

Analisis Pola Transpor Sedimen Di Sungai Bailang Kecamatan Bunaken Kota Manado

Frederiko M.I. Moningka^{#1}, Tiny Mananoma^{#2}, Hanny Tangkudung^{#3}

[#]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi

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

¹moningkamarch@gmail.com; ²tmananoma@yahoo.com; ³tangkudunghanny@gmail.com

Abstrak

Secara alami sungai merupakan sarana transpor aliran air dan sedimen. Debit aliran dan sedimen bervariasi, sehingga akan mempengaruhi bentuk morfologi sungai. Sungai Bailang adalah salah satu sungai yang berada di kota Manado, banjir yang terjadi dapat mengikis sungai dan dataran banjir, mengangkut sedimen, dan memindahkan ke arah hilir sehingga menimbulkan dampak negatif. Diperlukan analisis transpor sedimen pada lokasi terpilih yakni Sungai Bailang di Titik Jembatan Bailang. Analisis angkutan sedimen dimulai dengan mencari frekuensi hujan menggunakan metode Log Pearson III. Untuk pemodelan hujan aliran pada program HEC-HMS menggunakan metode HSS Soil Conservation Services, dan untuk kehilangan air dengan SCS Curve Number (CN). Aliran dasar (baseflow) dengan metode recession. Dilakukan kalibrasi parameter HSS SCS sebelum melakukan simulasi debit banjir dengan menggunakan uji debit puncak. Debit puncak 3,6 m³/detik. Selanjutnya analisis debit banjir dengan parameter terkalibrasi menggunakan HEC-HMS. Debit puncak kala ulang 2 tahun dimasukkan dalam program HEC-RAS untuk menghitung angkutan sedimen adalah sebesar 18,8 m³/detik diasumsikan sebagai debit dominan (dominant discharge). Analisis transpor sedimen menggunakan program komputer HEC-RAS dengan metode Meyer Peter Muller (MPM) membutuhkan data penampang sungai, karakteristik saluran untuk nilai n Manning, debit dominan, dan data sedimen. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada penampang sungai Bailang yang ditinjau terjadi erosi dan sedimentasi.

Kata kunci – sungai Bailang, banjir, transpor sedimen, HEC-HMS, HEC-RAS

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Alih fungsi lahan pada hulu sungai serta adanya peningkatan penduduk di daerah bantaran sungai sehingga alur sungai mengalami penyempitan. Sedimentasi di Sungai Bailang adalah fenomena terbawanya partikel sedimen yang dapat mempengaruhi elevasi dasar sungai. Proses sedimentasi yang berlangsung secara terus menerus akan mempengaruhi kestabilan alur sungai serta mengurangi kapasitas tampung penampang sungai yang pada kondisi tertentu dapat meluap sehingga mengakibatkan banjir.

B. Rumusan Masalah

Permasalahan sedimentasi sungai bailang dapat menyebabkan perubahan dasar sungai, mempengaruhi kestabilan alur serta kapasitas tampung penampang sungai, sehingga meluap dan mengakibatkan banjir. Perlu dilakukan analisis transpor sedimen..

C. Batasan Penelitian

Adapun batasan penelitian sebagai berikut :

- Analisis dibatasi pada sedimen dasar (*bed load*).
- Pembahasan data pengukuran yang ada, dibatasi pada lokasi terpilih.
- Perhitungan dengan program komputer *Hydrologic Engineering Center-The Hydrologic Engineering Center-River Analysis System (HEC-RAS)* untuk analisis hidraulika dan transpor sedimen.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan besaran pola transpor sedimen pada sungai Bailang di ruas yang terpilih.

E. Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan memperoleh informasi mengenai pola dan besaran transpor sedimen yang terjadi di sungai Bailang yang dapat berpengaruh terhadap kapasitas tampung penampang sungai.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

II. METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi penelitian terletak di Jembatan Bailang Kecamatan Bunaken Kota Manado Sulawesi Utara. (1°31'20"N 124°51'10"E). Lokasi penelitian akan ditunjukkan pada Gambar 1. Prosedur penelitian yang dilakukan akan digambarkan pada Gambar 2.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Daerah Aliran Sungai

Analisis daerah aliran sungai (DAS) dilakukan untuk mengetahui luas DAS Bailang di titik Jembatan Bailang. Perhitungan luas DAS dilakukan dengan bantuan program *Global Mapper* dengan menggunakan data *SIG* yang didapatkan dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi-1 (BWSS1). Sehingga diperoleh luas DAS Bailang di titik Jembatan Bailang sebesar 11,34 Km². Hasil perhitungan luas DAS akan ditampilkan pada Gambar 3.

B. Analisis Curah Hujan

Analisis curah hujan di ruas terpilih DAS Bailang dilakukan dengan menggunakan data curah hujan harian maksimum yang bersumber dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi I (BWSS1). dengan periode pencatatan tahun 2010 sampai dengan tahun 2020. Pos hujan yang digunakan sebanyak 1 Pos Hujan MRG Bailang Berikut merupakan data hujan harian maksimum dari tahun 2010 sampai 2020. Data Curah Hujan Harian Maksimum akan ditampilkan pada Tabel 1.

C. Uji Data Outlier

Data *outlier* adalah data yang menyimpang terlalu tinggi ataupun terlalu rendah dari sekumpulan data sehingga baik untuk digunakan pada analisis selanjutnya. Hasil *outlier* mendapatkan bahwa data-data curah hujan tidak ada yang menyimpang.

D. Penentuan Tipe Distribusi Hujan

Jenis sebaran hujan bergantung pada nilai parameter statistik yaitu rata – rata hitung atau *mean* (\bar{X}), simpangan baku (S) koefisien kemencengan (Cs), koefisien variasi (Cv) dan koefisien kurtosis (Ck). Penentuan Jenis Tipe Sebaran Data akan ditampilkan pada Tabel 2.

E. Analisis Curah Hujan Rencana

Analisis curah hujan rencana dengan tipe sebaran Log Pearson III. Hasil perhitungan curah hujan rencana akan ditampilkan pada Tabel 3. Perhitungan dilakukan dengan terlebih dahulu.

Rata – rata hitung:

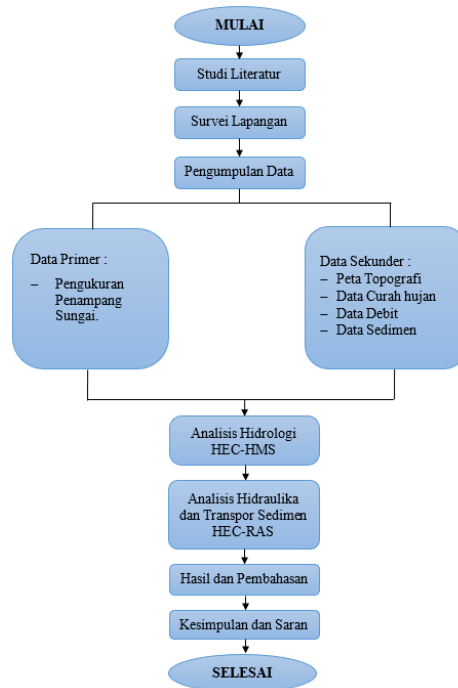
$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log X_i = \frac{1}{11} \times 22,018 = 2,002$$

Simpangan Baku:

$$S_{\log X} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,371}{11-1}} = 0,193$$

Koefisien *Skewness* (Kemencengan):

$$C_{S_{\log X}} = \frac{n}{(n-1)(n-2) \cdot (S_{\log X})^3} \sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^3 = \frac{10}{(11-1)(11-2) \cdot 0,193^3} \times 0,004 = 0,068 \text{ (Kemencengan Positif)}$$



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

F. Pola Distribusi Hujan Jam-jaman

Distribusi hujan jam-jaman merupakan pembagian intensitas hujan berdasarkan polahujan suatu daerah. Dalam penelitian ini digunakan pola hujan dari daerah sekitar yaitu pola hujan daerah Kota Manado dan sekitarnya. Hasil Distribusi Hujan Rencana Tiap kala ulang akan ditampilkan pada Tabel 4.

