

ANALISIS TRANSPOR SEDIMEN PADA SUNGAI TONDANO RUAS KAIRAGI – SINGKIL

Yohanis Wuaya Yusuf Koagouw¹⁾,
Tiny Mananoma²⁾, Jeffry Swingly Frans Sumarauw²⁾

¹⁾ Mahasiswa Prodi Teknik Sipil Pascasarjana Universitas Sam Ratulangi Manado

²⁾ Staf Pengajar Prodi Teknik Sipil, Pasca Sarjana Universitas Sam Ratulangi Manado
email: johannes.zigma@gmail.com

ABSTRAK

Sungai Tondano merupakan sungai di Sulawesi Utara yang mengalir melewati 2 kabupaten yaitu Kabupaten Minahasa dan Kabupaten Minahasa Utara, serta 1 kota yaitu kota Manado. Sebagai salah satu sungai terpenting di Sulawesi Utara, sungai Tondano tidak terlepas dari permasalahan. Salah satu permasalahan yaitu pendangkalan alur sungai Tondano. Pendangkalan sungai Tondano menjadi salah satu penyebab terjadinya luapan air sungai yang menyebabkan banjir di daerah hilir sungai di mana terdapat konsentrasi pemukiman dengan aktifitas yang cukup tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran besaran transpor sedimen yang terjadi di sungai Tondano khususnya di ruas Kairagi-Singkil. Penelitian dilakukan dalam 2 tahap analisis yaitu analisis debit maksimum dan analisis sedimen.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk debit maksimum sebesar 2249,1 m³/det terdapat transpor sedimen yang cukup besar terjadi di sungai Tondano yaitu antara 442,99 ton/km²/tahun – 43.038,15 ton/km²/tahun, angka tersebut melebihi angka toleransi transpor sedimen di sungai Tondano yaitu pada kisaran 2.080-3.250 ton/km²/tahun.

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa transpor sedimen telah melebihi batas toleransi sungai Tondano dan mempengaruhi aliran air sungai Tondano yang berkontribusi pada terjadinya banjir di pemukiman warga pada bagian hilir sungai.

Kata Kunci: Sungai Tondano, Sedimentasi, Debit, Banjir

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sungai adalah aliran air yang besar dan memanjang yang mengalir secara terus-menerus dari hulu menuju hilir. Sungai merupakan sumber daya alam yang penting dalam menunjang kehidupan sekitarnya namun juga dapat menjadi ancaman yang bisa membahayakan apabila tidak ditangani dengan baik.

Sungai Tondano adalah salah satu sungai terbesar dan terpanjang ketiga di Sulawesi Utara dengan panjang mencapai 39,9 km dan luas DAS 544,75 km² (BPDAS Manado). Sungai Tondano memiliki peranan penting dalam kehidupan masyarakat Sulawesi Utara terutama di Minahasa, Minahasa Utara, Bitung dan Manado karena selain sebagai sumber air bersih tapi juga sebagai sumber pembangkit listrik tenaga air.

Sungai Tondano memberikan dampak positif bagi daerah sekitarnya namun juga

terkadang membawa bahaya terhadap masyarakat yang ada di sekitar sungai. Banjir adalah salah satu ancaman nyata yang sering terjadi di daerah aliran sungai Tondano yang bukan hanya merugikan secara materil tapi juga memakan korban jiwa. Begitu banyak faktor yang menyebabkan terjadinya banjir di sekitar aliran sungai Tondano dan salah satu yang menyebabkan terjadinya luapan air sungai yang menggenangi area cukup besar adalah adanya pendangkalan pada alur sungai Tondano itu sendiri.

Pendangkalan yang terjadi di sungai Tondano sebagai akibat dari sedimentasi pada alur sungai terutama di bagian hilir sungai. Pada saat terjadi hujan dengan curah hujan yang cukup tinggi dapat menyebabkan kenaikan elevasi muka air banjir yang mampu menggenangi daerah yang lebih luas.

Transpor sedimen di sungai Tondano telah menjadi isu krusial yang disebabkan oleh berbagai macam faktor. Beberapa faktor pengaruh antara lain alih fungsi

lahan, kecepatan aliran, jenis sedimen/ukuran butiran sedimen maupun debit aliran di sungai itu sendiri. Untuk itu perlu dilakukan kajian/analisis terkait kapasitas transpor sedimen di sungai Tondano agar ada penanganan yang tepat dalam mengatasi masalah pendangkalan di sungai Tondano.

