Sc.
NIP : 197103031998031003
Dr. Yassir Arafat, S.T.,M.T
NIP : 19701231 200003 1 002

DIPERIKSA
Prof. Dr. Eng. A. Rusdin, ST, MT, M.Sc.
NIP : 197103031998031003
Dr. Yassir Arafat, S.T.,M.T
NIP : 19701231 200003 1 002

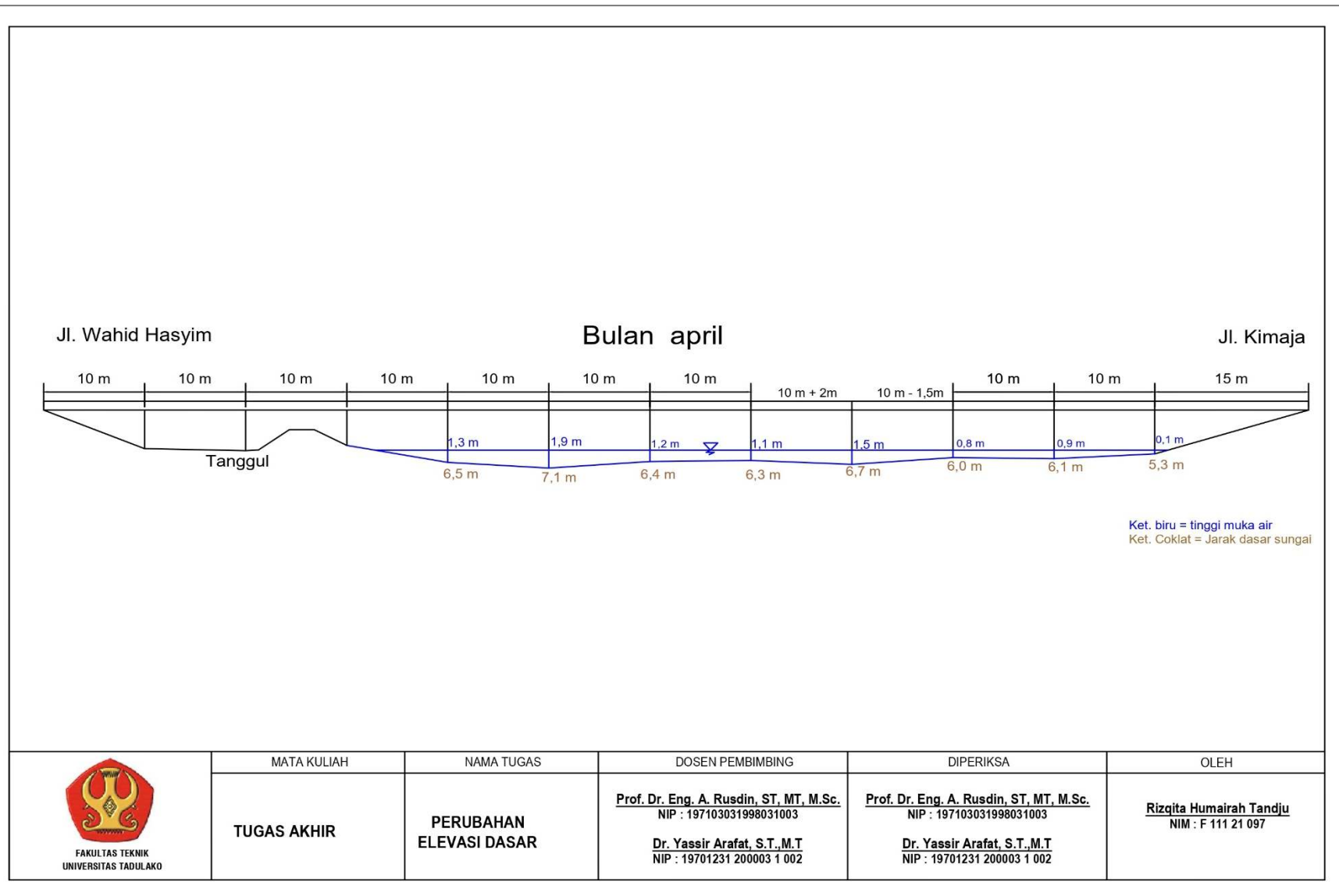
OLEH
Rizqita Humairah Tandju
NIM : F 111 21 097

Jembatan Palu 3



 FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO	MATA KULIAH	NAMA TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	DIPERIKSA	OLEH
	TUGAS AKHIR	PERUBAHAN ELEVASI DASAR	<u>Prof. Dr. Eng. A. Rusdin, ST, MT, M.Sc.</u> NIP : 197103031998031003 <u>Dr. Yassir Arafat, S.T.,M.T</u> NIP : 19701231 200003 1 002	<u>Prof. Dr. Eng. A. Rusdin, ST, MT, M.Sc.</u> NIP : 197103031998031003 <u>Dr. Yassir Arafat, S.T.,M.T</u> NIP : 19701231 200003 1 002	<u>Rizqita Humairah Tandju</u> NIM : F 111 21 097