G. Perhitungan Nilai SCS Curve Number

Nilai CN rata – rata untuk DAS Bailang di titik Jembatan Bailang adalah 79,169. Perhitungan akan ditampilkan pada Tabel 5.

H. Analisis Debit Banjir Rencana

Pemodelan hujan aliran pada program komputer HEC-HMS akan menggunakan metode HSS *Soil Conservation Services*, dan untuk kehilangan air dengan *SCS Curve Number (CN)*. Untuk aliran dasar (*baseflow*) akan menggunakan metode *recession*.

I. Kalibrasi Parameter HSS SCS

Kalibrasi merupakan suatu proses dimana nilai hasil perhitungan dibandingkan dengan nilai hasil observasi lapangan. Kalibrasi Parameter HSS SCS perlu dilakukan untuk mencari nilai parameter HSS SCS teroptimasi dengan membandingkan hasil simulasi HEC – HMS dengan data debit terukur.

Kalibrasi dilakukan pada DAS Lokasi penelitian dengan data debit terukur hasil perhitungan. Kalibrasi dilakukan hanya pada debit puncak. Dikarenakan Ruas Terpilih di Sungai Bailang tidak memiliki data debit terukur, maka perlu dilakukan perhitungan dengan

metode analisis regional sehingga data debit Ruas Terpilih di Sungai Bailang dapat diketahui. Hasil simulasi debit hitungan Sungai Bailang akan ditampilkan pada Gambar 4. Karena hasil kalibrasi debit puncak sama dengan 7,9 m³/s melebihi debit terukur 3,6 m³/s maka parameter-parameter yang ada di coba-coba hingga debit hasil simulasi dianggap memenuhi ketentuan. Parameter hasil kalibrasi akan ditampilkan pada Tabel 6. Sedangkan Grafik Debit Hasil Perhitungan dan Debit Terukur akan ditampilkan pada Gambar 5.

J. Simulasi Debit Banjir dengan Program Komputer HEC-HMS

Setelah kalibrasi, semua parameter terkalibrasi akan digunakan sebagai parameter pada komponen sub-DAS untuk perhitungan debit banjir. Hasil simulasi untuk kala ulang 2 tahun pada gambar 6.

K. Analisis Transpor Sedimen

Analisis Transpor Sedimen menggunakan program komputer HEC-RAS dengan menggunakan metode *Meyer Peter Muller (MPM)* membutuhkan data masukan yaitu penampang saluran, karakteristik saluran untuk nilai koefisien *n Manning*, debit banjir, dan data sedimen.

Data penampang Sungai Bailang di Jembatan Bailang diambil sejauh 175m ke arah hulu. Data Penampang Melintang untuk STA 25 akan ditampilkan pada Gambar 7 dan STA 175 pada gambar 8. Untuk pengisian data debit akan digunakan debit 2 tahunan yang ditampilkan pada Gambar 9, dan data

karakteristik sedimen pada tabel 7 dan 8.

L. Simulasi Transpor Sedimen Dengan Program Komputer HEC-RAS

Simulasi dilakukan dengan masuk pada tampilan *steady flow simulation* kemudian membuat *plan* (rencana). Hasil simulasi mengeluarkan beberapa

output, untuk tampilan *invert elevation* pada Gambar 10, dan pada Gambar 11 dan Gambar 12 perubahan elevasi dasar sungai hulu dan hilir. Untuk STA 50 dan STA 100 terjadi sedimentasi. Untuk STA 25, STA 75, STA 125, STA 150, dan STA 175 mengalami erosi pada Tabel 9. Gambar 13 grafik adalah perubahan elevasi dasar sungai.