Perumusan Masalah

Bertolak dari latar belakang yang ada masalah yang terjadi di sungai Tondano yaitu terjadinya pendangkalan di alur sungai Tondano yang disebabkan oleh proses sedimentasi. Beberapa faktor penting yang menyebabkan terjadinya pendangkalan adalah sebagai berikut:

1. Adanya transpor sedimen dari bagian hulu ke bagian hilir.
2. Berubahnya fungsi penutup lahan di sekitar DAS
3. Terjadinya deforestasi
4. Bangunan ilegal yang berdiri di badan air.

Batasan Penelitian

Dengan adanya keterbatasan waktu dan dana maka kajian ini dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Analisis dibatasi pada kapasitas transpor sedimen pada alur sungai.
2. Analisis hanya terkait *bed load* sedimen dan tidak memperhitungkan *suspended load* dan pengaruh gelombang air laut.
3. Daerah yang ditinjau yaitu pada sungai Tondano dengan titik 0 (nol) dari kairagi 1 (1°29'40.25"N; 124°52'44.19"E) sampai di jembatan Megawati kelurahan Wawonasa (1°29'46.33"N; 124°50'42.48"E).
4. Analisis transpor sedimen dilakukan dengan menggunakan beberapa formula/rumus yang sudah ada.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui kapasitas transpor sedimen yang terjadi di sungai Tondano dengan harapan nantinya hasil analisis ini dapat memberikan informasi bagi pihak terkait/pemangku kepentingan untuk melakukan langkah preventif maupun mengatasi permasalahan sedimentasi di sungai Tondano khususnya pada segmen yang ditinjau.

TINJAUAN PUSTAKA

Parameter Statistik

Dalam perhitungan parameter statistik data curah hujan yang digunakan adalah minimal 10 tahun. Analisis Frekuensi menggunakan variabel-variabel acak dan distribusi probabilitas.

1. Pengukuran *Central Tendensy* (Mean)
2. Pengukuran Variabilitas
3. Uji Data *Outlier*.

Analisis Distribusi Curah Hujan.

Pada umumnya di Indonesia digunakan salah satu dari empat metode yaitu, distribusi normal, distribusi log-normal, distribusi log Pearson III, dan distribusi gumbel.

$$X_T = \bar{X} + K_T S \quad (1)$$

Persamaan ini digunakan untuk distribusi Normal dan Gumbel.

$$Y_T = \bar{Y} + K_T .S_y \quad (2)$$

Persamaan ini digunakan untuk distribusi Log Normal dan Log Pearson III.

Analisis Hidrograf Satuan Sintetik Gama 1.

Perhitungan debit dilakukan dengan metode Hidrograf Satuan Sintetik Gamma 1 (HSS Gama 1).

Untuk resesi (*recession limb*) hidrograf satuan disajikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_t = Q_p . e^{-t/k} \quad (3)$$

Dimana:

Q_t = Debit yang diukur pada jam ke-t sesudah debit puncak. (m³/det)

Q_p = Debit puncak (m³/det)

t = Waktu yang diukur dari saat terjadinya debit puncak (jam)

K = Koefisien tumpangan (jam)

Parameter-parameter yang digunakan dalam menyajikan hidrograf satuan sintetik gama 1 adalah sebagai berikut:

- a. Panjang sungai sangat berpengaruh terhadap waktu naik (TR), Waktu Sumber (SF) dan faktor simetri (SIM). Hubungan ketiganya
- b. Debit puncak (Q_p) dipengaruhi oleh faktor luas DAS (A), waktu puncak (TR), kerapatan jaringan (D), factor sumber (SF) dan jumlah pertemuan sungai (JN).
- c. Waktu dasar (TB) merupakan fungsi dari waktu puncak (TR), landai sungai rata-rata (S), frekuensi sumber (SN) dan luas DAS sebelah hulu (RUA)

Commented [t1]: Cantumkan kordinat lokasi

- d. Koefisien tumpangan (K) sangat dipengaruhi oleh luas DAS (A), landau sungai rata-rata (S), waktu sumber (SF), kerapatan jaringan kurus (D)
- e. Aliran dasar dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut,

$$QB = 0,4751A^{0,6444}D^{0,9430} \quad (4)$$

Dimana:

Q_b = Aliran dasar (m³/det)

A = Luas DAS (km²)

D = Kerapatan jaringan (tidak berdimensi)

Angkutan Sedimen

Dalam perhitungan kapasitas transpor sedimen terdapat beberapa formula/rumus yaitu *Einstein, Engelhun and Hansen, Shen and Hungs, Meyer Peter Muller*.

