

Analisis Besaran Transpor Sedimen Sungai Tondano Di Titik Jembatan Mahakam

Tiny Mananoma^{#1}, Muhammad M. Fajar^{#2}, Victor Makasiahe^{#3}, Regen L. Kahiking^{#4}

^{#1}Dosen Magister Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi

^{#2,3,4}Mahasiswa Program Magister Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi

Jl. Kampus UNSRAT Kelurahan Bahu, Manado, Indonesia, 95115

¹tmananoma@yahoo.com; ²mynameismufli30@gmail.com;

³victoetz313@gmail.com; ⁴regenkahiking@gmail.com

Abstrak

Sungai Tondano termasuk salah satu sungai di Kota Manado yang sering meluap pada saat musim hujan sehingga begitu merugikan penduduk yang bermukim di sekitar bantaran sungai. Akibat debit air sungai yang besar memicu terjadi banjir yang menggenangi sekitar sungai Tondano dan menimbulkan kerugian yang besar. Ada beberapa faktor yang mengakibatkan terjadinya banjir di sekitar aliran sungai Tondano, salah satu faktor adanya penyempitan penampang melintang dan pendangkalan pada alur sungai Tondano. Tujuan penelitian untuk mengetahui besaran transpor sedimen bed load yang terjadi di sungai Tondano dengan harapan hasil analisis ini dapat memberikan informasi bagi pihak terkait untuk melakukan langkah komprehensif maupun mengatasi masalah sedimentasi di sungai Tondano khususnya pada ruas jembatan Mahakam. Dalam pemodelan HEC-RAS digunakan metode Meyer Peter Müller (MPM) yang membutuhkan data masukan seperti data penampang sungai, karakteristik sungai untuk nilai koefisien “n” Manning, data debit, serta data analisis saringan. Hasil analisis transpor sedimen menggunakan metode Meyer Peter Müller (MPM) sebesar 14.988,39 ton untuk tahun 2014 dan 16.588,39 ton untuk tahun 2021.

Kata kunci – sungai Tondano, transpor sedimen, metode MPM, HEC – RAS

Pada kesempatan ini, kami melaksanakan tinjauan penelitian besaran transpor sedimen di segmen sungai antara jembatan Mahakam dan jembatan Megawati. Daerah tersebut merupakan lokasi padat pemukiman yang sering terjadi banjir sehingga melalui upaya pemerintah telah melaksanakan pembangunan tanggul banjir dan normalisasi sungai. Namun adanya proses erosi maupun sedimentasi yang mengakibatkan volume sedimen bertambah sehingga mempengaruhi stabilitas dasar sungai.

B. Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini yang menjadi permasalahan adalah besaran sedimentasi di sungai Tondano yang dapat mempengaruhi volume kapasitas tampung penampang sungai Tondano.

C. Tujuan Studi

Tujuan studi ini adalah untuk menghitung besaran angkutan sedimen dasar (*bed load*) sungai serta mensimulasikan dampak sedimentasi pada sungai Tondano segmen jembatan Mahakam dan jembatan Megawati.

D. Manfaat Studi

Sebagai bahan pertimbangan bagi pihak yang berkepentingan dalam hal penanganan sedimentasi di sungai Tondano titik jembatan Mahakam, yang diharapkan dapat membantu dalam menentukan pola perencanaan dan pengelolaan secara berkelanjutan.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pengelolaan sumber daya air sungai merupakan hal yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan masyarakat saat ini. Pertambahan penduduk menyebabkan kebutuhan pemukiman semakin melebar, salah satunya melebar ke daerah aliran sungai. Berbagai upaya dilaksanakan pemerintah untuk memproteksi daerah aliran sungai terlebih khusus pada daerah pemukiman masyarakat agar kondisi – kondisi yang tidak diinginkan seperti banjir dapat dihindarkan.

II. LANDASAN TEORI

A. Sedimentasi

Tanah atau bagian-bagian tanah yang terangkut oleh air dari suatu tempat yang mengalami erosi pada suatu daerah aliran sungai (DAS) dan masuk ke dalam suatu badan air secara umum disebut sedimen. Sedimen yang dihasilkan oleh erosi dan terbawa oleh aliran air akan diendapkan pada suatu tempat yang kecepatan alurannya melambat atau terhenti. Peristiwa

pengendapan ini dikenal dengan peristiwa atau proses sedimentasi.