TABEL 1
Data Curah Hujan Harian Maksimum

Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum (mm)
	MRG Bailang
2010	123.00
2011	111.00
2012	75.90
2013	194.30
2014	201.00
2015	124.50
2016	65.10
2017	99.30
2018	78.80
2019	46.00
2020	88.20

TABEL 2
Penentuan Tipe Sebaran Data

Tipe Sebaran	Syarat Parameter Statistik	Parameter Statistik Data Pengamatan	Keterangan
Normal	Cs = 0	Cs = 0,94	Tidak Memenuhi
	Ck = 3	Ck = 3,98	Tidak Memenuhi
Log Normal	$Cs = Cv^3 + 3 \cdot Cv = 1,4484$	Cs = 0,94	Tidak Memenuhi
	$Ck = Cv^8 + 6Cv^6 + 15Cv^4 + 16Cv^2 + 3 = 6,948$	Ck = 0,94	Tidak Memenuhi
Gumbel	Cs = 1,14	Cs = 0,94	Tidak Memenuhi
	Ck = 5,40	Ck = 3,98	Tidak Memenuhi
Log Pearson III	Bila tidak ada parameter statistik yang sesuai dengan ketentuan distribusi sebelumnya	-	Memenuhi

TABEL 3
Curah Hujan Rencana

Kala ulang	Log X TR	X TR
2	1.999	99.858 mm
5	2.163	145.532 mm
10	2.250	177.737 mm
25	2.343	220.406 mm
50	2.404	253.543 mm

TABEL 4
Distribusi Hujan Rencana Kala Ulang

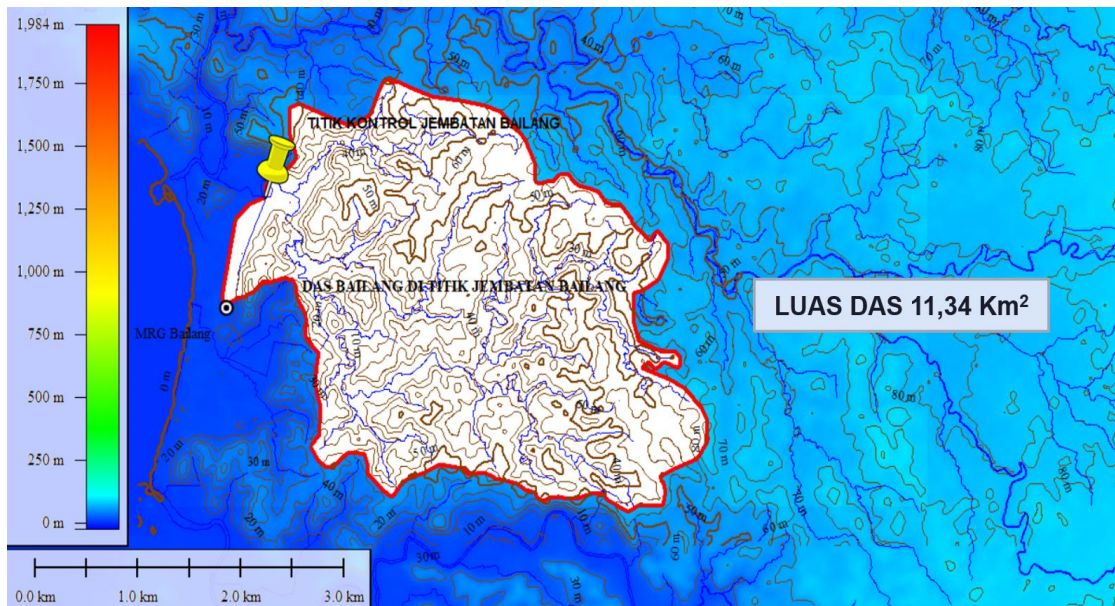
Kala Ulang (Tahun)	Hujan Rencana (mm)	Distribusi Hujan Jam - jaman (mm)							
		Jam Ke							
		1	2	3	4	5	6	7	8
2	99.858	53.931	21.972	7.990	5.992	2.996	0.999	2.996	2.996
5	145.532	78.729	32.075	11.664	8.748	4.374	1.458	4.374	4.374
10	177.737	95.690	38.985	14.176	10.632	5.316	1.772	5.316	5.316
25	220.406	117.810	47.996	17.453	13.090	6.545	2.182	6.545	6.545
50	253.543	134.750	54.898	19.963	14.972	7.486	2.495	7.486	7.486