Jembatan Palu 1



Lampiran 2 Tabel Perhitungan Debit Harian Sungai Palu

No	Tanggal	Tinggi Muka Air h (m)	Luas Penampang Basah A (m ²)	Kecepatan V (m/s)	Debit Q (m ³ /s)
			(1)	(2)	(1 x 2)
1	1/11/24	0.72	76.14	0.97	73.81
2	2/11/24	0.69	75.07	0.95	71.10
3	3/11/24	0.66	73.61	0.93	68.09
4	4/11/24	0.66	73.61	0.93	68.09
5	5/11/24	0.68	74.58	0.94	70.09
6	6/11/24	0.70	75.55	0.95	72.13
7	7/11/24	0.66	73.61	0.93	68.09
8	8/11/24	0.64	72.65	0.91	66.13
9	9/11/24	0.72	76.53	0.97	74.19
10	10/11/24	0.74	77.52	0.98	76.30
11	11/11/24	0.76	78.51	1.00	78.44
12	12/11/24	1.23	104.34	1.35	140.54
13	13/11/24	0.83	82.03	1.05	86.20
14	14/11/24	1.00	91.02	1.18	107.10
15	15/11/24	0.96	88.78	1.15	101.84
16	16/11/24	1.00	91.02	1.18	107.10
17	17/11/24	1.02	92.15	1.19	109.79
18	18/11/24	0.84	82.53	1.06	87.34
19	19/11/24	0.83	82.03	1.05	86.20
20	20/11/24	0.84	82.53	1.06	87.34
21	21/11/24	0.74	77.52	0.98	76.30
22	22/11/24	0.76	78.51	1.00	78.44
23	23/11/24	0.76	78.51	1.00	78.44
24	24/11/24	0.76	78.51	1.00	78.44
25	25/11/24	0.76	78.51	1.00	78.44
26	26/11/24	0.84	82.53	1.06	87.34
27	27/11/24	0.80	80.51	1.03	82.82
28	28/11/24	1.10	96.72	1.25	120.96
29	29/11/24	1.06	94.42	1.22	115.30
30	30/11/24	1.16	100.20	1.30	129.78
31	1/12/24	1.10	76.98	1.25	96.28
32	2/12/24	0.98	68.85	1.16	79.99
33	3/12/24	0.88	62.53	1.09	68.03
34	4/12/24	0.90	63.47	1.10	69.99
35	5/12/24	1.00	68.20	1.18	80.25
36	6/12/24	1.03	72.23	1.20	86.59
37	7/12/24	1.06	74.26	1.22	90.68
38	8/12/24	0.90	63.47	1.10	69.99
39	9/12/24	0.92	64.81	1.12	72.43
40	10/12/24	0.92	64.81	1.12	72.43
41	11/12/24	0.90	63.47	1.10	69.99

Lanjutan Lampiran 2 Tabel Perhitungan Debit Harian Sungai Palu

No	Tanggal	Tinggi Muka Air h (m)	Luas Penampang Basah A (m ²)	Kecepatan V (m/s)	Debit Q (m ³ /s)
			(1)	(2)	(1 x 2)
42	12/12/24	0.94	66.16	1.13	74.91
43	13/12/24	0.98	68.85	1.16	79.99
44	14/12/24	1.03	72.23	1.20	86.59
45	15/12/24	1.08	75.62	1.24	93.46
46	16/12/24	0.66	52.36	0.93	48.43
47	17/12/24	0.86	61.60	1.07	66.10
48	18/12/24	0.82	59.73	1.04	62.33
49	19/12/24	0.84	60.66	1.06	64.20
50	20/12/24	0.82	59.73	1.04	62.33
51	21/12/24	0.80	58.80	1.03	60.49
52	22/12/24	0.78	57.64	1.01	58.23
53	23/12/24	0.75	56.49	0.99	56.01
54	24/12/24	0.78	57.64	1.01	58.23
55	25/12/24	0.80	58.80	1.03	60.49
56	26/12/24	0.70	54.19	0.95	51.73
57	27/12/24	0.76	56.95	1.00	56.89
58	28/12/24	0.76	56.95	1.00	56.89
59	29/12/24	0.72	55.10	0.97	53.42
60	30/12/24	0.60	50.09	0.88	44.11
61	31/12/24	0.60	50.09	0.88	44.11
62	1/1/25	0.64	71.61	0.91	65.18
63	2/1/25	0.60	69.39	0.88	61.11
64	3/1/25	0.60	69.39	0.88	61.11
65	4/1/25	0.64	71.61	0.91	65.18
66	5/1/25	0.61	69.94	0.89	62.11
67	6/1/25	0.58	68.28	0.87	59.12
68	7/1/25	0.56	67.18	0.85	57.17
69	8/1/25	1.00	91.79	1.18	108.01
70	9/1/25	0.86	83.98	1.07	90.11
71	10/1/25	2.00	149.41	1.92	286.41
72	11/1/25	0.82	81.71	1.04	85.26
73	12/1/25	0.74	77.20	0.98	75.98
74	13/1/25	0.88	85.12	1.09	92.60
75	14/1/25	1.00	91.79	1.18	108.01
76	15/1/25	1.00	91.79	1.18	108.01
77	16/1/25	0.90	86.11	1.10	94.95
78	17/1/25	1.00	91.79	1.18	108.01
79	18/1/25	0.84	82.84	1.06	87.67
80	19/1/25	0.78	79.45	1.01	80.55
81	20/1/25	0.60	69.39	0.88	61.11
82	21/1/25	1.60	126.17	1.62	204.50
83	22/1/25	1.40	114.65	1.47	168.85

Lanjutan Lampiran 2 Tabel Perhitungan Debit Harian Sungai Palu

No	Tanggal	Tinggi Muka Air h (m)	Luas Penampang Basah A (m2)	Kecepatan V (m/s)	Debit Q (m3/s)
84	23/1/25	1.58	125.01	1.61	200.78
85	24/1/25	1.76	135.44	1.74	235.56
86	25/1/25	1.43	116.37	1.49	173.97
87	26/1/25	1.10	97.48	1.25	121.92
88	27/1/25	0.98	90.65	1.16	105.33
89	28/1/25	0.86	83.98	1.07	90.11
90	29/1/25	0.90	86.11	1.10	94.95
91	30/1/25	0.94	88.38	1.13	100.07
92	31/1/25	0.80	80.58	1.03	82.89
93	1/2/25	0.82	86.48	1.04	90.24
94	2/2/25	0.74	80.96	0.98	79.38
95	3/2/25	0.65	75.43	0.92	69.22
96	4/2/25	0.65	75.43	0.92	69.22
97	5/2/25	0.73	80.31	0.97	78.15
98	6/2/25	0.60	72.19	0.88	63.57
99	7/2/25	0.50	65.69	0.81	52.98
100	8/2/25	0.50	65.69	0.81	52.98
101	9/2/25	0.50	65.69	0.81	52.98
102	10/2/25	0.50	65.69	0.81	52.98
103	11/2/25	0.45	62.44	0.77	48.05
104	12/2/25	0.45	62.44	0.77	48.05
105	13/2/25	0.45	62.44	0.77	48.05
106	14/2/25	0.45	62.44	0.77	48.05
107	15/2/25	0.64	74.79	0.91	68.07
108	16/2/25	0.55	68.94	0.84	58.16
109	17/2/25	0.36	56.59	0.70	39.78
110	18/2/25	0.50	65.69	0.81	52.98
111	19/2/25	0.45	62.44	0.77	48.05
112	20/2/25	0.70	78.68	0.95	75.12
113	21/2/25	0.64	74.79	0.91	68.07
114	22/2/25	0.83	87.20	1.05	91.70
115	23/2/25	0.83	87.20	1.05	91.70
116	24/2/25	1.09	104.20	1.25	129.75
117	25/2/25	0.95	94.74	1.14	107.76
118	26/2/25	0.79	84.26	1.02	85.79
119	27/2/25	0.82	86.46	1.04	90.20
120	28/2/25	0.85	88.71	1.07	94.81
121	1/3/25	0.83	87.20	1.05	91.70
122	2/3/25	0.95	94.74	1.14	107.76
123	3/3/25	0.85	88.71	1.07	94.81
124	4/3/25	1.56	134.64	1.59	214.34
125	5/3/25	1.33	119.69	1.42	170.16
126	6/3/25	1.83	152.18	1.79	272.68