1. Bentuk persamaan transpor sedimen menurut Einstein adalah sebagai berikut:

$$\Psi^* = \frac{(s_s-1)d_{35}}{\xi_M R_h S_e} \quad (5)$$

$$\Phi^* = \frac{q_{sb}}{\sqrt{(s_s-1)gd_{35}^3}} \quad (6)$$

Dimana:

Φ = intensitas muatan sedimen dasar

$f(\Psi)$ = intensitas aliran

s_s = rapat massa relatif

d_{35} = median ukuran butiran (mm)

R_h = jari-jari hidraulik (m)

S_e = kemiringan dasar sungai

q_{sb} = kapasitas transpor sedimen

Untuk kapasitas transpor sedimen pada lebar sungai maka persamaan menjadi,

$$Q_{sb} = q_{sb} B \quad (7)$$

Dimana, Q_{sb} adalah Kapasitas transpor sedimen untuk seluruh lebar saluran.

2. Persamaan Engelund dan Hansen
Persamaan Engelund dan Hansen didasarkan pada pendekatan tegangan geser. Persamaannya dapat ditulis sebagai berikut:

$$q_s = 0,05\gamma_s V^2 \left[\frac{d_{50}}{g \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)} \right]^{1/2} \left[\frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma)d_{50}} \right]^{3/2} \quad (8)$$

Dengan, $\tau_0 = \gamma D S$

Dimana:

τ_0 = tegangan geser (kg/m^2)

Q_s = muatan sedimen (kg/s)

D = kedalaman hidraulik (m)

S = kemiringan Dasar

3. Persamaan Shen dan Hungs

$$\log C_t = -107404,459 + 324214,747 Y - 326309,589 Y^2 + 109503,872 Y^3 \quad (9)$$

Dimana:

C_t = Konsentrasi sedimen total

$$Y = \left[\frac{V S^{0,57} \omega^{0,0075}}{\omega^{0,32}} \right] \quad (10)$$

V = Kecepatan Aliran (m/s)

ω = Kecepatan Jatuh (m/s)

S = Kemiringan Sungai

$$G_w = \gamma \cdot B \cdot D \cdot V \quad (11)$$

B = lebar penampang sungai (m)

D = kedalaman hidraulik (m)

4. Meyer Peter Muller

$$0,25\rho^{1/3} \frac{(g'_{sb})^{2/3}}{(\gamma_s - \gamma)d} = \frac{\gamma R_{hb} \xi_M S_e}{(\gamma_s - \gamma)d} - 0,047 \quad (12)$$

Dimana:

g'_{sb} = debit sedimen dalam bobot terendam ((kg/s)/m)

R_{hb} = radius hidraulik dasar sungai (m)

ξ_M = parameter kekasaran dasar sungai.

apabila sungai tidak rata maka $\xi_M = 0,35 - 1$

Apabila dasar sungai rata maka $\xi_M = 1$

S_e = kemiringan dasar sungai

γ_s = berat jenis sedimen

γ = berat jenis air

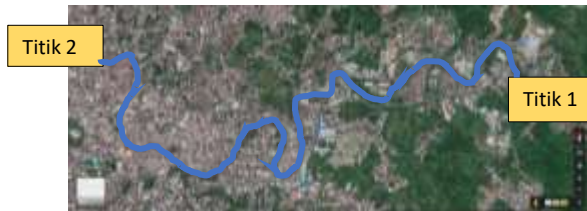
d = d_{50} yaitu ukuran butiran/partikel sedimen