B. Transpor Sedimen

Kecepatan aliran sungai lebih besar di badan aliran sungai dibandingkan di tempat-tempat dekat dengan permukaan tebing atau dasar sungai. Dalam pola aliran sungai yang tidak menentu atau berputar-putar (*turbulence flow*) tenaga momentum yang diakibatkan oleh kecepatan aliran yang tak menentu tersebut akan dipindahkan ke arah aliran air yang lebih lambat oleh gulungan-gulungan air yang berawal dan berakhir secara tidak menentu pula. Gulungan-gulungan aliran air ini akan mengakibatkan terjadinya bentuk perubahan dari tenaga kinetis yang dihasilkan oleh adanya gerakan aliran sungai tersebut menjadi tenaga panas, artinya ada tenaga yang memungkinkan terjadinya gerakan partikel-partikel besar sedimen yang merayap (*bed load*).

C. Proses Transpor Sedimen

Begitu sedimen memasuki badan sungai, maka berlangsunglah proses transpor sedimen. Kecepatan transpor sedimen merupakan fungsi dari kecepatan aliran sungai dan ukuran partikel sedimen. Partikel sedimen ukuran kecil seperti tanah liat dan debu dapat diangkat aliran air dalam bentuk terlarut (*wash load*). Sedang partikel yang lebih besar, antara lain pasir cenderung bergerak dengan cara melompat. Partikel yang lebih besar dari pasir, misalnya kerikil (*gravel*) bergerak dengan cara merayap atau menggelinding di dasar sungai (*bed load*).

D. Muatan Sedimen Dasar (Bed Load)

Partikel-partikel kasar yang bergerak sepanjang dasar sungai secara keseluruhan disebut dengan muatan sedimen dasar (*bed load*). Adanya muatan sedimen dasar ditunjukkan oleh gerakan partikel-partikel dasar sungai. Gerakan itu dapat bergeser, menggelinding, atau meloncat-loncat, akan tetapi tidak

pernah lepas dari dasar sungai. Gerakan ini kadangkang dapat sampai jarak tertentu dengan ditandai bercampurnya butiran partikel tersebut bergerak ke arah hilir [3].

E. Perkiraan Muatan Sedimen Dasar dengan Persamaan MPM

Persamaan muatan sedimen dasar Meyer – Peter – Müller sebagai berikut :

$$\frac{q^{2/3}}{D} - 9,5 \left\{ \frac{(\gamma_s - \gamma)}{\gamma} \right\}^{10/9} = 0,462 \frac{(\gamma_s - \gamma)^{1/3}}{\gamma} \left\{ \frac{(\gamma_s - \gamma)}{\gamma_s} q_b \right\}^{2/3}$$

Keterangan :

- q = debit aliran per unit lebar (m³/detik)
- q_b = debit muatan sedimen dasar (kg/det/m)
- γ = berat jenis (*specific gravity*) dari air 1 ton/m³
- γ_s = berat jenis partikel muatan sedimen dasar
- D = diameter butiran (mm)
- S = kemiringan dasar saluran

Sehingga, muatan sedimen dasar untuk seluruh lebar dasar aliran :

$$Q_b = q_b \cdot W$$

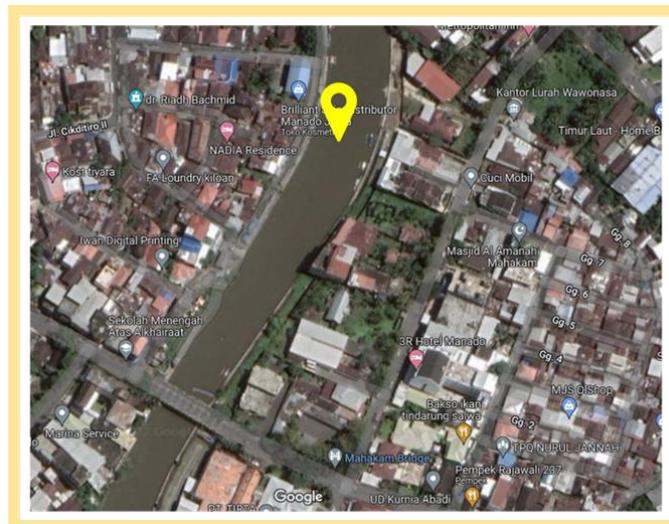
Dimana :