Lanjutan Lampiran 2 Tabel Perhitungan Debit Harian Sungai Palu

No	Tanggal	Tinggi Muka Air h (m)	Luas Penampang Basah A (m2)	Kecepatan V (m/s)	Debit Q (m3/s)
127	7/3/25	1.69	143.09	1.69	241.55
128	8/3/25	1.93	158.68	1.87	296.07
129	9/3/25	1.53	132.69	1.57	208.29
130	10/3/25	1.33	119.69	1.42	170.16
131	11/3/25	1.33	119.69	1.42	170.16
132	12/3/25	1.29	117.09	1.39	163.00
133	13/3/25	1.25	114.49	1.36	155.99
134	14/3/25	1.33	119.69	1.42	170.16
135	15/3/25	1.43	126.19	1.50	188.74
136	16/3/25	1.13	106.69	1.27	135.89
137	17/3/25	1.05	101.49	1.21	123.26
138	18/3/25	1.00	98.12	1.18	115.38
139	19/3/25	1.08	103.57	1.24	128.24
140	20/3/25	1.05	101.49	1.21	123.26
141	21/3/25	1.01	98.79	1.18	116.93
142	22/3/25	1.05	101.49	1.21	123.26
143	23/3/25	1.02	99.47	1.19	118.50
144	24/3/25	1.01	98.79	1.18	116.93
145	25/3/25	0.98	96.76	1.16	112.30
146	26/3/25	0.95	94.74	1.14	107.76
147	27/3/25	0.83	87.20	1.05	91.70
148	28/3/25	0.83	87.20	1.05	91.70
149	29/3/25	0.88	90.21	1.09	97.97
150	30/3/25	0.88	90.21	1.09	97.97
151	31/3/25	0.81	85.73	1.03	88.72
152	1/4/25	0.95	80.42	1.14	91.47
153	2/4/25	0.76	68.27	1.00	68.37
154	3/4/25	0.76	68.27	1.00	68.37
155	4/4/25	0.83	72.75	1.05	76.51
156	5/4/25	0.81	71.26	1.03	73.74
157	6/4/25	0.81	71.26	1.03	73.74
158	7/4/25	1.03	85.92	1.20	103.02
159	8/4/25	0.81	71.26	1.03	73.74
160	9/4/25	0.83	72.75	1.05	76.51
161	10/4/25	1.13	92.58	1.27	117.92
162	11/4/25	0.99	83.17	1.17	97.16
163	12/4/25	0.95	80.42	1.14	91.47
164	13/4/25	1.43	112.41	1.50	168.14
165	14/4/25	1.83	138.85	1.79	248.79
166	15/4/25	1.10	90.47	1.25	113.08
167	16/4/25	0.99	83.17	1.17	97.16
168	17/4/25	0.92	78.89	1.12	88.37
169	18/4/25	0.95	80.42	1.14	91.47

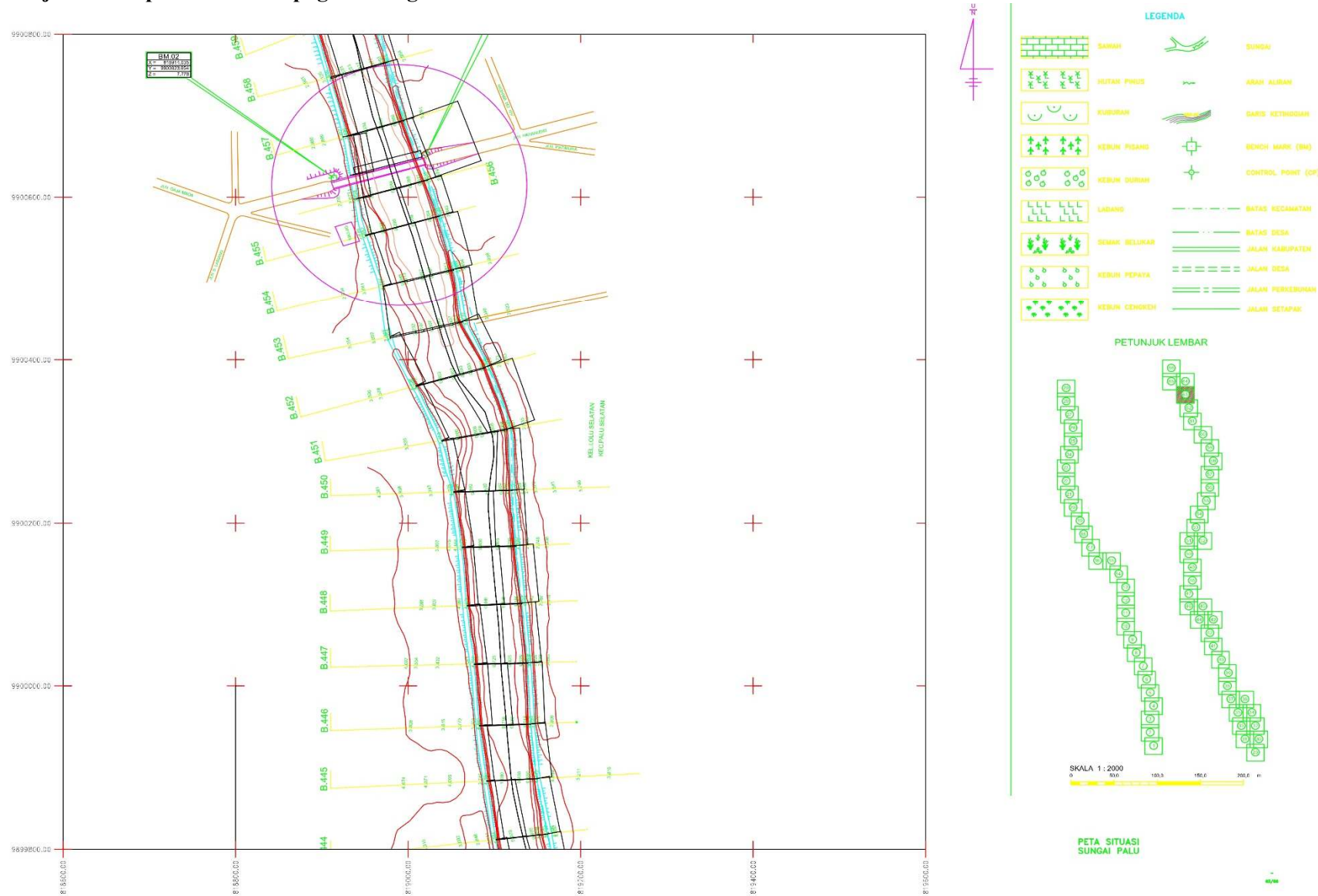
Lanjutan Lampiran 2 Tabel Perhitungan Debit Harian Sungai Palu

