

PEMODELAN SEDIMENTASI MENGGUNAKAN HEC-RAS 6.1 UNTUK MENGANALISIS PERUBAHAN ELEVASI DASAR SUNGAI TONDANO, SULAWESI UTARA

SEDIMENTATION MODELING USING HEC-RAS 6.1 TO ANALYZE CHANGES IN THE RIVER BED ELEVATIONS OF TONDANO RIVER, NORTH SULAWESI

Muhammad Taufiq Makmur Zainuddin¹⁾* Irmanto²⁾ Joko Nugroho³⁾ Waluyo Hatmoko⁴⁾

^{1,2,3)} Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha No. 10 Bandung, Jawa Barat, Indonesia

⁴⁾Balai Hidrologi dan Lingkungan Keairan, Kementerian PUPR

Jl. Ir. Juanda No. 193, Bandung, Jawa Barat, Indonesia

*Correspondent email: taufiq86mz@gmail.com

Diterima: 01 Februari 2023; Direvisi: 04 Mei 2023; Disetujui: 26 Juni 2023

ABSTRACT

Sedimentation is a problem that can cause siltation and changes in river morphology due to reduced river capacity and increased runoff. The Tondano River is one of the major rivers that cross the City of Manado, which has a significant contribution in terms of the impact of flooding and, in its current conditions, has experienced considerable siltation so that the capacity of the river is unable to carry discharge. This study aims to analyze the changes in the elevation of the Tondano River bed that occurred within 6 years from 2016 to 2022 due to sedimentation. Sedimentation modelling is done using the HEC-RAS 6.1 application because, it has new features and improvements over the previous version, especially for, sediment transport analysis using the Meyer Peter Muller empirical equation. The bathymetric data used is the 2016 measurement, and a sediment model simulation is carried out for a 6-year daily discharge period. Then verification is carried out with the 2022 bathymetry data and current field conditions. The results show that the Tondano River on the Kairagi section, along 7.20 km from the estuary, experienced a significant change in riverbed elevation due to sedimentation. There was an average aggradation or sedimentation thickness of 0.891 m for 6 years and an estimated 0.130 to 0.140 m per year, so under these conditions, the cross-section of the Tondano River experienced siltation and reduced the capacity of the river to carry flood discharge. The simulation results showed that changes in river bed elevation also cause an increase in water level as high as 1 to. 2 m. From the simulation results of changes in the bottom of the Tondano River section of Kairagi, a total sedimentation amount of 83,087.49 m³ for 6 years was obtained.

Keywords: sedimentation, river bed elevation, water surface elevation, aggradation, deposition

ABSTRAK

Sedimentasi merupakan permasalahan yang dapat menyebabkan terjadinya pendangkalan dan perubahan morfologi sungai karena berkurangnya kapasitas sungai sehingga terjadi peningkatan aliran permukaan. Sungai Tondano adalah salah satu sungai besar yang melintas di Kota Manado yang menjadi salah satu sungai yang memiliki kontribusi besar dalam hal dampak banjir dan pada kondisi saat ini telah mengalami pendangkalan yang signifikan sehingga kapasitas sungai tidak mampu dalam mengalirkan debit. Tujuan penelitian ini yaitu untuk menganalisis perubahan elevasi dasar Sungai Tondano yang terjadi dalam kurun waktu 6 tahun dari tahun 2016 hingga 2022 akibat sedimentasi. Pemodelan sedimentasi dilakukan menggunakan aplikasi HEC-RAS 6.1 karena pada versi ini terdapat beberapa fitur baru dan perbaikan dari versi sebelumnya, yaitu persamaan angkutan sedimen menggunakan persamaan empiris Meyer Peter Muller. Data batimetri yang digunakan adalah pengukuran tahun 2016 dan dilakukan simulasi model sedimen selama periode debit harian 6 tahun kemudian dilakukan verifikasi dengan data batimetri tahun 2022 serta kondisi lapangan saat ini. Hasilnya dapat disimpulkan bahwa Sungai Tondano pada ruas Kairagi sepanjang 7,20 km dari muara mengalami perubahan elevasi dasar sungai yang cukup signifikan akibat sedimentasi. Terjadi aggradasi atau tebal sedimentasi rata-rata sebesar 0,891 m selama 6 tahun dan diperkirakan sebesar 0,130 s.d 0,140 m per tahun, sehingga dengan kondisi tersebut penampang Sungai Tondano mengalami pendangkalan dan menyebabkan berkurangnya kapasitas sungai dalam mengalirkan debit banjir. Hasil simulasi perubahan elevasi dasar sungai tersebut juga menunjukkan terjadinya kenaikan elevasi muka air setinggi 1 s.d. 2 m. Dari hasil simulasi perubahan dasar Sungai Tondano ruas Kairagi diperoleh total besaran sedimentasi sebesar 83.087,49 m³ selama 6 tahun.

Kata Kunci: sedimentasi, elevasi dasar sungai, elevasi muka air, aggradasi, pengendapan

PENDAHULUAN

Sungai Tondano merupakan sungai terbesar yang melintasi Kota Manado, berhulu di Danau Tondano Kabupaten Minahasa dan bermuara di Teluk Manado, tepatnya di sekitar Pelabuhan Laut Manado. Panjang Sungai Tondano dari hulu sampai muara $\pm 44,0$ km, namun panjang sungai yang akan dikaji adalah $\pm 7,20$ km. Kondisi Sungai Tondano relatif buruk karena alur sungai telah mengalami penyempitan oleh bangunan dan permukiman penduduk dan mengalami pendangkalan akibat sedimentasi.

Pendangkalan yang terjadi pada Sungai Tondano akibat sedimentasi pada bagian hilir menyebabkan kenaikan elevasi muka air banjir yang dapat menggenangi wilayah Kota Manado cukup luas sekitar ± 425 ha apabila terjadi curah hujan yang cukup tinggi. Proses sedimentasi pada suatu sungai meliputi proses erosi, transportasi, pengendapan dan pemadatan dari sedimentasi itu sendiri (Sudira *et al.*, 2013). Pengendapan di sungai adalah material yang terangkut oleh aliran air. Pada saat terjadi pengikisan, air mengangkut material mengalir dari sungai hingga ke laut. Pada saat daya pengangkutannya berkurang atau habis, material diendapkan di daerah aliran air sehingga terjadi pengendapan di sungai dan di laut (Anwas, 1994).

Menurut Asdak (2010), pada saat material sedimen masuk ke sungai maka terjadilah angkutan sedimen. Menurut Soewarno (1991), besarnya volume angkutan sedimen terutama tergantung dari kecepatan aliran, karena perubahan musim penghujan dan kemarau, serta perubahan kecepatan yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia salah satunya seperti mendirikan bangunan pada area sempadan sungai sehingga terjadi penyempitan penampang sungai. Akibat dari terjadinya perubahan volume angkutan sedimen yaitu terjadinya gerusan pada beberapa segmen sungai dan terjadinya pengendapan pada segmen lainnya di dasar sungai, dengan demikian dimensi dari penampang sungai tersebut akan berubah sehingga volume air yang terbawa juga akan berkurang pada penampang sungai sehingga dapat menyebabkan limpasan. Proses angkutan sedimen dibagi menjadi 3 (tiga) kondisi yaitu erosi (*erosion*), seimbang (*equilibrium*) dan pengendapan (*deposition*). Proses tersebut akan mempengaruhi keadaan dasar yang berbeda pula yaitu stabil, degradasi dan aggradasi (Kironoto, 2003; Mardjiko, 1987).