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi studi terletak pada alur sungai Tondano pada ruas Kairagi-Singkil. Titik awal (bagian hulu) berada di Kelurahan Kairagi 1 Kecamatan Paldua dan titik akhir berada di jembatan megawati kelurahan Singkil 1 Kecamatan Singkil. (Gambar 1)

Commented [t2]: BM1 diganti dengan ttk 1,P148 diganti dengan ttk 2



Metode Pengumpulan Data

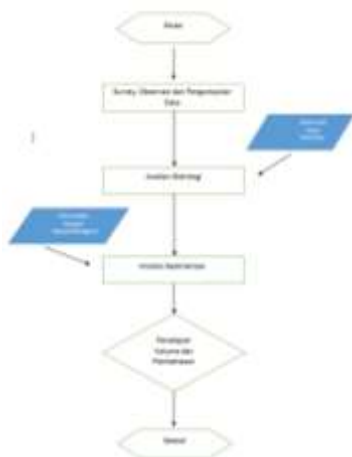
Pengumpulan data yaitu pengumpulan data sekunder. Data sekunder lainnya yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Peta.
2. Data analisis saringan (*sieve analysis*).
3. Parameter hidraulis dari perhitungan.

Analisis Data

1. Analisis hidrologi menggunakan metode Analisis Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I. Data yang diinput adalah data curah hujan dan parameter DAS.
2. Analisis sedimentasi menggunakan beberapa rumus yang telah ada dan dianalisis secara manual. Adapun data yang dibutuhkan dalam analisis adalah data analisis saringan dan kecepatan aliran.
3. Untuk memudahkan dalam analisis, maka alur sungai akan dibagi per stationing meter tinjauan.

Selanjutnya untuk alur penelitian dapat dilihat pada bagan alir berikut.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan Data

Tabel 1. Curah Hujan Harian Max Sta. Paleloan, Sta. Noongan dan Sta. Tikala

No	Tahun	Xi (mm) Paleloan	Xi (mm) Tikala	Xi (mm) Noongan
1	2008	71,50	70	57,60
2	2009	43,00	50,30	98,20
3	2010	67,20	175,50	54,40
4	2011	90,90	190,00	116,40
5	2012	69,60	75,90	94,80
6	2013	66,50	80,60	84,60
7	2014	110,50	177,00	100,00
8	2015	95,00	105,00	95,00
9	2016	115,50	478,00	92,50
10	2017	160,20	0,00	122,00
11	2018	126,50	103,50	79,40
Total		1016,4	1505,8	994,9



Gambar 3. DAS Tondano



Gambar 2. DAS Tondano Outlet Jembatan Megawati

Analisis Data Hidrologi

Analisis pertama yang dilakukan adalah melakukan uji outlier untuk mengetahui apakah ada data yang terlalu jauh dari tren data. Analisis data outlier dilakukan untuk setiap stasiun pencatat hujan. Dari perhitungan C logx didapatkan bahwa

Untuk Sta. Noongan $C_{sy} = -0,935$ sehingga dilakukan uji outlier bawah terlebih dahulu. Untuk Sta. Tikala nilai $C_{sy} = 0,8849$ sehingga dilakukan uji outlier atas terlebih dahulu sedangkan untuk Sta. Paleloan $C_{sy} = -0,198$ sehingga dilakukan uji outlier atas dan bawah bersama sama.

Tabel 2. Hasil Perhitungan nilai Xi Setelah Uji Outlier dan Perhitungan Poligon Thiessen

T	Xt			
	Normal	Log Normal	Log Pearson III	Gumbel
1,001	-62,582	28,450	48,461	1,940
1,25	67,881	74,325	132,545	68,997
1,67	102,710	96,046	91,827	95,076
2	117,468	107,067	101,829	107,771
2,5	132,227	119,353	113,687	121,819
3,33	148,165	134,211	128,876	138,297
4	157,020	143,250	138,613	148,247
5	167,145	154,333	150,759	159,940
10	193,131	186,866	190,886	194,480
20	214,589	218,840	235,887	227,612
50	238,734	261,403	305,056	270,498
100	254,826	294,275	366,292	302,635
200	269,549	327,958	436,665	334,655
500	287,483	374,239	546,237	376,899
1000	299,880	409,995	643,815	408,826

Tabel 3. Rekapitulasi Distribusi Curah Hujan

No	Tahun	Xi
1	2008	67,80211
2	2009	58,27868
3	2010	112,2618
4	2011	140,2592
5	2012	77,88631
6	2013	76,68277
7	2014	137,593
8	2015	99,4189
9	2016	270,663
10	2017	145,255
11	2018	106,0523

Berdasarkan syarat tipe distribusi maka tidak ada yang memenuhi sehingga digolongkan dalam distribusi Log Pearson III.