No	Tanggal	Tinggi Muka Air h (m)	Luas Penampang Basah A (m2)	Kecepatan V (m/s)	Debit Q (m3/s)
170	19/4/25	0.89	76.59	1.09	83.83
171	20/4/25	0.95	80.42	1.14	91.47
172	21/4/25	0.99	83.17	1.17	97.16
173	22/4/25	0.92	78.89	1.12	88.37
174	23/4/25	0.95	80.42	1.14	91.47
175	24/4/25	1.01	84.54	1.18	100.07
176	25/4/25	1.01	84.54	1.18	100.07
177	26/4/25	0.90	77.35	1.10	85.33
178	27/4/25	0.88	75.82	1.09	82.33
179	28/4/25	0.88	75.82	1.09	82.33
180	29/4/25	0.83	72.75	1.05	76.51
181	30/4/25	0.83	72.75	1.05	76.51

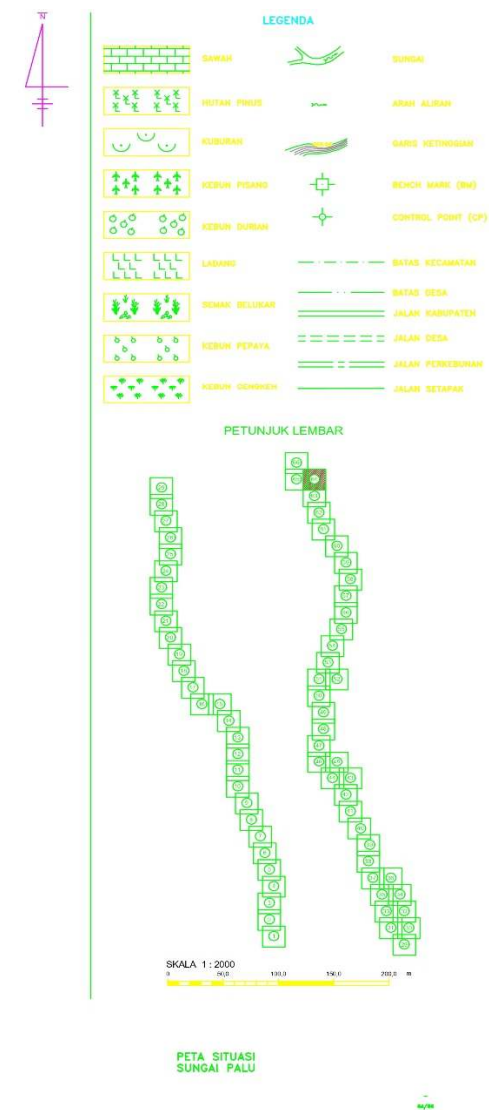
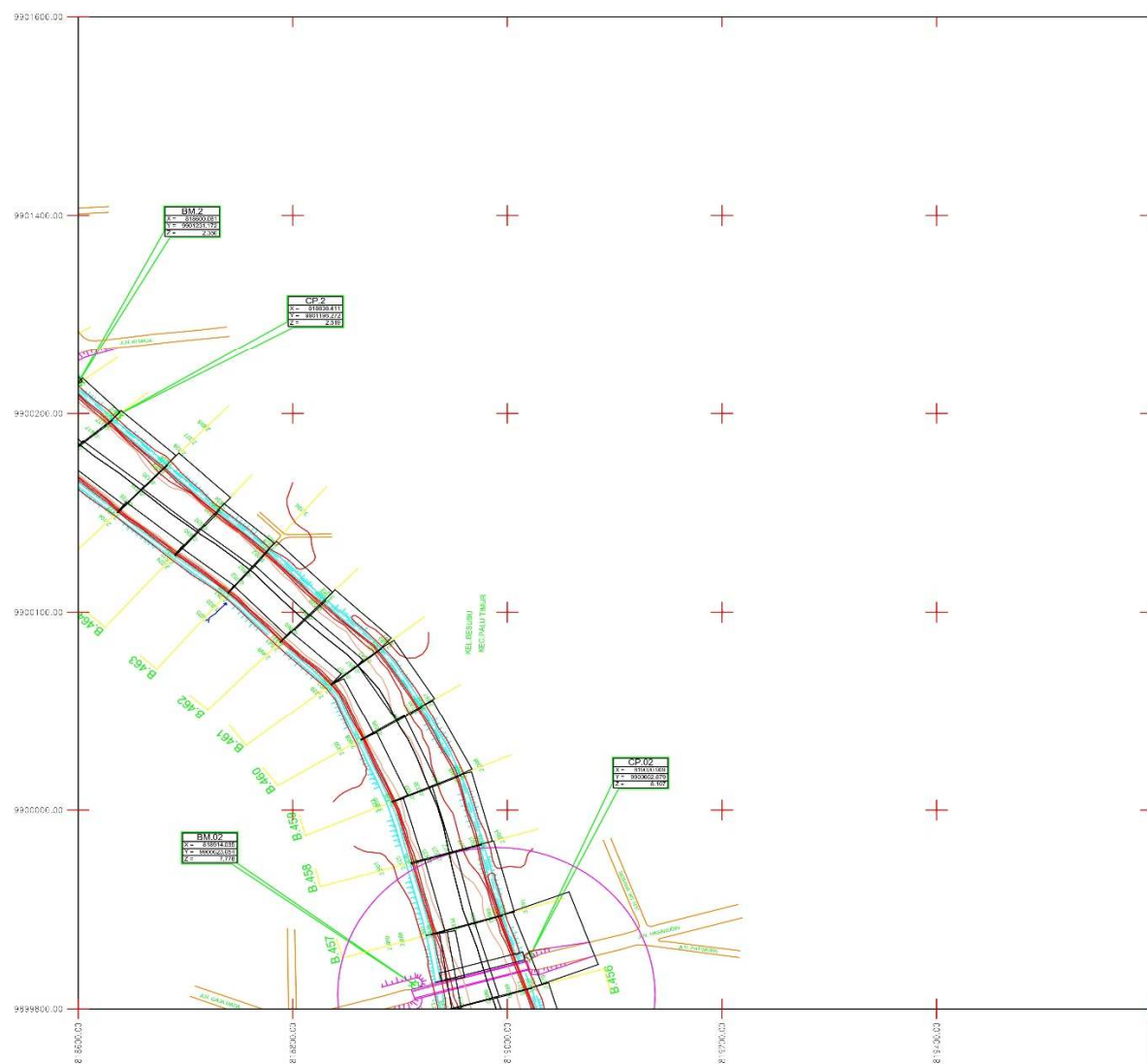
Lampiran 3 Peta Topografi Sungai Palu