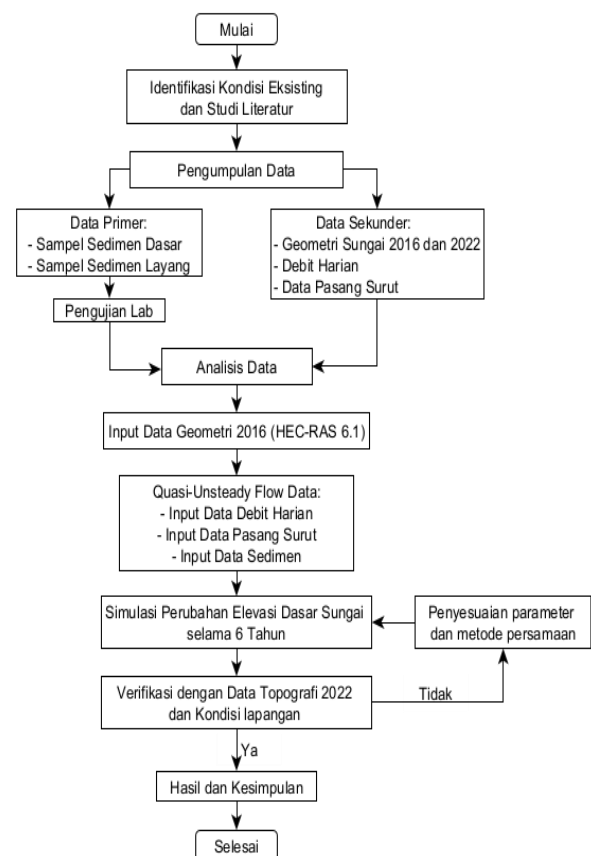
Pada penelitian yang dilakukan oleh Wuaya *et al* (2021), angkutan Sedimen pada Sungai Tondano telah melebihi batas toleransi sebesar 2.080-3.250 ton/km²/tahun sehingga mempengaruhi kondisi morfologi. Namun kekurangannya yaitu belum

menganalisis perubahan elevasi dasar sungai akibat sedimentasi tersebut. Penelitian yang dilakukan oleh Basim *et al.*, (2020), pengendapan sedimen yang terjadi pada Sungai Al-Gharraf berkisar antara 2 – 9 cm dengan debit sedimen antara 33 – 970 ton/hari.

Analisis terkait karakteristik aliran dan sedimentasi sangat diperlukan dalam merumuskan tindakan adaptasi dan mitigasi banjir. Namun demikian, analisis ini belum banyak dilakukan di sungai-sungai penting di Indonesia, termasuk di Sungai Tondano, Manado. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis perubahan elevasi dasar sungai yang terjadi dalam kurun waktu 6 tahun dari tahun 2016 hingga tahun 2022 akibat sedimentasi pada kondisi debit harian. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi studi kasus analisis sedimentasi melalui pemodelan.

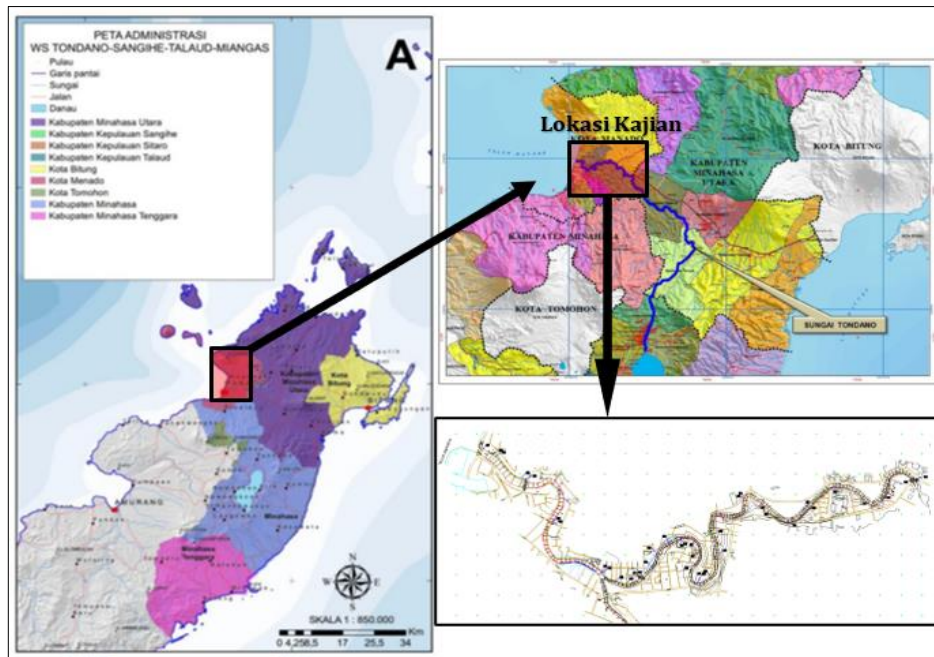
METODOLOGI

Alur pelaksanaan penelitian ini dapat dilihat pada bagan alir berikut:



Gambar 1. Bagan alir penelitian

Lokasi Penelitian berada pada bagian hilir Sungai Tondano yaitu pada wilayah perkotaan ruas Kelurahan Kairagi hingga ke muara sepanjang 7,2 km seperti pada **Gambar 2**.



(Sumber: Dokumen Pola SDA, BWS Sulawesi I Manado)

Gambar 2. Lokasi penelitian

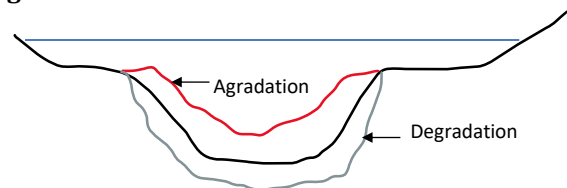
Data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Data pengukuran batimetri Sungai Tondano tahun 2016 dan 2022 yang diperoleh dari Laporan Detail Desain Pembangunan Pengendalian Banjir Sungai Tondano oleh BWS Sulawesi I Manado
2. Data debit harian selama 6 (enam) tahun dari tahun 2016 sampai 2021 yang diperoleh dari Unit Hidrologi BWS Sulawesi I Manado
3. Data pasang surut dari dokumen Perencanaan Pengaman Pantai Manado tahun 2021 oleh BWS Sulawesi I Manado
4. Data sedimen yang diambil langsung di lapangan

Data-data tersebut diatas selanjutnya akan digunakan untuk memodelkan angkutan sedimentasi dan perubahan elevasi dasar sungai menggunakan data tahun 2016, periode model simulasi yaitu selama 6 (enam) tahun dari Januari 2016 hingga Desember 2021 dan kemudian akan diverifikasi dengan data tahun 2022.

Syarat batas bagian hulu menggunakan data debit harian selama 6 (enam) tahun, sedangkan syarat batas bagian hilir menggunakan data pasang surut yang diperoleh dari hasil analisis Perencanaan Pengaman Pantai Manado oleh BWS Sulawesi I Manado. Hasil pemodelan sedimen yang diperoleh adalah besaran angkutan sedimen dan perubahan morfologi pada penampang sungai yang terjadi berupa aggradasi atau degradasi selama periode waktu tersebut dan diverifikasi dengan kondisi lapangan saat ini. Contoh terjadinya

perubahan elevasi dasar sungai dapat dilihat pada **gambar 3**:



Gambar 3. Contoh perubahan dasar sungai (Sumber: US Army Corps of Engineers, 2020).

Gambar diatas menunjukkan bahwa pada kondisi terjadi aggradasi yaitu terjadinya perubahan morfologi sungai berupa berkurangnya kemiringan dasar sungai (pendangkalan) dan menyebabkan terjadinya penyempitan penampang sungai. Sedangkan pada kondisi terjadi degradasi adalah suatu kondisi yang menyebabkan terjadinya perubahan morfologi berupa penurunan elevasi dasar sungai dan menyebabkan kemiringan dasar sungai semakin besar atau curam (Ibrahim *et al.*, 2022).

Persamaan yang digunakan dalam penelitian ini untuk menganalisis angkutan sedimen dan perubahan elevasi dasar sungai yaitu *Meyer-Peter-Muller* (MPM) dengan parameter partikel sedimen ukuran butiran yang seragam berkisar 0,3 mm sampai 30 mm, dan berat jenis sedimen antara 1,25 ton/m³ sampai 4,0 ton/m³ (Basim *et al.*, 2020). Rumus *Meyer-Peter-Muller* (MPM) diperoleh secara empirik untuk memprediksi jumlah angkutan sedimen di sungai, karena rentang data yang digunakan sangat besar (Mananoma *et al.*, 2022).