Perhitungan Debit

- Luas DAS : 533,64 km²
- Panjang Sungai Utama : 47,133 km
- SF : 0,542
- SN : 0,525
- WF : 1,441
- RUA : 0,451
- SIM : 0,65
- S : 0,0177
- D : 1,205
- JN : 226

- a. Perhitungan Waktu Naik
 $T_r = 2,2535$ jam
- b. Perhitungan debit puncak
 $Q_p = 19,656$ m³/det
- c. Waktu Dasar (TB)
 $T_B = 60,065$ jam
- d. Koefisien Tampang
 $K = 6,123$
- e. Aliran Dasar (Base Flow)
 $Q_B = 32,403$ m³/det

Perhitungan Debit Jam Jam-an

Perhitungan debit jam-jaman diperlihatkan pada Tabel 4 di halaman berikut.

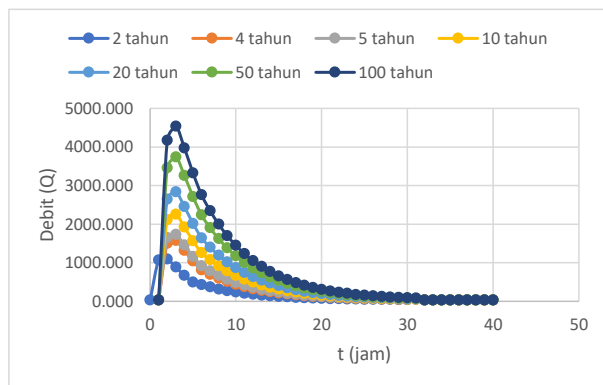
Tabel 4. Perhitungan Debit Jam-Jaman

t (jam)	Qp (m3/det)	k (jam)	t/k	e	Qt (m3/det)
1	19,419	6,100	0,164	2,718	16,48269
2	19,419	6,100	0,328	2,718	13,99064
3	19,419	6,100	0,492	2,718	11,87537
4	19,419	6,100	0,656	2,718	10,07990
5	19,419	6,100	0,820	2,718	8,55590
6	19,419	6,100	0,984	2,718	7,26232
7	19,419	6,100	1,147	2,718	6,16431
8	19,419	6,100	1,311	2,718	5,23232
9	19,419	6,100	1,475	2,718	4,44123
10	19,419	6,100	1,639	2,718	3,76975
11	19,419	6,100	1,803	2,718	3,19980
12	19,419	6,100	1,967	2,718	2,71601
13	19,419	6,100	2,131	2,718	2,30537
14	19,419	6,100	2,295	2,718	1,95682
15	19,419	6,100	2,459	2,718	1,66096
16	19,419	6,100	2,623	2,718	1,40984
17	19,419	6,100	2,787	2,718	1,19668
18	19,419	6,100	2,951	2,718	1,01575
19	19,419	6,100	3,115	2,718	0,86218
20	19,419	6,100	3,278	2,718	0,73182
21	19,419	6,100	3,442	2,718	0,62118
22	19,419	6,100	3,606	2,718	0,52726
23	19,419	6,100	3,770	2,718	0,44754
24	19,419	6,100	3,934	2,718	0,37988
25	19,419	6,100	4,098	2,718	0,32244
26	19,419	6,100	4,262	2,718	0,27369
27	19,419	6,100	4,426	2,718	0,23231
28	19,419	6,100	4,590	2,718	0,19719
29	19,419	6,100	4,754	2,718	0,16738
30	19,419	6,100	4,918	2,718	0,14207