TABEL 5
Perhitungan Nilai CN DAS Bailang di Titik Jembatan Bailang

Jenis Tutup Lahan	Luas (Km ²)	Persentase (%)	CN Tiap Lahan	CN
Pemukiman (38% kedap air)	4,1	36,15	83	30,008
Hutan (Tanaman jarang, penutupan jelek)	7,24	63,85	77	49,160
Total	11,34	100	-	79,169

TABEL 6
Parameter Hasil Kalibrasi

CN	69,81
Recesion Constant	0,1
Ratio to Peak	0,3
Initial discharge	0,493 m ³ /s
Lag Time	110,801 menit



Gambar 3. DAS Bailang di Titik Jembatan Bailang
Sumber: Global Mapper, Data GIS BWSS-I

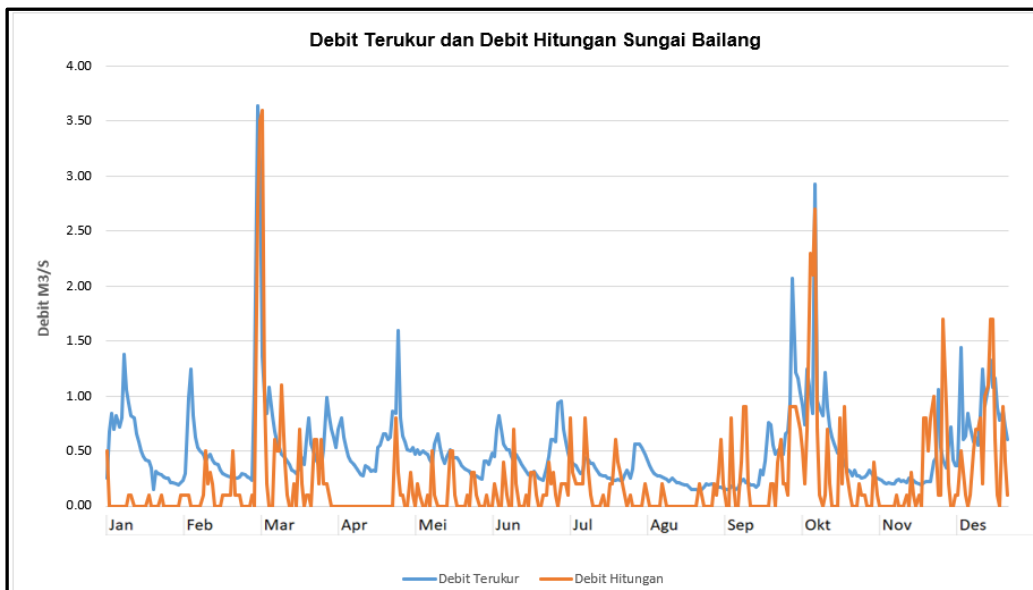
Time-Series Results for Subbasin "Jembatan Bailang"