Metode ini dikembangkan untuk analisis sedimen seragam dan tidak seragam. Berikut adalah persamaan *Meyer-Peter-Muller* dari (Vanoni, 2006).

$$\left(\frac{k_r}{k'_r}\right)^{\frac{3}{2}} \gamma R S = 0,047(\gamma_s - \gamma) d_m + 0,25 \left(\frac{\gamma}{g}\right)^{1/3} \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}\right)^{2/3} g_s^{2/3} \dots (1)$$

Dimana:

g_s = unit sediment transport rate dalam berat/waktu/lebar

k_r = koefisien kekasaran

k'_r = koefisien kekasaran berdasarkan butiran

γ = berat jenis air

γ_s = berat jenis sedimen

g = percepatan gravitasi

d_m = nilai tengah diameter partikel

R = radius hidrolis

S = gradien energi

Sorting Method pada aplikasi menggunakan *Thomas*, dan *Fall Velocity Method* menggunakan *Soulsby*. Persamaan lainnya yang diselesaikan oleh aplikasi HEC-RAS 6.1 pada pemodelan satu dimensi dalam penelitian ini adalah (*US Army Corps of Engineers*, 2020):

1. Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_l \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

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

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

q_l = debit lateral per satuan jarak

2. Persamaan Momentum

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Qv)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z_s}{\partial x} + S_f \right) = 0 \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

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

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

$\frac{\partial z_s}{\partial x}$ = kemiringan permukaan air

S_f = kemiringan gesekan, positif untuk aliran dalam arah x positif

(*US Army Corps of Engineers*, 2020).

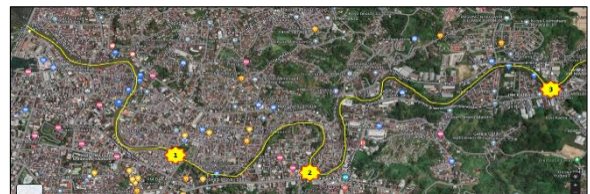
Data Primer dan Sekunder

Data Sedimen

Pengambilan data sedimen dasar dan sedimen layang dilakukan langsung dilapangan pada 3 (tiga) lokasi pengambilan yaitu bagian hulu, tengah dan hilir sungai sebagai berikut:

Tabel 1. Koordinat lokasi pengambilan sedimen

Titik	Lokasi	Koordinat UTM	
		X	Y
1	Singkil	705790,96	164735,75
2	Paal 2	706810,50	164942,99
3	Kairagi	708603,05	165323,60



(Sumber: Google Earth)

Gambar 4. Layout lokasi pengambilan sampel sedimen sesuai tabel 1

Pengambilan sampel sedimen dasar dilakukan menggunakan alat berupa *grabbing sampler* yang pada umumnya berbentuk alat keruk seperti sekop atau *van veen sampler*. Material dasar sungai diambil pada titik lokasi seperti **Gambar 4** sebanyak wadah berukuran 1,5 – 3,0 liter. Sedangkan untuk pengambilan sampel sedimen melayang (*suspended load*) dilakukan menggunakan alat berupa botol berukuran minimal 600 ml, pengambilan sampel dilakukan dengan meletakkan mulut botol berlawanan arus sungai pada titik yang sudah ditentukan. Kemudian sampel sedimen di uji di laboratorium untuk mendapatkan ukuran butiran dan nilai konsentrasi sedimen yang akan digunakan dalam pemodelan sedimentasi dalam penelitian ini.

Data Debit Harian

Data debit harian diperoleh dari Pos Duga Air (PDA) Kairagi dengan panjang data selama 6 (enam) tahun seperti pada **Gambar 5** sesuai kebutuhan simulasi dalam penelitian ini. Data tersebut digunakan sebagai kondisi batas bagian hulu dalam pemodelan perubahan dasar Sungai Tondano menggunakan debit aliran harian selama 6 (enam) tahun dari 2016 hingga 2021.

Data Pasang Surut

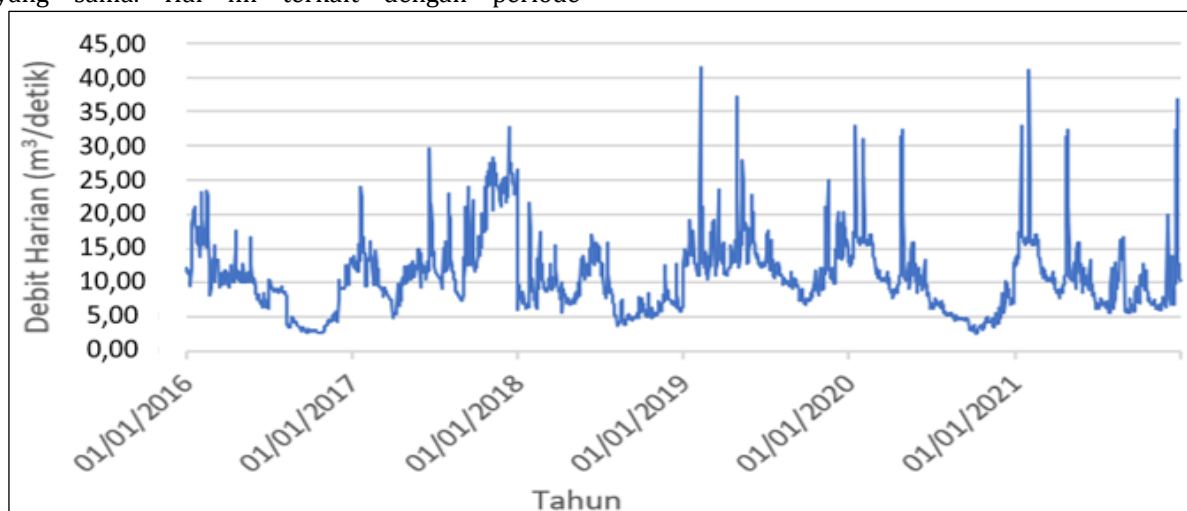
Selanjutnya memasukkan data pasang surut hasil *observasi* selama 15 hari yang telah

dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan metode *Least Square* dimana hasil keduanya harus mendekati seperti pada **Gambar 6**. Data hasil observasi pasang surut tersebut diperoleh dari dokumen Perencanaan Pengaman Pantai Manado oleh BWS Sulawesi I Manado.

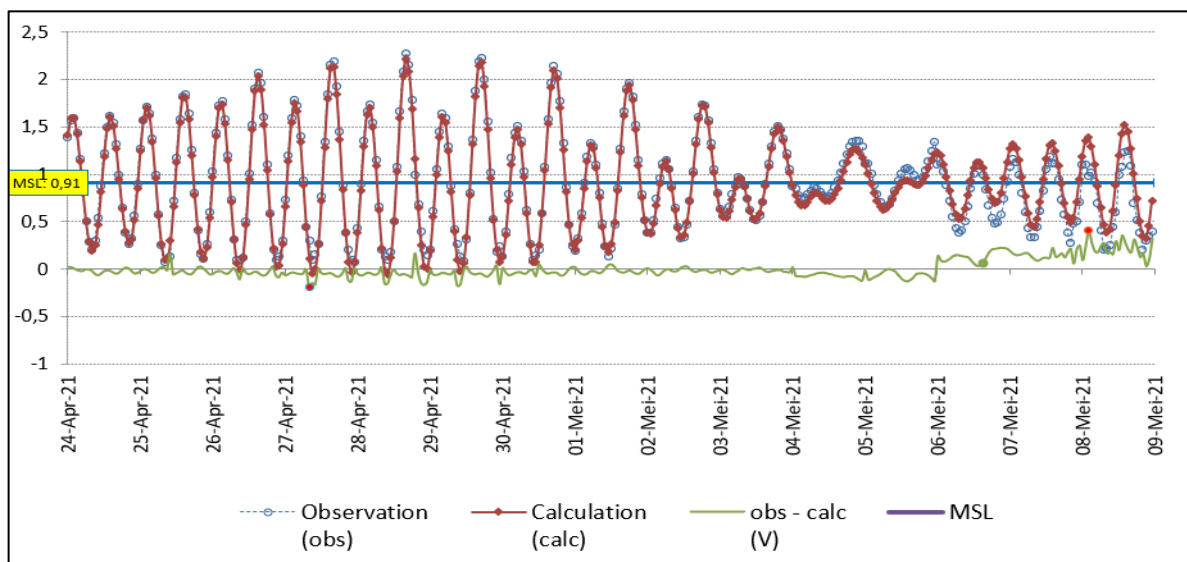
Berdasarkan **Gambar 6** tersebut diperoleh parameter *amplitude*, *period* dan *phase* yang selanjutnya dapat digunakan untuk peramalan pasang surut yang secara teoritis panjang data peramalan yang dibutuhkan untuk memperoleh nilai yang akurat adalah selama 18,6 tahun yang merupakan periode ulang pasang surut dengan menggunakan proses pengolahan data pasang surut yang sama. Hal ini terkait dengan periode

pergeseran titik tanjak orbit bulan yaitu selama 18,6 tahun sehingga dapat dipastikan bahwa pada saat terjadi surut terendah dalam periode waktu 18,6 tahun berada pada satu periode gelombang. (Ulum & Khomsin, 2013)

Dari hasil peramalan selama 18,6 tahun tersebut dapat diambil hasilnya khusus selama 6 tahun untuk pemodelan yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu memodelkan perubahan dasar sungai selama 6 tahun dari Januari 2016 hingga Desember 2021 dan kemudian di verifikasi dengan kondisi topografi tahun 2022. Data pasang surut hasil peramalan tersebut sebagai kondisi batas bagian hilir pada pemodelan.