Tabel 5. Debit Maksimum

t (jam)	Debit Maksimum (m3/det)						
	2 thn	4 thn	5 thn	10 thn	20 thn	50 thn	100 thn
0	32,4037	32,4037	32,4037	32,404	32,4037	32,404	32,4037
1	1069,987	1501,611	1644,13	2115	2643,03	3454,7	4173,21
2	1090,33	1568,936	1726,97	2249,1	2834,6	3734,6	4531,34
3	882,6065	1312,527	1454,49	1923,5	2449,44	3257,9	3973,58
4	670,2998	1039,706	1161,68	1564,7	2016,59	2711,2	3326,2
5	495,4381	810,1579	914,078	1257,4	1642,43	2234,2	2758,16
6	425,431	692,5676	780,776	1072,2	1399	1901,3	2346,05
7	366,0084	592,7561	667,628	914,98	1192,38	1618,8	1996,24
8	315,57	508,0352	571,587	781,55	1017	1378,9	1699,33
9	272,7575	436,1235	490,067	668,28	868,141	1175,3	1447,3
10	236,4179	375,0843	420,872	572,14	741,784	1002,5	1233,38

11	205,5726	323,2737	362,138	490,54	634,531	855,86	1051,8
12	179,3908	279,2964	312,285	421,27	543,494	731,36	897,677
13	157,1675	241,9682	269,969	362,48	466,221	625,68	766,854
14	138,3042	210,2837	234,051	312,57	400,632	535,98	655,811
15	122,2929	183,3897	203,564	270,21	344,958	459,85	561,557
16	108,7024	160,5618	177,686	234,26	297,703	395,22	481,553
17	97,16662	141,1853	155,72	203,74	257,592	340,36	413,645
18	87,37498	124,7384	137,076	177,84	223,545	293,8	356,005
19	79,06376	110,7781	121,25	155,85	194,646	254,28	307,079
20	72,00913	98,92853	107,817	137,18	170,116	220,74	265,55
21	66,0211	88,8705	96,4153	121,34	149,295	192,26	230,3
22	60,93842	80,33317	86,7373	107,89	131,622	168,09	200,38
23	56,6242	73,08661	78,5225	96,481	116,621	147,58	174,983
24	52,96225	66,93568	71,5497	86,793	103,888	130,16	153,426
25	49,85396	61,71472	65,6311	78,57	93,0802	115,38	135,129
26	47,21562	57,28313	60,6074	71,59	83,9064	102,84	119,597
27	44,97618	53,52155	56,3432	65,665	76,1196	92,188	106,414
28	43,07532	50,3287	52,7238	60,636	69,5101	83,149	95,2246
29	41,46185	47,61859	49,6515	56,368	63,8999	75,477	85,7266
30	40,09233	45,31822	47,0438	52,745	59,1379	68,965	77,6646



Gambar 3. Hidrograf Debit Maksimum Dengan Kala Ulang Tertentu

Analisis Data Sedimentasi

Hasil analisis kapasitas transpor sedimen untuk metode Einstein, Engelhund & Hansen, Shen & Hungs dan Meyer Peter Muller dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 6. Analisis Metode Einstein

R''	R	P	A	Q	Q kontrol
1,126278	1,833402	63,23258	115,93076	766,446157	2249,07861
0,967887	3,482101	63,23258	220,18225	2249,07345	2249,07861

U'_*		K_s/δ	x	Δ	Δ/δ
0,350931	0,000316662	2,693784904	1,26	0,000677	2,1379

X	d_1/X	ξ_1	d_{65}/δ	Y	$(\beta/\beta_*)^2$
0,000521	1,636363636	1	2,693785	0,55	1,264477

i	d_i	i_{bw}	R'	ψ'_i	d_1/X
1	0,000853018	0,45	11,42421726	0,368005	1,6364
2	0,000787402	0,4	11,42421726	0,339697	1,5105
3	0,000721785	0,15	11,42421726	0,311389	1,3846

ξ_1	Y	ψ_{*1}	ϕ_{*i}	$(i_{BW}q_{bw})$
1	0,7	0,3236223	10	0,135277
1	0,75	0,29872828	10	0,106642
1	0,8	0,27383426	10	0,035098
Σ				0,277016