- Q_b = muatan sedimen dasar (ton)
- W = lebar sungai (m)

III. METODOLOGI PENELITIAN

Prosedur studi sebagai berikut :

- Studi dilakukan pada segmen sungai antara jembatan Mahakam dan Jembatan Megawati.
- Pengumpulan data dengan menggunakan data sekunder yaitu berupa peta situasi yang diambil dari citra satelit *google earth*, data debit, data sedimentasi, dan penampang sungai Tondano yang berada di titik jembatan Mahakam.



Gambar 1. Titik Tinjau
Sumber : Citra Satelit Google Earth



Gambar 2. Kondisi Sungai pada Tahun 2014
Sumber : Citra Satelit Google Earth



Gambar 3. Kondisi Sungai pada Tahun 2021
Sumber : Citra Satelit Google Earth

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Lokasi Penelitian

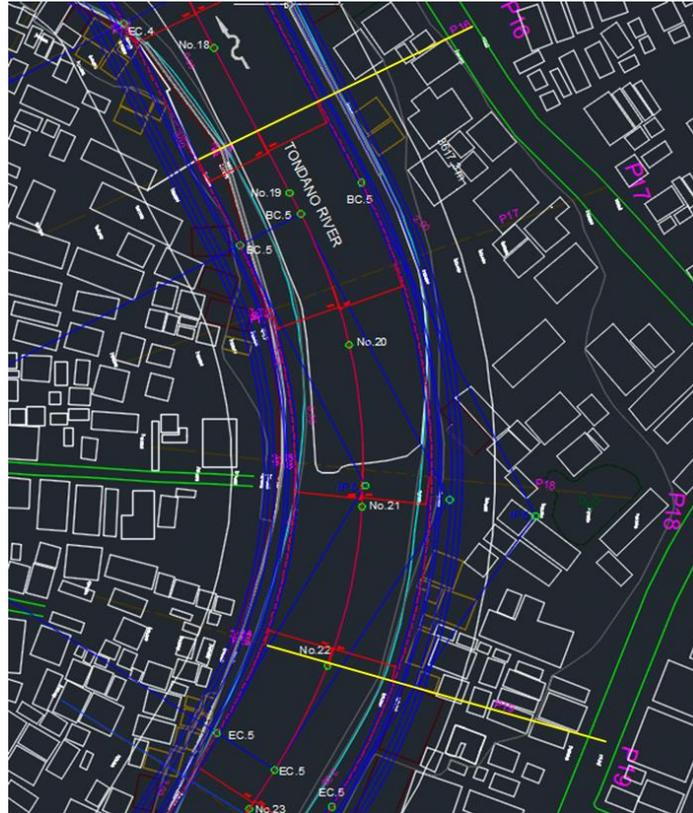
Pada koordinat $1^{\circ}29'41''N$ dan $124^{\circ}50'52''E$. Kemudian dari titik koordinat tersebut, terdapat 2 pengukuran pada tahun yang berbeda dan diambil titik pengukuran *cross section* tersebut hampir mendekati atau sama.