Gambar 5. Data debit harian selama 6 tahun (Sumber: Unit Hidrologi, BWS Sulawesi I Manado)



(Sumber: Dokumen Perencanaan Pengaman Pantai Manado, BWS Sulawesi I Manado)

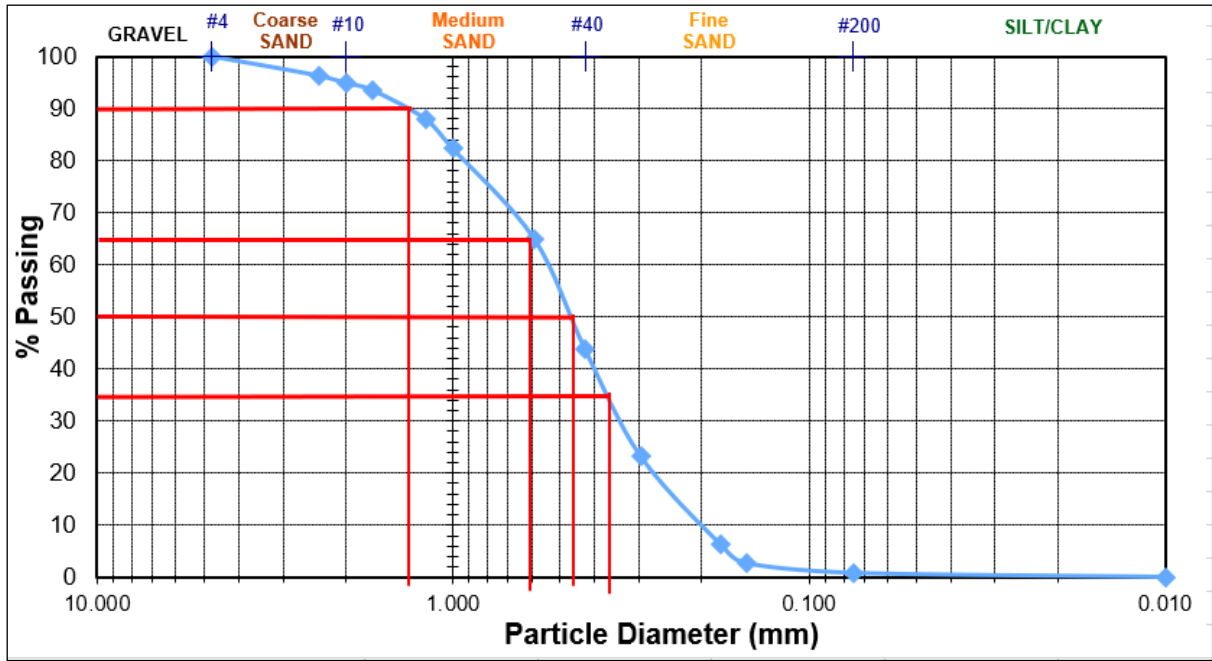
Gambar 6. Perbandingan data pasang surut observasi dengan hasil perhitungan

HASIL DAN PEMBAHASAN

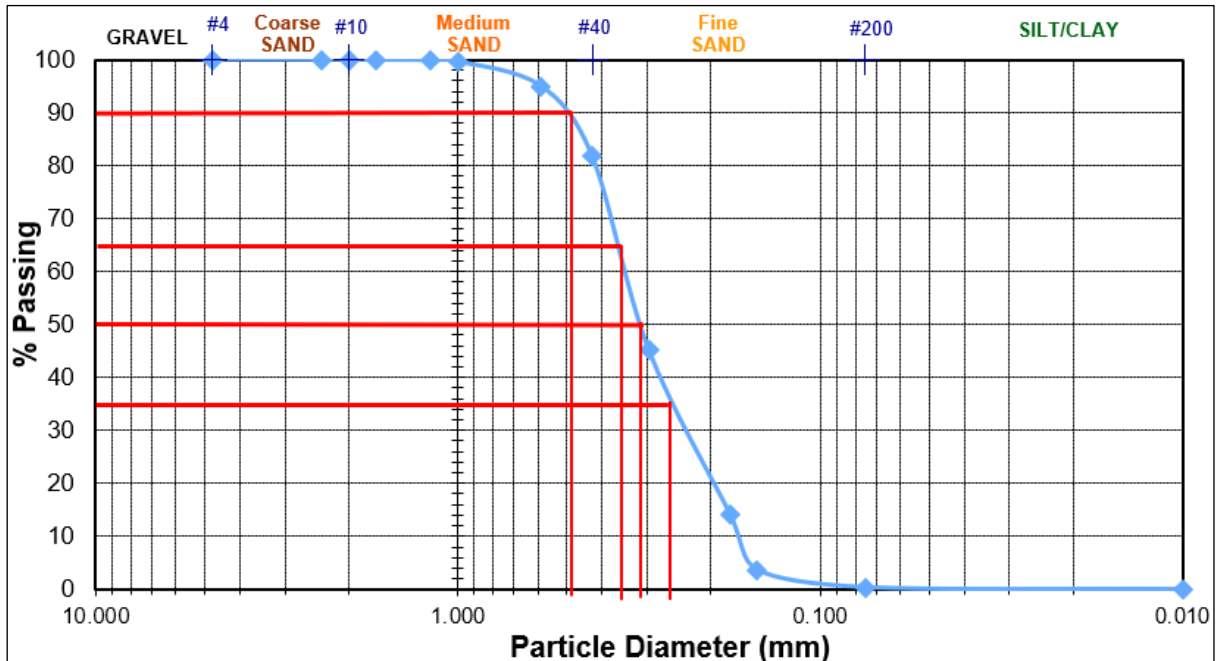
Analisis Sampel Sedimen

Data sampel sedimen yang telah diambil di lapangan dilakukan pengujian di laboratorium untuk memperoleh gradasi butiran sedimen dasar

yaitu untuk $d_{50} = 0,47$ mm, kemudian di bagian hulu kajian di dominasi oleh butiran pasir sedang (51,00 %) dan pasir halus (43,00 %). Seperti pada **Gambar 7** dan **Gambar 8**.



Gambar 7. Kurva Ukuran Partikel Bagian Hulu



Gambar 8. Kurva Ukuran Partikel Bagian Hilir

Pemodelan Perubahan Elevasi Dasar Sungai

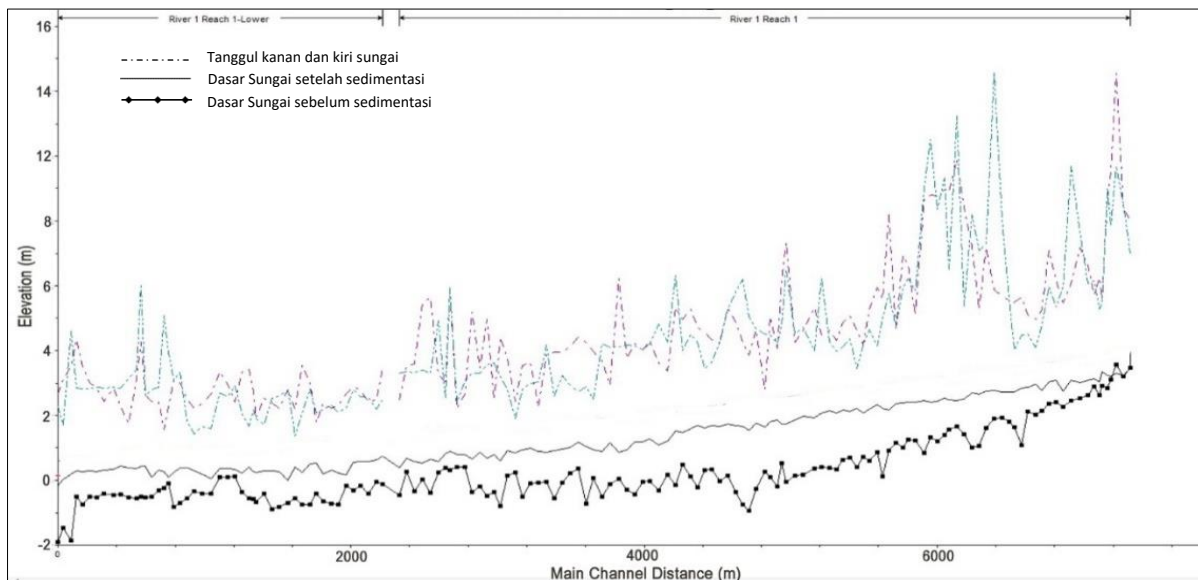
Hasil analisis butiran sedimen tersebut menjadi parameter pada HEC-RAS 6.1. Kemudian untuk pemodelan perubahan elevasi dasar sungai yang dilakukan selama 6 (enam) tahun menggunakan data pengukuran batimetri tahun 2016 dengan hasil seperti pada **Gambar 9**.