Total bed load material adalah

$$= B \times (i_{BW}q_{bw})$$

$$= 179,801 \text{ ft} \times 0,277016$$

$$= 49,8076 \text{ lb/s}$$

$$= 0,0249 \text{ ton/s}$$

$$= 2151,6922 \text{ ton/hr}$$

Tabel 7. Analisis Metode Engelund & Hansen

$0,05\gamma_s V^2$	$\left[\frac{d_{50}}{g \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)} \right]^{1/2}$	$\left[\frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma)d_{50}} \right]^{3/2}$	qs	Q	Q (ton/hari)
29,26925	0,003850607	3,998753824	0,450677	24,69855	2133,955

Tabel 8. Analisis Metode Shen & Hungs

ω	Y	Log Ct	Ct	Gw	Qs	Qs (ton/hr)
0,033292	0,9688	0,042232243	1,102128525	76527,13	0,0843	7,287212
0,036273	0,9686	-0,015839083	0,964186212	76527,13	0,0738	6,375145
0,030162	0,9690	0,108310464	1,28324761	76527,13	0,0982	8,484761
Σ						22,14712

9. Analisis Metode MPM

Cd90	Rh	C	Se	U
70,9161	3,4821	31,0360	0,0000445	0,3865

ξ_M	g'sb	q sb	Qsb	Qsb	Qsb
0,2895	0,0331	0,00000205	0,0001122	0,297374	25,6931
			(m3/s)	kg/s	ton/hr

Pembahasan Penelitian

Pada perhitungan debit harian maksimum dengan metode HSS Gama 1 didapat debit maksimum pada jam ke-2 untuk periode ulang dari 2, 4, 5, 10, 20, 50 dan 100 tahun.

Untuk transpor sedimen dalam hal ini *bed load* transpor hasil analisis menunjukkan nilai yang bervariasi antara 22,147 ton/hari – 2151,692 ton/hari atau 442,99 ton/km²/tahun – 43.038,15 ton/km²/tahun pada segmen yang ditinjau. Proses sedimentasi ini menyebabkan agradasi pada bagian hilir sungai. Menurut penelitian yang dilakukan oleh JICA tahun 2001, terjadi transpor sedimen antara 1.500-48.000ton/km²/tahun. Dengan panjang daerah

tinjauan yang hanya 6.333 meter memperlihatkan terjadinya transpor sedimen yang semakin meningkat dibandingkan tahun 2001 sedangkan angka toleransi transpor sedimen sungai Tondano hanya berkisar pada 2.080-3.250 ton/km²/tahun (Nugroho. 2005).

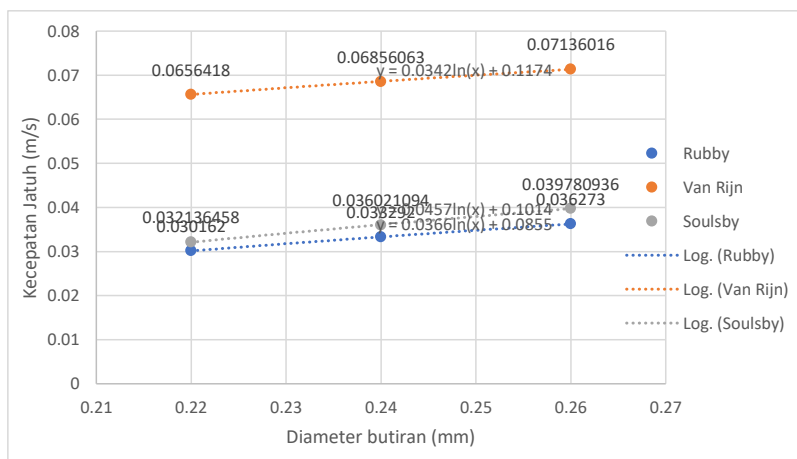
Hasil perhitungan kecepatan jatuh sedimen memperlihatkan kecepatan jatuh berada di kisaran angka 0,030 m/s hingga 0,071 m/s. Pada penelitian yang dilakukan oleh Hambali (2016), hubungan antara kecepatan jatuh sedimen dan diameter butiran sedimen digambarkan dalam fungsi logaritmis yaitu semakin besar diameter maka akan semakin besar pula kecepatan jatuh.