B. Perbandingan Kondisi Sungai yang ditinjau

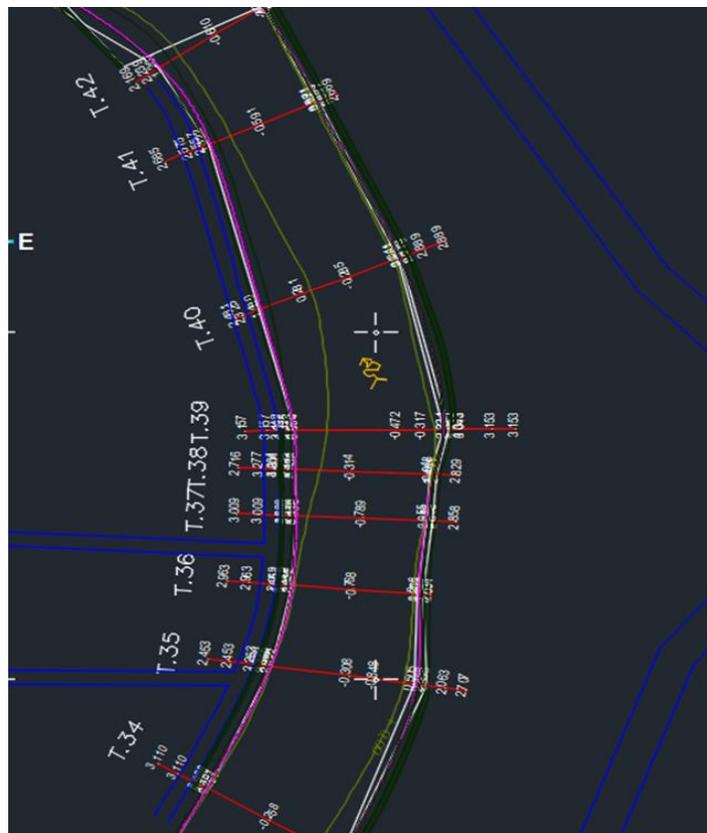
Perbandingan kondisi sungai yang ditinjau yaitu tahun 2014 dan tahun 2021. Jarak dari *cross* hulu ke *cross* hilir yaitu 171,5 m.

C. Analisis Kapasitas Tampung dengan Cara Overlay di Sungai Tinjauan

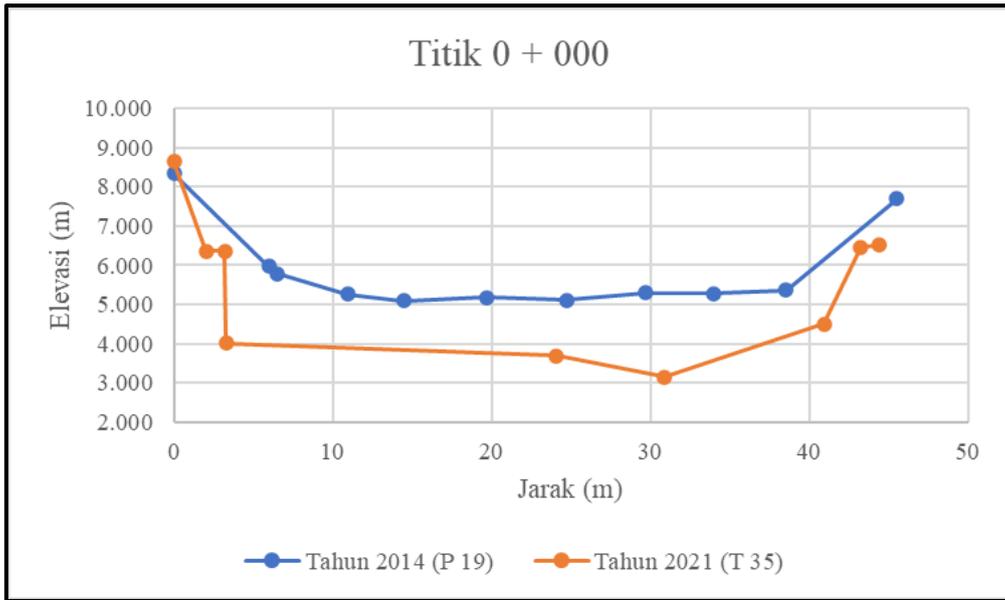
Kajian terhadap hasil pengukuran geometri sungai tahun 2014 dan 2021 memberikan gambaran secara grafis mengenai perubahan geometri penampang pada 2 titik tinjauan yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.