Berdasarkan hasil simulasi model perubahan elevasi dasar diatas menunjukkan bahwa selama periode waktu 6 (enam) tahun terjadi perubahan elevasi dasar sungai akibat sedimentasi. Kondisi kemiringan Sungai Tondano pada ruas kairagi sangat landai yaitu 0,00017 dan material ukuran butiran dasar sungainya didominasi oleh partikel pasir sedang sehingga berpotensi terjadi pengendapan atau sedimentasi.

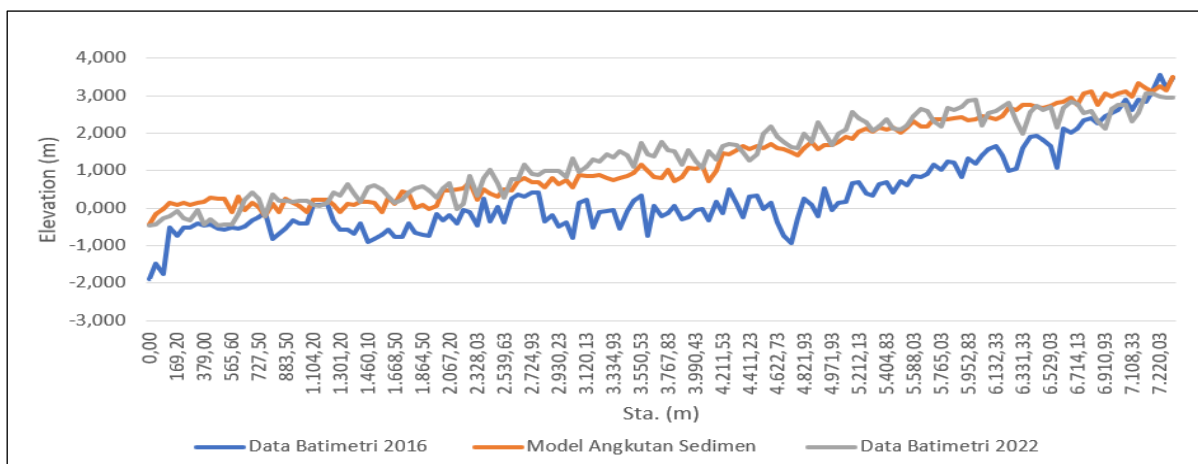
Hasil pada **Tabel 2** menunjukkan bahwa terjadi kenaikan elevasi dasar sungai sehingga dapat

diperoleh rata-rata ketebalan sedimentasi yang terjadi. Sehingga diperoleh hasil bahwa terjadi kenaikan elevasi dasar sungai dalam kurun waktu 6 (enam) tahun disebabkan oleh pengendapan sedimen yang cukup signifikan di bagian tengah hingga hilir sungai.

Perubahan elevasi dasar Sungai Tondano dari tahun 2016 hingga ke tahun 2022 jika dibandingkan dengan hasil simulasi model pada aplikasi HEC-RAS 6.1 diperoleh hasil yang cukup mendekati dengan kondisi sungai tahun 2022. Hal ini dapat dinyatakan bahwa kenaikan elevasi dasar Sungai Tondano selama periode waktu 6 tahun berdasarkan perubahan kondisi sungai tahun 2016 dengan 2022 yang juga disimulasikan dalam model HEC-RAS 6.1 terjadi sedimentasi yang cukup tinggi seperti pada **Gambar 10**.



Gambar 9. Model angkutan sedimen dan perubahan elevasi dasar sungai



Gambar 10. Grafik perbandingan elevasi dasar Sungai Tondano Tahun 2016, 2022 dan Model HEC-RAS

Tabel 2. Perubahan elevasi dasar sungai tahun 2016 dan 2022 dan perbandingan ketebalan sedimen model HEC-RAS dengan kondisi 2022

Station (m)	Elevasi Dasar Sungai (m)			Ketebalan Sedimen (m)	
	Batimetri 2016	Model HEC-RAS (6 Thn)	Batimetri 2022	Model HEC-RAS (6 Thn)	Batimetri 2022
0,00	-1,900	-0,426	-0,450	1,474	1,450
265,60	-0,530	0,077	-0,320	0,607	0,210
537,90	-0,560	0,243	-0,440	0,803	0,120
756,00	-0,090	-0,211	-0,220	0,121	0,130
1044,20	-0,400	-0,095	0,190	0,305	0,590
1258,50	-0,360	0,101	0,420	0,461	0,780
1510,10	-0,820	0,143	0,610	0,963	1,430
1764,80	-0,410	0,394	0,430	0,804	0,840
2016,40	-0,320	0,463	0,530	0,783	0,850
2539,63	-1,180	0,704	0,880	1,884	1,680
3019,53	-0,790	0,555	1,520	1,345	1,576
3279,03	-0,080	0,797	1,430	0,877	1,510
3550,53	0,350	1,157	1,950	0,807	1,400
3767,83	-0,120	1,026	1,560	1,146	1,660
4041,83	-0,030	1,138	1,070	1,168	1,100
4514,93	-0,030	1,617	1,980	1,647	1,640
5028,13	0,150	1,782	1,990	1,632	1,640
5538,53	0,600	2,154	2,210	1,554	1,610
6001,53	1,200	2,371	2,890	1,171	1,630
6529,03	1,650	2,735	3,200	1,085	1,050
7026,73	2,620	3,066	3,260	0,446	0,140
7270,23	3,200	3,110	3,150	0,050	0,250
Rata - Rata				0,891	0,987

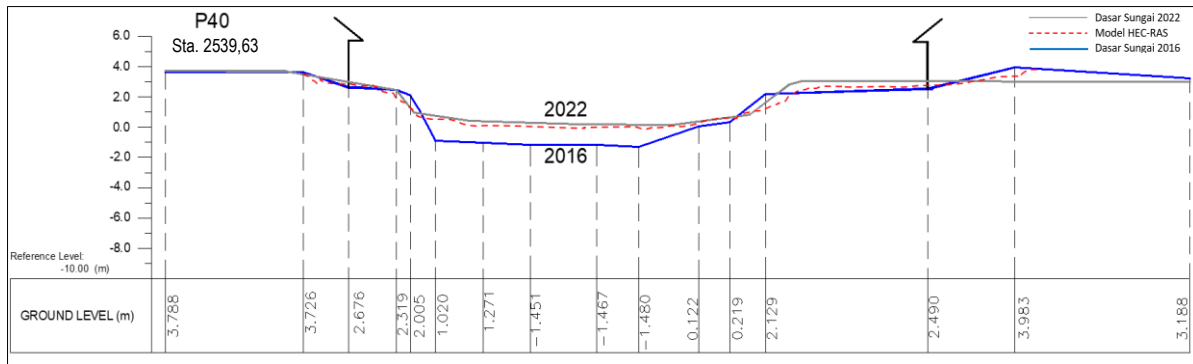
Rata-rata tinggi sedimentasi pada hasil simulasi model diperoleh 0,891 m selama 6 tahun yang berarti terjadi kenaikan elevasi dasar sungai sekitar 0,13 hingga 0,14 m/tahun. Dari kondisi kenaikan elevasi dasar sungai tersebut dapat mengakibatkan kenaikan elevasi muka air pada Sungai Tondano untuk debit yang sama.