Lanjutan Lampiran 3 Peta Topografi Sungai Palu



Lanjutan Lampiran 3 Peta Topografi Sungai Palu

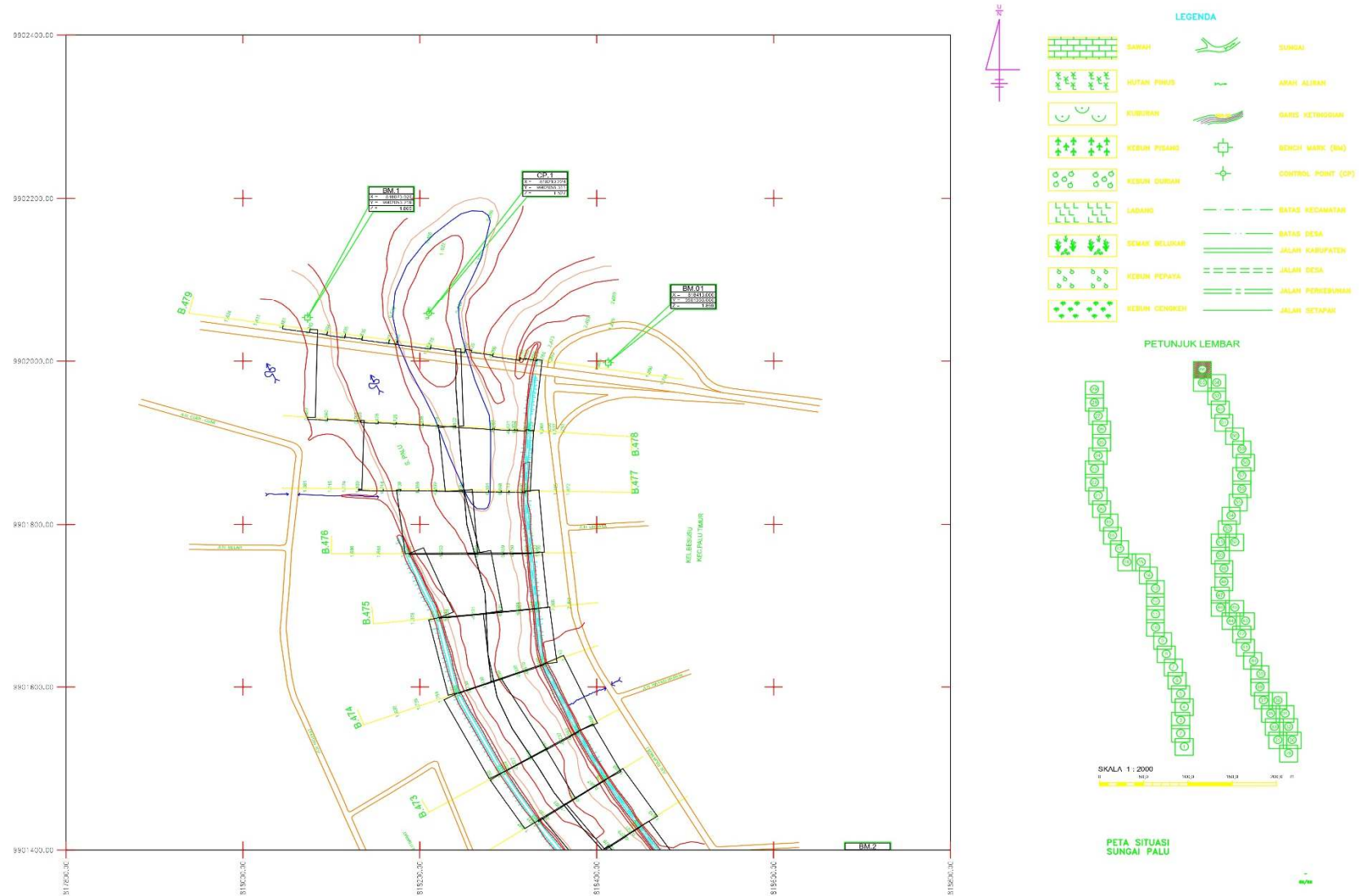


The map displays a coastal area with a grid of coordinates. The vertical axis (Northing) ranges from 9900500.00 to 9901500.00. The horizontal axis (Easting) ranges from 00700000.00 to 00700050.00. The map shows a coastline with various contour lines and elevation points labeled with 'B' and numbers. Two small boxes provide additional information:

- BM 1**
 E = 100000
 N = 100000
 U = 100000
- BM 100**
 E = 100000
 N = 100000
 U = 100000



Lanjutan Lampiran 3 Peta Topografi Sungai Palu



Lampiran 4 Hasil Pengujian Analisa Saringan



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO

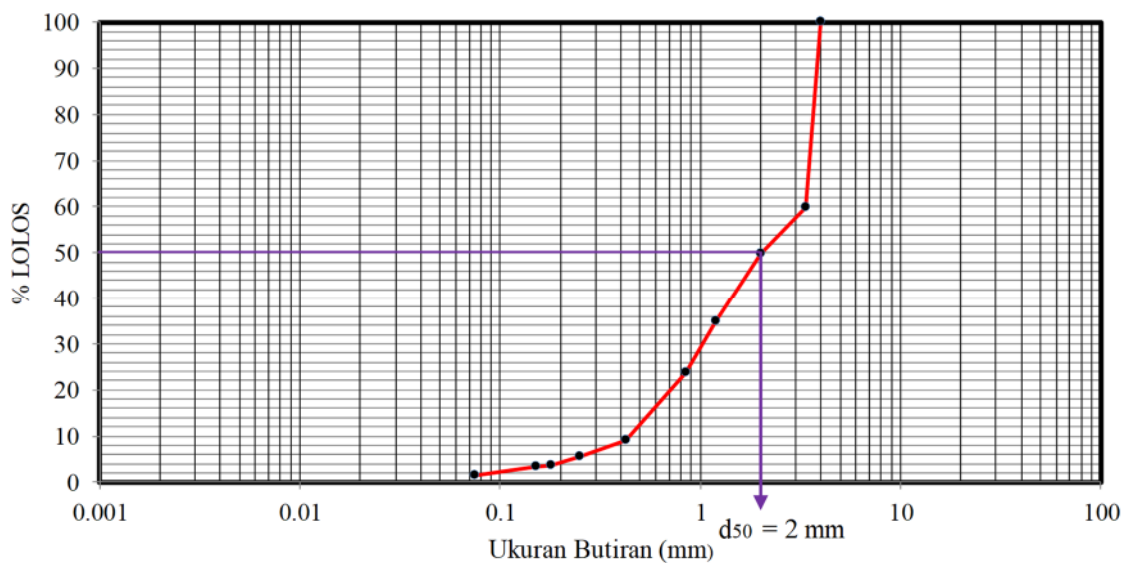
Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu, Telp. 422611 Psw 166

PROYEK	: TUGAS AKHIR	DIKERJAKAN	: Rizqita Humairah Tandju
PEKERJAAN	:	DIHITUNG	: Rizqita Humairah Tandju
LOKASI	: LAB. MEKANIKA TANAH FATEK	DIPERIKSA	: Asrul, S.T.,M.T.
NO. CONTOH	:	TANGGAL	: 1 Juni 2025

ANALISA SARINGAN

Berat contoh kering sebelum disaring : 2336.140 gram

Sieve No.	Bukaan (mm)	Berat tertahan, gram	Kumulatif tertahan, gram	% tertahan	% lolos
5	4.000	0	0	0.00	100.00
6	3.350	941.09	941.09	40.28	59.72
10	2.000	229.54	1170.63	50.11	49.89
16	1.190	348.5	1519.13	65.03	34.97
20	0.850	265.25	1784.38	76.38	23.62
40	0.425	337.31	2121.69	90.82	9.18
60	0.250	82.49	2204.18	94.35	5.65
80	0.180	46.63	2250.81	96.35	3.65
100	0.150	9.93	2260.74	96.77	3.23
200	0.075	40.79	2301.53	98.52	1.48
pan		34.61	2336.14	100.00	0.00
Total		2336.14	4672.28		



Lampiran 5 Tabel Debit Sedimen Dasar

Tanggal	Debit	qb (kg/sm)	Qb (kg/s)	Qb Ton/Hari
1/11/24	73.81	0.0123	0.552	47.67
2/11/24	71.10	0.0109	0.490	42.36
3/11/24	68.09	0.0095	0.429	37.05
4/11/24	68.09	0.0095	0.429	37.05
5/11/24	70.09	0.0104	0.470	40.59
6/11/24	72.13	0.0114	0.511	44.13
7/11/24	68.09	0.0095	0.429	37.05
8/11/24	66.13	0.0086	0.388	33.51
9/11/24	74.19	0.0123	0.552	47.67
10/11/24	76.30	0.0132	0.593	51.20
11/11/24	78.44	0.0141	0.634	54.74
12/11/24	140.54	0.0355	1.596	137.89
13/11/24	86.20	0.0173	0.777	67.13
14/11/24	107.10	0.0250	1.125	97.20
15/11/24	101.84	0.0232	1.043	90.12
16/11/24	107.10	0.0250	1.125	97.20
17/11/24	109.79	0.0259	1.166	100.74
18/11/24	87.34	0.0177	0.797	68.90
19/11/24	86.20	0.0173	0.777	67.13
20/11/24	87.34	0.0177	0.797	68.90
21/11/24	76.30	0.0132	0.593	51.20
22/11/24	78.44	0.0141	0.634	54.74
23/11/24	78.44	0.0141	0.634	54.74
24/11/24	78.44	0.0141	0.634	54.74
25/11/24	78.44	0.0141	0.634	54.74
26/11/24	87.34	0.0177	0.797	68.90
27/11/24	82.82	0.0159	0.716	61.82
28/11/24	120.96	0.0296	1.330	114.89
29/11/24	115.30	0.0277	1.248	107.81
30/11/24	129.78	0.0323	1.453	125.50
1/12/24	96.28	0.0296	1.330	114.89
2/12/24	79.99	0.0241	1.084	93.66
3/12/24	68.03	0.0195	0.879	75.97
4/12/24	69.99	0.0205	0.920	79.51
5/12/24	80.25	0.0250	1.125	97.20
6/12/24	86.59	0.0264	1.186	102.51
7/12/24	90.68	0.0277	1.248	107.81
8/12/24	69.99	0.0205	0.920	79.51
9/12/24	72.43	0.0214	0.961	83.05
10/12/24	72.43	0.0214	0.961	83.05
11/12/24	69.99	0.0205	0.920	79.51
12/12/24	74.91	0.0223	1.002	86.59
13/12/24	79.99	0.0241	1.084	93.66