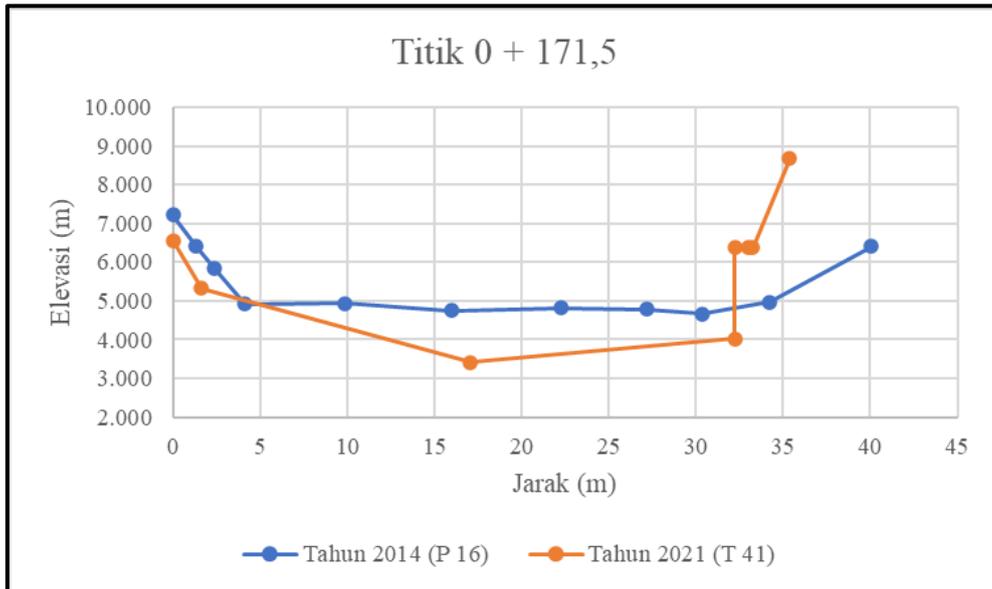
Gambar 4. Kondisi Pengukuran Geometri Sungai Tondano pada Tahun 2014
 Sumber : Balai Wilayah Sungai Sulawesi I



Gambar 5. Kondisi Pengukuran Geometri Sungai Tondano pada Tahun 2021
 Sumber : Balai Wilayah Sungai Sulawesi I



Gambar 6. Cross 0 + 000 (Hulu)



Gambar 7. Cross 0 + 171,5 (Hilir)

TABEL 1
Selisih Volume Kapasitas Tampung

Uraian	P 19	P 16	T 35	T 41
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
Lebar Atas (m)	45,53	40,05	40,03	35,36
Kedalaman (m)	3,248	2,55	5,498	5,27
Luas Kapasitas Tampung (m ²)	90,8	54,20	99,8	71,90
Jarak (m)	171,5		171,5	
Volume (m ³)	6.276,90		4.784,85	
Selisih volume tahun 2014 & 2021			1.492,05	

Sumber : Hasil Analisis

Pada sungai yang ditinjau dilakukan *overlay* pada tahun 2014 dan 2021 untuk mendapatkan volume kapasitas tampung, sehingga didapatkan selisih volume tahun 2021 dan tahun 2014 yaitu 1.492,05 m³. Hal ini menyebabkan sedimentasi yang terjadi dalam kurun waktu tersebut.

C. Analisis Angkutan Sedimen Dasar (Bed Load) dengan Metode MPM

Dengan menggunakan persamaan 1 :

$$\frac{q^{2/3}}{D} - 9,5 \left\{ \frac{(\gamma_s - \gamma)}{\gamma} \right\}^{10/9}$$

$$= 0,462 \frac{(\gamma_s - \gamma)^{1/3}}{\gamma} \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma_s} q_b \right)^{2/3}$$

• Pengukuran Tahun 2014

Diketahui data sebagai berikut:

- Debit (Q_s) = 355,045 m³/detik
- Luas Penampang (A) = 90,8 m²
- Lebar Dasar (W) = 42,79 m
- Kemiringan Dasar Saluran (S) = 0,002
- Jari – Jari Hidraulis (R) = 1,25 m
- Ukuran Butiran (d) = d₉₀
- = 2,7 mm
- d₅₀ = 0,72 mm

Dihitung sedimen dasar saat itu bila kerapatan (*density*) air dan sedimen dianggap = *specific gravity* (BD) air dan sedimen. BA air = 1,00 ton/m³ dan sedimen = 2,65 ton/m³.