Verifikasi Model

Kondisi perubahan elevasi dasar yang diperoleh pada **Gambar 10** kemudian dapat dilakukan verifikasi dengan kondisi lapangan saat ini yaitu pada tahun 2022. Sampel penampang yang

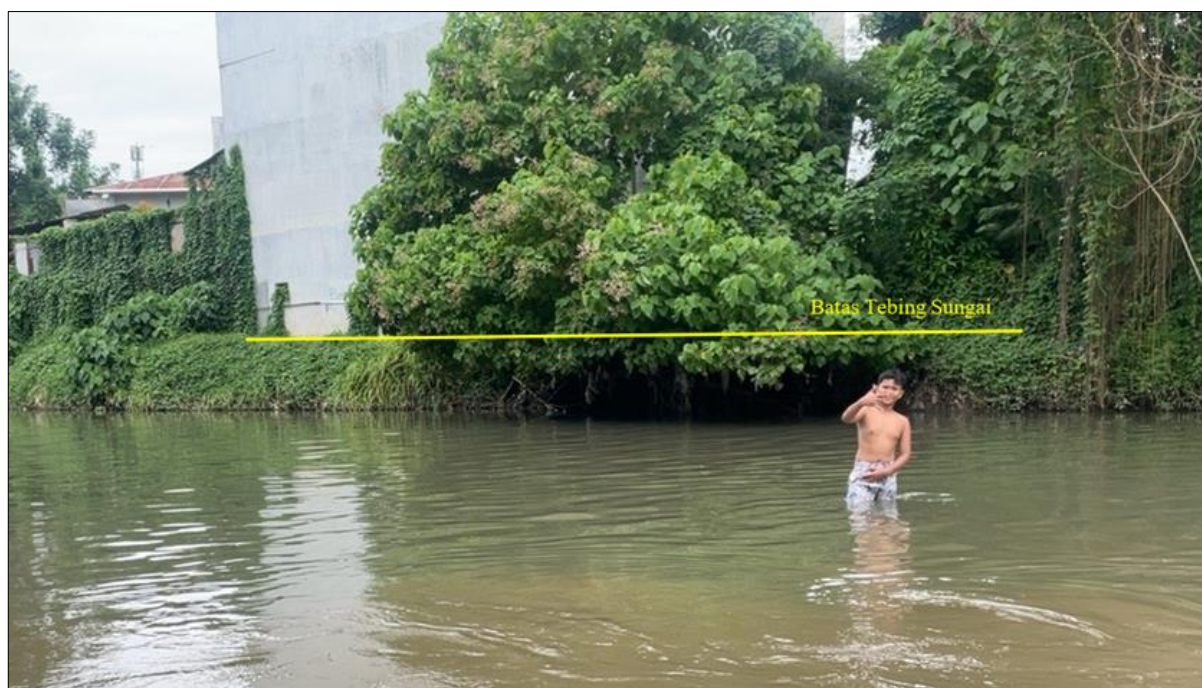
dijadikan verifikasi dipilih di ruas Sungai Tondano bagian tengah yaitu pada P.40 (Sta. 2539,63) karena pendangkalan paling signifikan terjadi pada ruas tersebut.

Pada **Gambar 11** menunjukkan bahwa kondisi dasar sungai hasil pengukuran tahun 2022 memiliki elevasi yang lebih tinggi dari kondisi dasar sungai pada pengukuran tahun 2016, hal ini mengindikasikan bahwa selama periode waktu ± 6 tahun terjadi pengendapan sedimentasi yang menyebabkan kenaikan elevasi dasar sungai.



(Sumber: Dokumen Perencanaan Pembangunan Pengendalian Banjir Sungai Tondano, BWS Sulawesi I Manado)

Gambar 11. Overlay model HEC-RAS dengan profil melintang pengukuran tahun 2016 dan tahun 2022



Gambar 12. Kondisi pendangkalan Sungai Tondano bulan Agustus 2022 pada penampang P40 (Sumber: Dokumentasi Lapangan, 2022).

Hasil verifikasi pada **Gambar 10** dan **Gambar 11** diatas secara visual dilapangan kemudian disandingkan dengan kondisi sebenarnya yang terjadi dilapangan seperti pada **Gambar 12**. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penampang sungai telah mengalami pendangkalan. Dari verifikasi tersebut diperoleh hasil simulasi model yang mendekati dengan kondisi lapangan seperti pada contoh penampang yang dijadikan acuan verifikasi. Kondisi tersebut juga diverifikasi dengan melakukan wawancara pada beberapa warga yang bermukim di sekitar lokasi kajian. Hasil wawancara dengan salah satu tokoh masyarakat setempat diperoleh bahwa dasar sungai pada lokasi pada tahun 2016 bisa mencapai kedalaman 1,50 s.d. 2,50

m. Sungai Tondano juga sudah menjadi sarana transportasi air oleh warga yang berada disekitar sungai namun pada kondisi saat ini telah terjadi pendangkalan sehingga mereka tidak dapat lagi melakukan transportasi menggunakan perahu pada saat air sungai surut.

Kondisi kenaikan dasar Sungai Tondano tersebut menyebabkan kenaikan elevasi muka air akibat terjadinya aggradasi pada dasar sungai, dapat dilihat pada **Tabel 3**. Dari hasil pemodelan sedimentasi pada **Gambar 13** menunjukkan terjadi kenaikan elevasi muka air akibat aggradasi atau sedimentasi pada dasar sungai selama 6 tahun sebesar $\pm 1,00 - 1,20$ m.

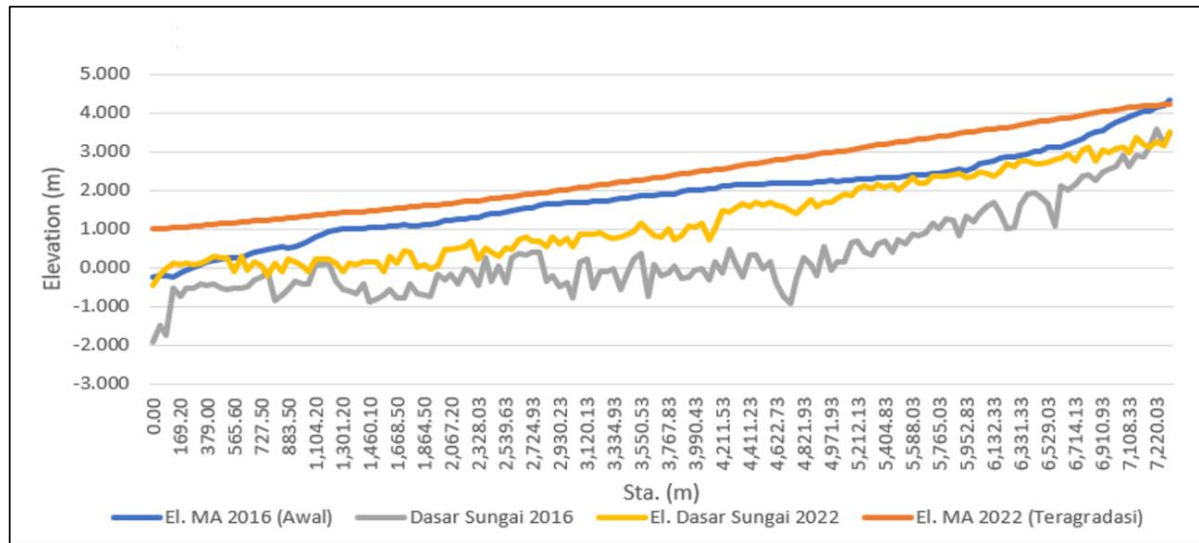
Besaran Volume Sedimentasi

Berdasarkan hasil pemodelan angkutan sedimen selama periode waktu 6 tahun seperti pada **Gambar 14** diperoleh total volume angkutan sedimen yang masuk ke sungai sebesar 83.087,49