Lanjutan Lampiran 5 Tabel Debit Sedimen Dasar

Tanggal	Debit	qb (kg/sm)	Qb (kg/s)	Qb Ton/Hari
14/12/24	86.59	0.0264	1.186	102.51
15/12/24	93.46	0.0286	1.289	111.35
16/12/24	48.43	0.0095	0.429	37.05
17/12/24	66.10	0.0186	0.838	72.43
18/12/24	62.33	0.0168	0.756	65.36
19/12/24	64.20	0.0177	0.797	68.90
20/12/24	62.33	0.0168	0.756	65.36
21/12/24	60.49	0.0159	0.716	61.82
22/12/24	58.23	0.0148	0.664	57.40
23/12/24	56.01	0.0136	0.613	52.97
24/12/24	58.23	0.0148	0.664	57.40
25/12/24	60.49	0.0159	0.716	61.82
26/12/24	51.73	0.0114	0.511	44.13
27/12/24	56.89	0.0141	0.634	54.74
28/12/24	56.89	0.0141	0.634	54.74
29/12/24	53.42	0.0123	0.552	47.67
30/12/24	44.11	0.0068	0.306	26.44
31/12/24	44.11	0.0068	0.306	26.44
1/1/25	65.18	0.0086	0.388	33.51
2/1/25	61.11	0.0068	0.306	26.44
3/1/25	61.11	0.0068	0.306	26.44
4/1/25	65.18	0.0086	0.388	33.51
5/1/25	62.11	0.0073	0.326	28.21
6/1/25	59.12	0.0059	0.265	22.90
7/1/25	57.17	0.0050	0.224	19.36
8/1/25	108.01	0.0250	1.125	97.20
9/1/25	90.11	0.0186	0.838	72.43
10/1/25	286.41	0.0705	3.173	274.10
11/1/25	85.26	0.0168	0.756	65.36
12/1/25	75.98	0.0132	0.593	51.20
13/1/25	92.60	0.0195	0.879	75.97
14/1/25	108.01	0.0250	1.125	97.20
15/1/25	108.01	0.0250	1.125	97.20
16/1/25	94.95	0.0205	0.920	79.51
17/1/25	108.01	0.0250	1.125	97.20
18/1/25	87.67	0.0177	0.797	68.90
19/1/25	80.55	0.0150	0.675	58.28
20/1/25	61.11	0.0068	0.306	26.44
21/1/25	204.50	0.0523	2.354	203.34
22/1/25	168.85	0.0432	1.944	167.96
23/1/25	200.78	0.0514	2.313	199.80
24/1/25	235.56	0.0596	2.681	231.65
25/1/25	173.97	0.0446	2.005	173.27
26/1/25	121.92	0.0296	1.330	114.89

Lanjutan Lampiran 5 Tabel Debit Sedimen Dasar

Tanggal	Debit	qb (kg/sm)	Qb (kg/s)	Qb Ton/Hari
27/1/25	105.33	0.0241	1.084	93.66
28/1/25	90.11	0.0186	0.838	72.43
29/1/25	94.95	0.0205	0.920	79.51
30/1/25	100.07	0.0223	1.002	86.59
31/1/25	82.89	0.0159	0.716	61.82
1/2/25	90.24	0.0168	0.756	65.36
2/2/25	79.38	0.0129	0.582	50.32
3/2/25	69.22	0.0091	0.408	35.28
4/2/25	69.22	0.0091	0.408	35.28
5/2/25	78.15	0.0125	0.562	48.55
6/2/25	63.57	0.0068	0.306	26.44
7/2/25	52.98	0.0023	0.101	8.75
8/2/25	52.98	0.0023	0.101	8.75
9/2/25	52.98	0.0023	0.101	8.75
10/2/25	52.98	0.0023	0.101	8.75
11/2/25	48.05	-0.000025	-0.001	2.00
12/2/25	48.05	-0.000025	-0.001	2.00
13/2/25	48.05	-0.000025	-0.001	2.00
14/2/25	48.05	-0.000025	-0.001	2.00
15/2/25	68.07	0.0086	0.388	33.51
16/2/25	58.16	0.0045	0.204	17.59
17/2/25	39.78	-0.00412	-0.185	1.00
18/2/25	52.98	0.0023	0.101	8.75
19/2/25	48.05	-0.000025	-0.001	2.00
20/2/25	75.12	0.0114	0.511	44.13
21/2/25	68.07	0.0086	0.388	33.51
22/2/25	91.70	0.0173	0.779	67.30
23/2/25	91.70	0.0173	0.779	67.30
24/2/25	129.75	0.0292	1.315	113.58
25/2/25	107.76	0.0226	1.016	87.82
26/2/25	85.79	0.0153	0.686	59.31
27/2/25	90.20	0.0168	0.756	65.30
28/2/25	94.81	0.0184	0.826	71.41
1/3/25	91.70	0.0173	0.779	67.30
2/3/25	107.76	0.0226	1.016	87.82
3/3/25	94.81	0.0184	0.826	71.41
4/3/25	214.34	0.0505	2.274	196.44
5/3/25	170.16	0.0401	1.803	155.76
6/3/25	272.68	0.0628	2.826	244.21
7/3/25	241.55	0.0564	2.540	219.44
8/3/25	296.07	0.0674	3.031	261.90
9/3/25	208.29	0.0492	2.212	191.14
10/3/25	170.16	0.0401	1.803	155.76
11/3/25	170.16	0.0401	1.803	155.76