Project: Skripssi Optimization Trial: Kalibrasi
Subbasin: Jembatan Bailang

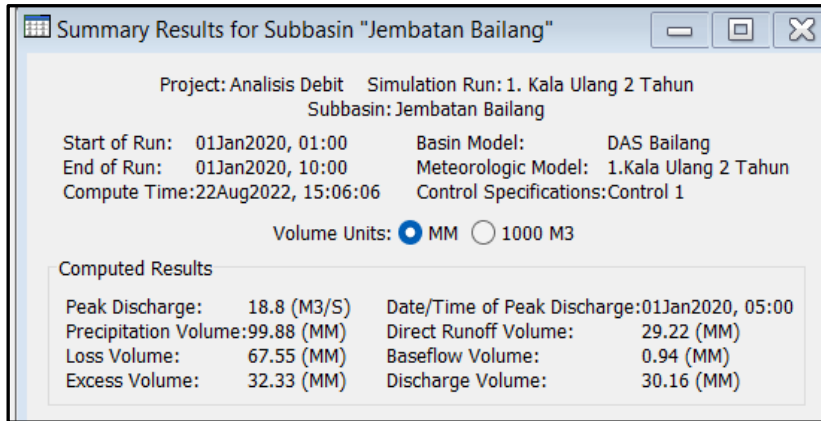
Start of Trial: 01Jan2020, 00:00 Basin Model: DAS Bailang
End of Trial: 31Dec2020, 00:00 Meteorologic Model: Kalibrasi
Compute Time: 21Aug2022, 22:56:06

Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)	Obs Flow (M3/S)
02Jan2020	00:00	2.50	2.50	0.00	0.0	0.1	0.1	0.7
03Jan2020	00:00	9.50	9.50	0.00	0.0	0.0	0.0	0.8
04Jan2020	00:00	7.00	7.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.7
05Jan2020	00:00	5.00	5.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.8
06Jan2020	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.7
07Jan2020	00:00	2.50	2.50	0.00	0.0	0.0	0.0	0.8
08Jan2020	00:00	6.00	6.00	0.00	0.0	0.0	0.0	1.4
09Jan2020	00:00	0.50	0.50	0.00	0.0	0.0	0.0	1.1
10Jan2020	00:00	6.50	6.50	0.00	0.0	0.0	0.0	0.9
11Jan2020	00:00	3.50	3.50	0.00	0.0	0.0	0.0	0.8
12Jan2020	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.8
13Jan2020	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.7
14Jan2020	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.6
15Jan2020	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.5
16Jan2020	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.4
17Jan2020	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.4
18Jan2020	00:00	3.50	3.50	0.00	0.0	0.0	0.0	0.4
19Jan2020	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.4
20Jan2020	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.2
21Jan2020	00:00	1.50	1.50	0.00	0.0	0.0	0.0	0.3
22Jan2020	00:00	1.00	1.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.3
23Jan2020	00:00	3.00	3.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.3
24Jan2020	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.3
25Jan2020	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.2
26Jan2020	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.2
27Jan2020	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.2
28Jan2020	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.2
29Jan2020	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.2
30Jan2020	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.2
31Jan2020	00:00	2.00	2.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.2
01Feb2020	00:00	1.50	1.50	0.00	0.0	0.0	0.0	0.2
02Feb2020	00:00	3.20	3.20	0.00	0.0	0.0	0.0	0.3
03Feb2020	00:00	0.70	0.70	0.00	0.0	0.0	0.0	1.0
04Feb2020	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	1.2
05Feb2020	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.8
06Feb2020	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.6
07Feb2020	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.5
08Feb2020	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.5
09Feb2020	00:00	2.90	2.90	0.00	0.0	0.0	0.0	0.5
10Feb2020	00:00	11.50	11.50	0.00	0.0	0.0	0.0	0.4
11Feb2020	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.4
12Feb2020	00:00	4.50	4.50	0.00	0.0	0.0	0.0	0.5