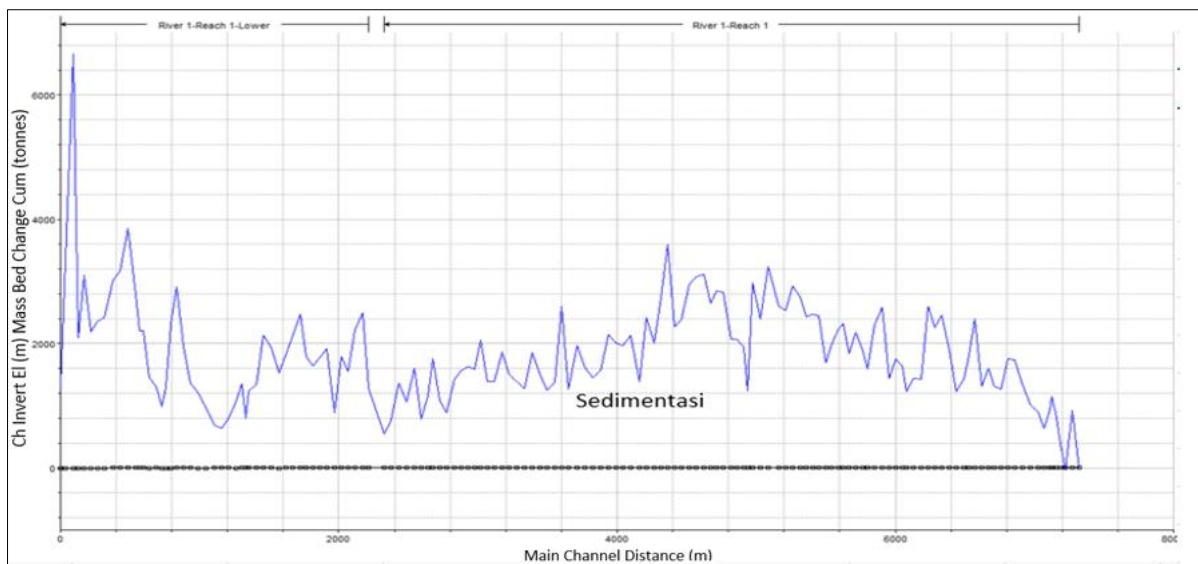
m³ sehingga menyebabkan perubahan elevasi dasar sungai. Hal ini juga menyebabkan menurunnya kapasitas penampang sungai karena sedimentasi atau kenaikan elevasi dasar sungai yang terjadi cukup signifikan.

Tabel 3. Perubahan elevasi muka air tahun 2016 dan 2022

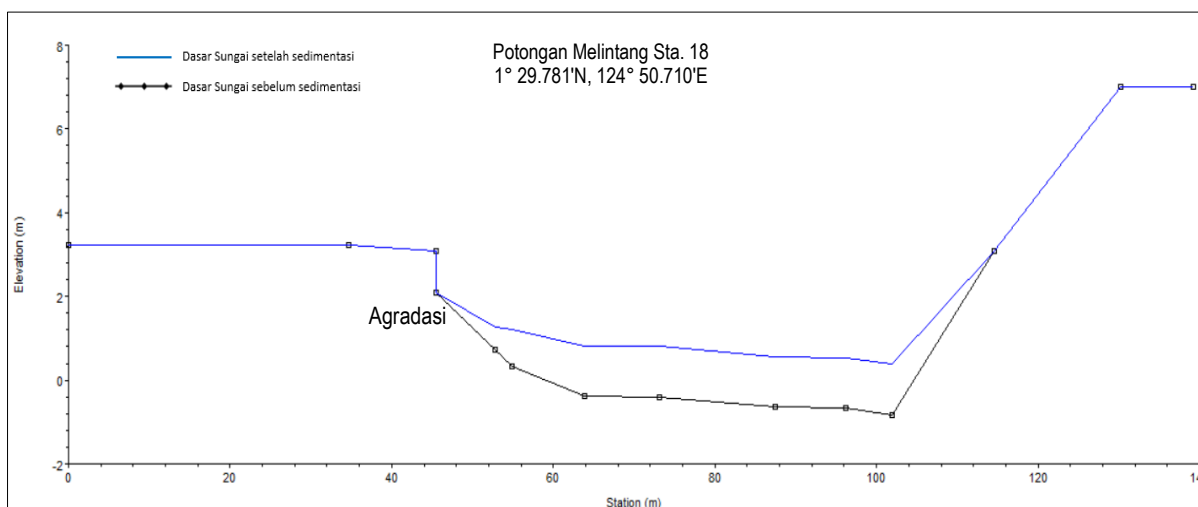
Station (m)	Elevasi (m)			
	Dasar Sungai 2016	Dasar Sungai 2022	Muka Air 2016	Muka Air 2022
0,00	-1,900	-0,450	-0,233	1,003
265,60	-0,530	0,077	0,019	1,070
537,90	-0,560	0,243	0,246	1,157
756,00	-0,090	-0,211	0,467	1,231
1044,20	-0,400	-0,095	0,699	1,335
1258,50	-0,360	0,101	0,983	1,405
1510,10	-0,820	0,143	1,040	1,482
1764,80	-0,410	0,394	1,095	1,572
2016,40	-0,320	0,463	1,214	1,646
2539,63	-0,380	0,504	1,444	1,823
3019,53	-0,790	0,555	1,687	2,046
3279,03	-0,080	0,797	1,732	2,165
3550,53	0,350	1,157	1,847	2,272
3767,83	-0,120	1,026	1,900	2,375
4041,83	-0,030	1,138	2,024	2,497
4514,93	-0,030	1,617	2,167	2,726
5028,13	0,150	1,782	2,237	2,991
5538,53	0,600	2,154	2,362	3,265
6001,53	1,200	2,371	2,594	3,513
6529,03	1,650	2,735	3,114	3,805
7026,73	2,620	3,066	3,752	4,078
7270,23	3,200	3,150	4,178	4,217



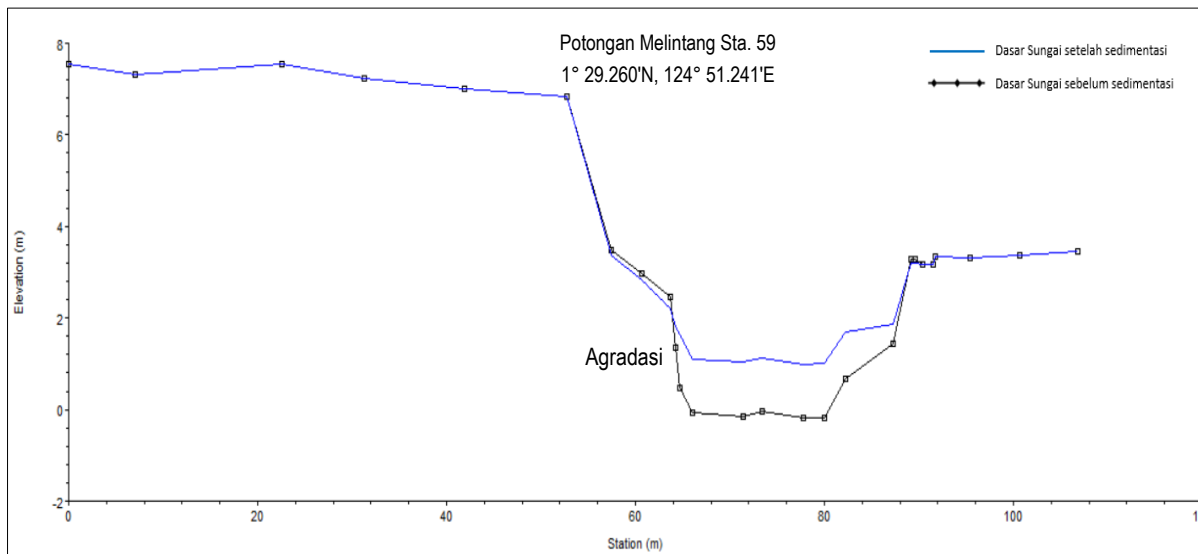
Gambar 13. Perubahan elevasi muka air sebelum dan sesudah agradasi



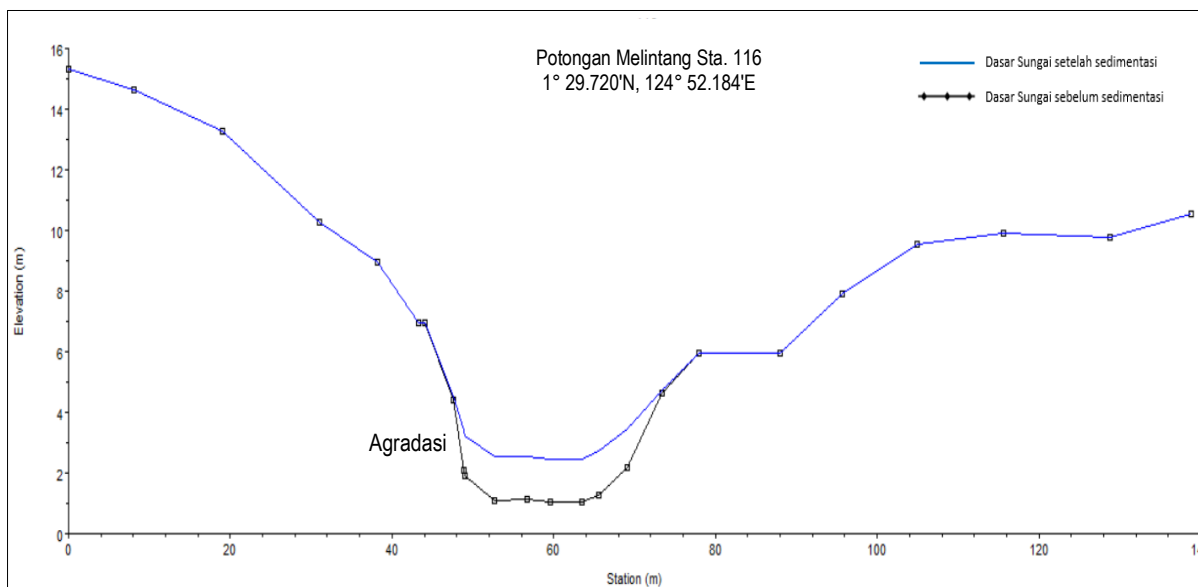
Gambar 14. Volume sedimen selama 6 tahun