Lanjutan Lampiran 5 Tabel Debit Sedimen Dasar

Tanggal	Debit	qb (kg/sm)	Qb (kg/s)	Qb Ton/Hari
12/3/25	163.00	0.0382	1.721	148.68
13/3/25	155.99	0.0364	1.639	141.60
14/3/25	170.16	0.0401	1.803	155.76
15/3/25	188.74	0.0446	2.007	173.45
16/3/25	135.89	0.0310	1.393	120.37
17/3/25	123.26	0.0273	1.229	106.22
18/3/25	115.38	0.0250	1.123	97.02
19/3/25	128.24	0.0288	1.295	111.88
20/3/25	123.26	0.0273	1.229	106.22
21/3/25	116.93	0.0254	1.144	98.86
22/3/25	123.26	0.0273	1.229	106.22
23/3/25	118.50	0.0259	1.166	100.70
24/3/25	116.93	0.0254	1.144	98.86
25/3/25	112.30	0.0240	1.080	93.34
26/3/25	107.76	0.0226	1.016	87.82
27/3/25	91.70	0.0173	0.779	67.30
28/3/25	91.70	0.0173	0.779	67.30
29/3/25	97.97	0.0194	0.874	75.51
30/3/25	97.97	0.0194	0.874	75.51
31/3/25	88.72	0.0163	0.733	63.31
1/4/25	91.47	0.0226	1.016	87.82
2/4/25	68.37	0.0142	0.640	55.31
3/4/25	68.37	0.0142	0.640	55.31
4/4/25	76.51	0.0173	0.779	67.30
5/4/25	73.74	0.0163	0.733	63.31
6/4/25	73.74	0.0163	0.733	63.31
7/4/25	103.02	0.0264	1.187	102.54
8/4/25	73.74	0.0163	0.733	63.31
9/4/25	76.51	0.0173	0.779	67.30
10/4/25	117.92	0.0310	1.393	120.37
11/4/25	97.16	0.0245	1.102	95.18
12/4/25	91.47	0.0226	1.016	87.82
13/4/25	168.14	0.0446	2.007	173.45
14/4/25	248.79	0.0628	2.826	244.21
15/4/25	113.08	0.0295	1.328	114.71
16/4/25	97.16	0.0245	1.102	95.18
17/4/25	88.37	0.0215	0.969	83.72
18/4/25	91.47	0.0226	1.016	87.82
19/4/25	83.83	0.0199	0.898	77.56
20/4/25	91.47	0.0226	1.016	87.82
21/4/25	97.16	0.0245	1.102	95.18
22/4/25	88.37	0.0215	0.969	83.72
23/4/25	91.47	0.0226	1.016	87.82
24/4/25	100.07	0.0254	1.144	98.86

Lanjutan Lampiran 5 Tabel Debit Sedimen Dasar

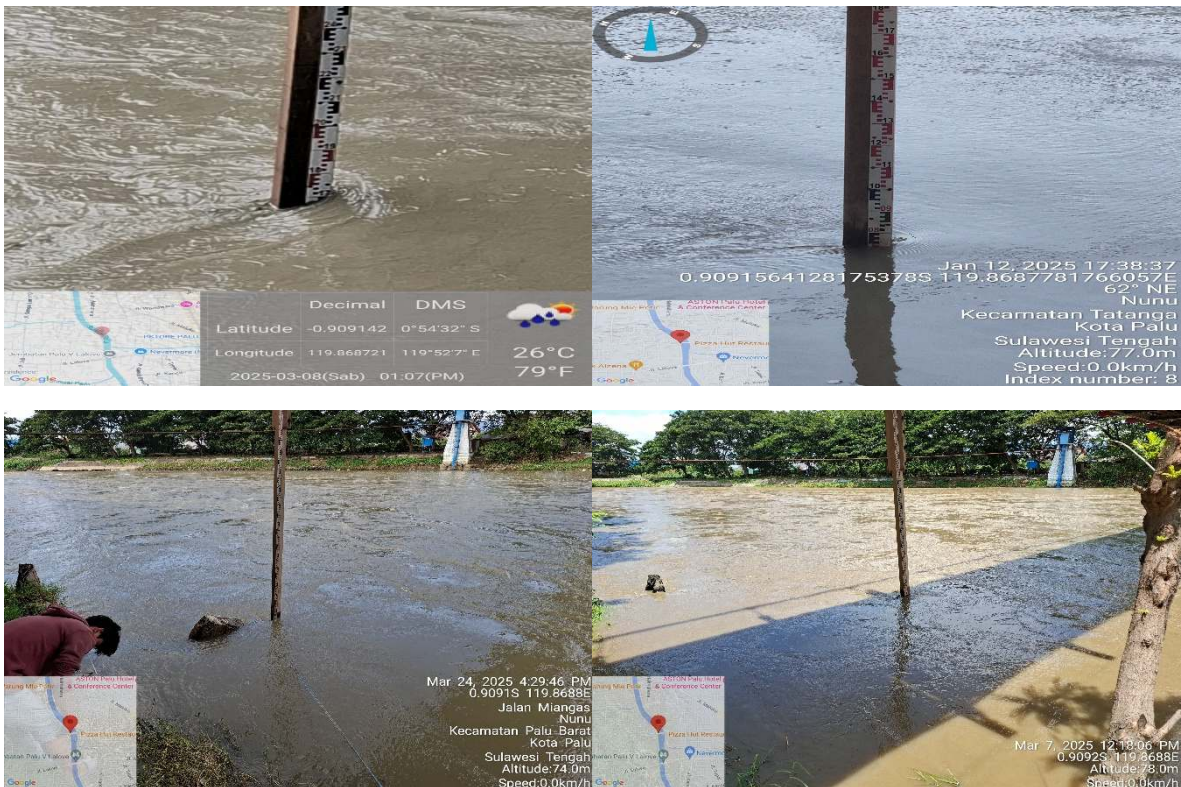
Tanggal	Debit	qb (kg/sm)	Qb (kg/s)	Qb Ton/Hari
25/4/25	100.07	0.0254	1.144	98.86
26/4/25	85.33	0.0205	0.921	79.62
27/4/25	82.33	0.0194	0.874	75.51
28/4/25	82.33	0.0194	0.874	75.51
29/4/25	76.51	0.0173	0.779	67.30
30/4/25	76.51	0.0173	0.779	67.30

Lampiran 6 Dokumentasi Penelitian

Pemasangan Bak Ukur



Pembacaan Tinggi Muka Air



Pengukuran Kecepatan



Pengukuran Penampang Melintang



Pengambilan Sampel



Pengujian Lab