$$\text{Kecepatan rata – rata} = \frac{Q}{A} = V = \frac{355,045}{90,8}$$

$$= 3,91 \text{ m/det}$$

$$\text{Koefisien Kekasaran Manning} = V$$

$$= \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \rightarrow n = 1,35$$

$$\text{Maka } n = 1/26 \times (1,35)^{1/6} = 0,06$$

$$\Psi = \frac{2650 - 1000}{1000} \times \frac{0,72 \times 10^{-3}}{4,31 \left(\frac{0,0453}{0,0043} \right) \times 8 \times 10^{-4}}$$

Ψ = 0,0096 (tanpa satuan)

$$\Phi = \left(\frac{4}{0,0096} - 0,188 \right)^{3/2} = 1442,319$$

1442,319

$$= \frac{q_b}{2650} \times \left(\frac{1000}{2650 - 1000} \times \frac{1}{9,81 \times (3,2 \times 10^{-3})} \right)^{1/2}$$

$$q_b = 4,054 \text{ kg/det/m}$$

$$q_5 = q_b \times W$$

$$q_5 = 4,054 \text{ kg/det/m} \times 42,79 \text{ m}$$

$$q_5 = 173,47 \frac{\text{kg}}{\text{det}} = \mathbf{14.988,39 \text{ ton}}$$

• Pengukuran Tahun 2021

Diketahui data sebagai berikut:

- Debit (Q_s) = 355,045 m³/detik
- Luas Penampang (A) = 54,2 m²
- Lebar Dasar (W) = 39,87 m
- Kemiringan Dasar Saluran (S) = 0,0015
- Jari – Jari Hidraulis (R) = 1,25 m
- Ukuran Butiran (d) = d₉₀

$$= 2,7 \text{ mm}$$

$$= 0,72 \text{ mm}$$

d₅₀

Dihitung sedimen dasar saat itu bila kerapatan (*density*) air dan sedimen dianggap = *specific gravity* (BD) air dan sedimen. BA air = 1,00 ton/m³ dan sedimen = 2,65 ton/m³.

$$\text{Kecepatan rata – rata} = \frac{Q}{A} = V = \frac{355,045}{90,8}$$

$$= 3,91 \text{ m/det}$$

$$\text{Koefisien Kekasaran Manning} = V$$

$$= \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \rightarrow n = 2,36$$

$$\text{Maka } n = 1/26 \times (2,36)^{1/6} = 0,05$$

$$\Psi = \frac{2650 - 1000}{1000} \times \frac{0,72 \times 10^{-3}}{4,31 \left(\frac{0,0453}{0,0043} \right) \times 8 \times 10^{-4}}$$

$$\Psi = 0,0096 \text{ (tanpa satuan)}$$

$$\Phi = \left(\frac{4}{0,0096} - 0,188 \right)^{3/2} = 1442,319$$

1442,319

$$= \frac{q_b}{2650} \times \left(\frac{1000}{2650 - 1000} \times \frac{1}{9,81 \times (3,2 \times 10^{-3})} \right)^{1/2}$$

$$q_b = 4,054 \text{ kg/det/m}$$

$$q_5 = q_b \times W$$

$$q_5 = 4,054 \text{ kg/det/m} \times 39,87 \text{ m}$$

$$q_5 = 193,59 \frac{\text{kg}}{\text{det}} = \mathbf{16.588,39 \text{ ton}}$$

Sehingga selisih angkutan sedimen dasar (*bed load*) yang terjadi dalam kurun waktu tersebut yaitu 1.600 ton.

D. Analisis Transpor Sedimen Dengan Menggunakan Program HEC – RAS

Analisis transpor sedimen menggunakan program komputer HEC-RAS dengan menggunakan metode Meyer Peter Müller (MPM) membutuhkan data masukan yaitu penampang saluran, karakteristik saluran untuk nilai koefisien *Manning*, data debit (Q_s) 355,045 m³/detik, dan data analisis saringan ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

• Pengukuran Tahun 2014

Setelah mensimulasikan dengan program HEC–RAS didapat perubahan dasar saluran dari masing–masing penampang, kemudian dihitung besaran transpor sedimen (*bed load*).