Gambar 15. Profil perubahan dasar sungai selama 6 tahun pada Sta.18



Gambar 16. Profil perubahan dasar sungai selama 6 tahun pada Sta. 59



Gambar 17. Profil perubahan dasar sungai selama 6 tahun pada Sta. 116

Pada **Gambar 15, 16 dan 17** diatas menunjukkan bahwa penampang sungai pada segmen hulu Sta. 116, segmen tengah Sta. 59 hingga segmen hilir Sta. 18 Sungai Tondano selama 6 (enam) tahun mengalami perubahan morfologi berupa semakin dangkalnya dasar sungai. Salah satu penyebab terjadinya pengendapan sedimen di Sungai Tondano yaitu ketika aliran air yang melewati sungai mengalami arus yang cukup besar, material pada sungai dapat terlepas dari dasar dan dinding sungai sebagai proses erosi dan terbawa oleh aliran air, kemudian pada saat aliran air mulai lemah atau melambat hingga daya angkut sedimennya berkurang maka material sungai yang

terbawa oleh aliran akan mengendap di dasar sungai.

Sedimentasi tersebut merupakan faktor utama pembentuk morfologi sungai akibat angkutan sedimen yang terjadi melalui fenomena erosi dan pengendapan sedimen. Hal ini yang mempengaruhi terjadinya perubahan terhadap kedalaman dan lebar sungai sehingga mengurangi kapasitas Sungai Tondano.

Sedimentasi yang berlebihan dapat juga menyebabkan pembentukan formasi aliran seperti dunes atau ripples di dasar Sungai Tondano. Hal tersebut menjadi penyebab terjadinya perubahan

bentuk dan morfologi pada Sungai Tondano (Tiny *et al.*, 2022).

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Wuaya *et al.*, (2021) hanya melakukan analisis angkutan sedimen untuk memperoleh volume sedimentasi yang menyebabkan pengurangan kapasitas sungai. Sedangkan pada penelitian ini selain melakukan pemodelan angkutan sedimen dan pengaruh sedimentasi Sungai Tondano terhadap perubahan morfologi sungai yang menyebabkan terjadinya perubahan elevasi dasar sungai dalam periode waktu 6 tahun sehingga menyebabkan terjadinya kenaikan air permukaan. Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini yaitu dapat mengetahui besaran kenaikan elevasi dasar Sungai Tondano akibat sedimentasi sehingga dapat membantu pihak-pihak terkait dalam menentukan pola pengelolaan dan pemeliharaan pada sungai tersebut.

Namun pada penelitian ini tidak dilakukan pemanasan model (*spin up*) model. Hasil pada tahun pertama (Tahun 2016) ikut dianalisa, dimana hasil ini biasanya kurang akurat dan mengandung error akibat ketidakstabilan numeris. Penelitian ini tidak memiliki data pengukuran antara data tahun 2017 dan 2018. Proses pengambilan sampel sedimen dasar dan melayang pada penelitian ini dilakukan hanya pada satu waktu kondisi basah (hujan) dan kering, sehingga untuk akurasi model sedimen yang lebih akurat perlu dilakukan pengambilan sampel dalam periode waktu yang cukup panjang pada kondisi basah dan kering. Kemudian penelitian ini juga tidak mempertimbangkan kemungkinan terjadinya limpasan banjir akibat terjadinya kenaikan elevasi dasar Sungai Tondano.

KESIMPULAN

Sungai Tondano memiliki potensi tersedimentasi dengan kemiringan sungai yang sangat landai dan juga kondisi pemukiman yang sangat padat hingga berada pada tebing sungai. Hasil simulasi model yang diperoleh yaitu dalam kurun waktu 6 tahun terjadi sedimentasi yang cukup signifikan karena adanya perubahan elevasi dasar sungai dari tahun 2016 hingga tahun 2022 akibat ketebalan sedimen rata-rata sebesar 0,891 m atau sekitar 0,130 hingga 0,140 m per tahun, dari perubahan elevasi tersebut jumlah sedimentasi diperoleh sebesar 83.187,49 m³ selama 6 tahun. Akibat terjadinya kenaikan elevasi dasar sungai tersebut sehingga menyebabkan kenaikan elevasi muka air normal setinggi 1,00 s.d. 1,20 m. Sehingga dengan kondisi tersebut perlu dilakukan upaya pemeliharaan sungai berupa normalisasi secara keseluruhan pada ruas sungai wilayah Kota Manado.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat diselesaikan atas bantuan dan dukungan dari semua pihak yang terkait. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Wilayah Sungai Sulawesi I Manado yang telah memberikan data-data yang diperlukan dalam penyusunan penelitian ini, kepada Badan Pengembangan SDM Kementerian PUPR yang telah membiayai proses penelitian ini, serta semua pihak yang telah memberikan saran dan masukan selama penyusunan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwas, M. (1994). *Bentuk Muka Bumi Geografi Kelas Satu*. Jakarta: Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional.
- Asdak, C. (2010). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Air Sungai: Edisi Revisi Kelima*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Basim, S. A., Daham, M. H., & Abed, B. S. (2020). Simulation of Sediment Transport in the Upper Reach of Al-Gharraf River. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 901(1), 012012. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/901/1/012012>
- Ibrahim, I. M., Harsanto, P., & Wisnulingga, B. K. (2022). Evaluasi Morfologi Dasar Sungai Winongo Dengan Hec-Ras 5.0.7. *Jurnal Teknik Sipil*, 17(1), 45–50. <https://doi.org/10.24002/jts.v17i1.6390>
- Kironoto, B. A. (2003). *Diktat Hidraulika: Transpor Sedimen*. Yogyakarta: Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada.
- Mananoma, T., Auwyato, K., Tawalujan, K., Lempoy, I., & Akili, S. (2022). Analisa Sebaran Transpor Sedimen pada Ruas Sungai Sario. *Tekno*, 20(82), 731–736.
- Mardjiko, P. (1987). *Angkutan Sedimen*. Yogyakarta: PAU Ilmu Teknik.
- Soewarno. (1991). *Hidrologi: Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri)*. Bandung: Nova.
- Sudira, I. W., Mananoma, T., & Manalip, H. (2013). Analisis Angkutan Sedimen pada Sungai Mansahan. *Media Engineering*, 3(1), 54–57.
- Tiny, Fajar, M. M., Makasiahe, V., & Kahiking, R. L. (2022). Analisis Besaran Transpor Sedimen Sungai Tondano di Titik Jembatan Mahakam. *Tekno*, 20(82), 737–744.
- Ulum, M., and Khomsin, K. (2013). Perbandingan Akurasi Prediksi Pasang Surut Antara Metode Admiralty Dan Metode Least Square. *Geoid*, 9(1), 65. <https://doi.org/10.12962/j24423998.v9i1.746>

- US Army Corps of Engineers. (2020). *HEC-RAS Sediment Transport User's Manual*. <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/ras1d/1d-sediment-transport-user-s-manual> (diakses 30 Juni, 2023)
- Vanoni, V. A. (2006). *Sedimentation engineering*. In *Sedimentation Engineering*. N.Y. ASCE. <https://doi.org/10.1061/9780784408230>
- Wuaya, Y., Koagouw, Y., Mananoma, T., Singly, J., & Sumarauw, F. (2021). Analisis Transpor Sedimen Pada Sungai Tondano Ruas Kairagi - Singkil. *Jurnal Ilmiah Media Engineering* (1).