Tabel 11. Analisis Kecepatan Jatuh Sedimen

t (jam)	Debit Maksimum (m3/det)						
	2 thn	4 thn	5 thn	10 thn	20 thn	50 thn	100 thn
2	1090,33	1568,936	1726,97	2249,1	2834,6	3734,6	4531,34

Tabel 12. Hasil Perhitungan Transpor Sedimen per hari

Transpor Sedimen (ton/hr)			
Einstein	Engelund & Hansen	Shen & Hungs	MPM
2151,6922	2133,95508	22,1471176	25,6931081
Transpor Sedimen (ton/km ² /tahun)			
43.038,15	42.683,37	442,99	513,91



Gambar 4. Grafik Fungsi Kecepatan Jatuh Sedimen

PENUTUP

Kesimpulan

1. Debit maksimum sungai Tondano untuk kala ulang 10 tahun adalah sebesar 2249,1 m³/det. Hal ini cenderung mengalami peningkatan dari tahun ke tahun.
2. Transpor sedimen yang terjadi di daerah tinjauan pada sungai Tondano mencapai 442,99 ton/km²/tahun – 43.038,15 ton/km²/tahun dimana angka tersebut telah melebihi angka toleransi transpor sedimen sungai tondano yaitu pada kisaran 2.080-3.250 ton/km²/tahun.
3. Kecepatan jatuh partikel sedimen berada pada angka minimum 0,03 m/s sampai maksimum 0,07 m/s. Dengan jumlah sedimen maksimum yang mengalami transpor sebesar 43.038,15 ton/km²/tahun maka jika ditinjau terhadap kecepatan endapnya dapat disimpulkan proses sedimentasi terjadi dalam laju yang cukup cepat. Hal ini pula yang mengakibatkan

harus adanya pengerukan sedimen sungai Tondano tiap tahun terutama di daerah hilir.

4. Sedimentasi yang cukup besar adalah salah satu faktor pemicu terjadinya banjir tahunan yang menggenangi daerah pemukiman warga di daerah hilir khususnya di wilayah Paldua, Singkil dan Sindulang Satu.

Saran

Saran atau rekomendasi yang dapat diberikan sebagai kelanjutan dari penelitian ini adalah:

1. Perlu dilakukan kajian terhadap *suspended load* melihat jumlah transpor sedimen yang cukup besar mengindikasikan kompleksitas masalah sedimentasi pada sungai Tondano khususnya di bagian hilir sungai.
2. Perlu dilakukan kajian dampak pemukiman yang dibangun di sungai Tondano mulai dari aspek teknis sampai permasalahan sosial budaya untuk mendapatkan gambaran utuh efek campur tangan manusia dalam sedimentasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Graf, W. 1998. *Fluvial Hydraulics: Flow and Transport Processes in Channels of Simple Geometry*. John Wiley & Sons. West Sussex, England.
- Habibi, M. 1994. *Sediment Transport Estimation Methods in River System*. Department of Civil and Mining Engineering. Wollongong.
- Mananoma, Tiny & Koagouw, Yohanis. 2019. The Influence of Flood Discharge to the Stability of River Morphology. *Journal of Sustainable Engineering: Proceedings Series*. 1. 60-67. 10.35793/joseps.v1i1.8.
- Mananoma, Tiny.,Tanudjaja L. 2015. Analisis Debit Banjir di Sungai Tondano Berdasarkan Simulasi Curah Hujan Rencana. *Tekno*. Vol 13/No.63.
- Natakusuma, K. D., Hatmoko, W., Harlan, D. 2011. Prosedur Umum Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis Dengan Cara ITB dan Beberapa Contoh Penerapannya. *Jurnal Teknik Sipil*. ISSN 0853-2982.
- Nugroho, S.P. 2005. Analisis Dan Evaluasi Kerusakan Lahan di Daerah Aliran Sungai Danau Tondano, Provinsi Sulawesi Utara. *Alami Vol 10 no. 1*. 62-72.
- Palar, R. T. 2013. Studi Perbandingan Antara Hidrograf SCS (*Soil Conservation Service*) dan Metode Rasional Pada DAS Tikala. *Jurnal Sipil Statik*. 171-176.
- Rapar, S., Mananoma, T., Wuisan, E., Binilang, A. 2014. Analisis Debit Banjir Sungai Tondano Menggunakan Metode HSS Gama 1 dan HSS Limantara. *Jurnal Sipil Statik Vol 2 No.1*. 13-21.
- Triatmodjo, B. 2008. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset. Yogyakarta.