Besaran Transpor Sedimen (*Bed Load*)

$$= \text{Luas Rata – Rata} \times \text{Jarak}$$

$$= 98,88 \text{ m}^2 \times 171,5 \text{ m}$$

$$= 16.957,92 \text{ ton}$$

• Pengukuran Tahun 2021

Setelah mensimulasikan dengan program HEC–RAS didapat perubahan dasar saluran dari masing–masing penampang, kemudian dihitung besaran transpor sedimen (*bed load*).

Besaran Transpor Sedimen (*Bed Load*)

$$= \text{Luas Rata – Rata} \times \text{Jarak}$$

$$= 27,44 \text{ m}^2 \times 171,5 \text{ m}$$

$$= 4.705,96 \text{ ton}$$

TABEL 2.
Analisis Saringan di Hulu

Sieve Number	Dia meter (mm)	Mass of Sieve (g)	Mass of Sieve & Soil (g)	Soil Retained (g)	Soil Retained (%)	Soil Passing (%)	Klasifikasi ukuran butiran menurut AGU
#4	4.750	512.38	512.38	0.00	0.00	100.000	kerikil halus
#8	2.380	474.41	535.44	61.03	10.40	89.603	kerikil sangat halus
#10	2.000	462.24	484.25	22.01	3.75	85.853	kerikil sangat halus
#12	1.680	460.67	482.48	21.81	3.72	82.138	pasir sangat kasar
#16	1.190	442.08	516.29	74.21	12.64	69.496	pasir sangat kasar
#18	1.000	437.27	492	54.73	9.32	60.172	pasir sangat kasar
#30	0.590	409.87	589.26	179.39	30.56	29.612	pasir kasar
#40	0.425	397.18	505.42	108.24	18.44	11.172	pasir menengah
#50	0.297	389.36	422.71	33.35	5.68	5.491	pasir menengah
#80	0.177	351.8	378.6	26.80	4.57	0.925	pasir halus
#100	0.149	351.05	351.14	0.09	0.02	0.910	pasir halus
#200	0.075	385.04	388.56	3.52	0.60	0.310	pasir sangat halus
Pan	✕	331	332.820	1.82	0.31	0.000	
TOTAL:				587	100.0		

TABEL 3.
Analisis Saringan di Hilir

Sieve Number	Dia meter (mm)	Mass of Sieve (g)	Mass of Sieve & Soil (g)	Soil Retained (g)	Soil Retained (%)	Soil Passing (%)	Klasifikasi ukuran butiran menurut AGU
#4	4.750	512.38	512.38	0.00	0.00	100.000	kerikil halus
#8	2.380	474.41	537.74	63.33	12.16	87.845	kerikil sangat halus
#10	2.000	462.24	480.94	18.70	3.59	84.255	kerikil sangat halus
#12	1.680	460.67	478.55	17.88	3.43	80.823	pasir sangat kasar
#16	1.190	442.08	497.36	55.28	10.61	70.213	pasir sangat kasar
#18	1.000	437.27	473.26	35.99	6.91	63.305	pasir sangat kasar
#30	0.590	409.87	531.09	121.22	23.27	40.038	pasir kasar
#40	0.425	397.18	508.8	111.62	21.42	18.614	pasir menengah
#50	0.297	389.36	449.31	59.95	11.51	7.107	pasir menengah
#80	0.177	351.8	383.62	31.82	6.11	1.000	pasir halus
#100	0.149	351.05	352.5	1.45	0.28	0.722	pasir halus
#200	0.075	385.04	388.46	2.14	0.41	0.311	pasir sangat halus
Pan	✕	331	332.700	1.62	0.31	0.000	
TOTAL:				521	100.0		

TABEL 4
Perubahan Dasar Saluran

River Sta.	ID Sta.	Invert Change (m)	Lebar Sungai (m)	Luas (m ²)
2	0 + 000	-2.534	45.53	-115.38
1	0 + 171,5	-2.057	40.05	-82.39
			Luas Rata-Rata	-98.88

Sumber : Hasil Analisis

TABEL 5
Perubahan Dasar Saluran

River Sta.	ID Sta.	Invert Change (m)	Lebar Sungai (m)	Luas (m ²)
2	0 + 000	-0.674	40.03	-26.98
1	0 + 171,5	-0.789	35.36	-27.90
			Luas Rata-Rata	-27.44

Sumber : Hasil Analisis

Berdasarkan analisis transpor sedimen (*bed load*) untuk $Q_5 = 355,045 \text{ m}^3/\text{detik}$ dengan cara *overlay*, menggunakan metode MPM, dan simulasi dengan program HEC-RAS diperoleh hasil sebagai yang ditunjukkan pada Tabel 6.

TABEL 6.
Hasil Besaran Transpor Sedimen

Metode	Selisih <i>Bed Load</i> Tahun 2014 dan 2021 (ton)
<i>Overlay</i>	1.492,05
MPM	1.600
HEC - RAS	12.251,96

Sumber : Hasil Analisis

V. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini didapatkan beberapa kesimpulan yaitu :

1. Pada sungai yang ditinjau dilakukan *overlay* pada tahun 2014 dan 2021 untuk mendapatkan volume kapasitas tampung, sehingga didapatkan selisih volume tahun 2021 dan tahun 2014 yaitu 1.492,05 ton.
2. Berdasarkan analisis angkutan sedimen dasar (*bed load*) menggunakan persamaan MPM sebesar 1.600 ton.
3. Dari analisis transpor sedimen bahwa sungai Tondano masih akan mengalami proses sedimentasi yang cukup besar pada kala ulang tertentu.

KUTIPAN

- [1] Achmad, Nizar. 2011. *Persamaan Angkutan Sedimen di Sungai*. Yogyakarta.
- [2] Fajar, Muhammad M. 2022. *Analisis Potensi dan Pengendalian Banjir di Sungai Pulisan dengan Konsep Eko Hidraulik*. Jurnal Tekno Vol. 20 No. 80, p. 107-118, ISSN: 0215-9617. Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- [3] Imanuel, M., Tiny Mananoma., Jeffry S. F. Sumarauw. 2020. *Analisis Debit Banjir dan Tinggi Muka Air Sungai Maen Kecil di Desa Maen Kabupaten Minahasa Utara*. Jurnal Sipil Statik Vol. 8 No. 3, pp.337-344, ISSN: 2337-6732. Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- [4] Kironoto, Bambang Agus. 1997. *Hidraulika Transpor Sedimen*. Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [5] Makal, Pribady., Tiny Mananoma., Jeffry S. F. Sumarauw. 2020. *Analisis Debit Banjir dan Tinggi Muka Air Sungai Kawangkoan di Desa Kawangkoan Kecamatan Kalawat Kabupaten Minahasa Utara*. Jurnal Sipil Statik Vol. 8 No. 3, pp.283-292, ISSN: 2337-6732. Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- [6] Mananoma, Tiny. 2009. *The Effect of Sediment Supply to the Damage of Infrastructures, International Conference on Sustainable Development for Water and Waste Water Treatment (MUWAREC-YK09)*. Yogyakarta.
- [7] Mananoma, Tiny., Djoko Legono., Adam Rahardjo. 2003. *Fenomena Alamiah Erosi dan Sedimentasi Sungai Progo Hilir*. Publikasi Jurnal dan Pengembangan Keairan. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang.
- [8] Nadia, Kivani., Tiny Mananoma., Jeffry S. F. Sumarauw. 2019. *Analisis Debit Banjir dan Tinggi Muka Air Sungai Tembran di Kabupaten Minahasa Utara*. Jurnal Sipil Statik Vol. 7 No. 6, pp.703-710, ISSN: 2337-6732. Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- [9] Sukma, S.Q., Tiny Mananoma., Jeffry S. F. Sumarauw. 2020. *Analisis Debit Banjir dan Tinggi Muka Air Sungai Pinateduan di Desa Tatelu Kabupaten Minahasa Utara*. Jurnal Sipil Statik Vol. 8 No. 3, pp.337-344, ISSN: 2337-6732. Universitas Sam Ratulangi, Manado
- [10] Yang, Chih Ted. 1996. *Sediment Transport Theory and Practice*. Singapore: The McGraw Hill Company.