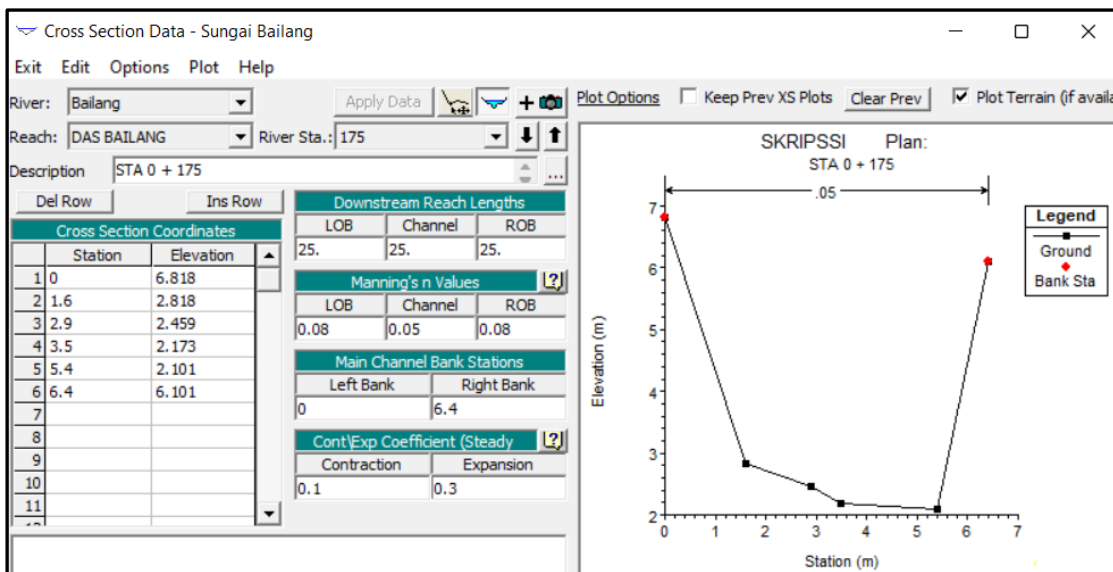
Gambar 4. Debit Hitungan Sungai Bailang (Total Flow)



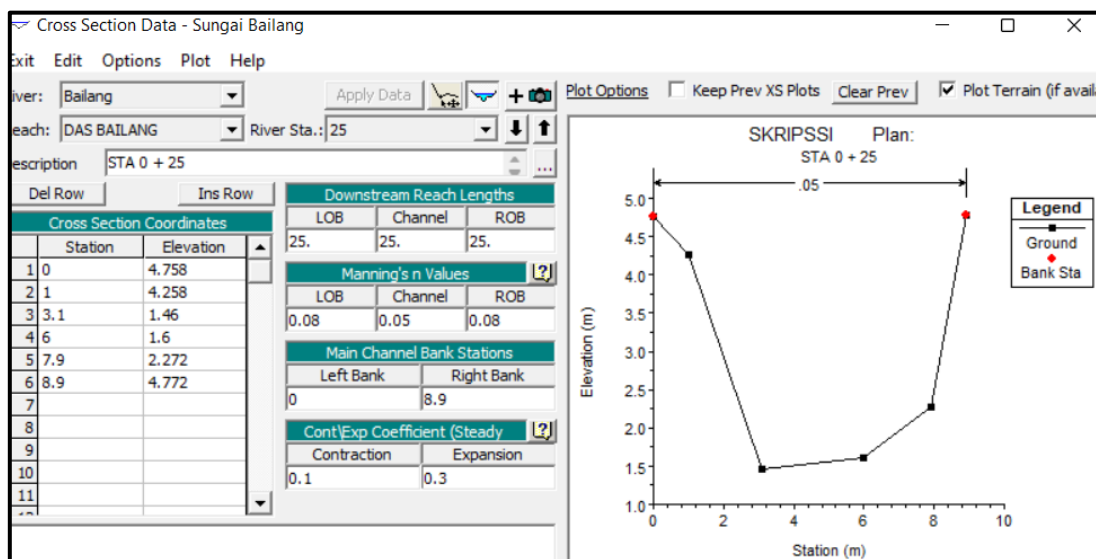
Gambar 5. Grafik Debit Hasil Perhitungan dan Debit Terukur



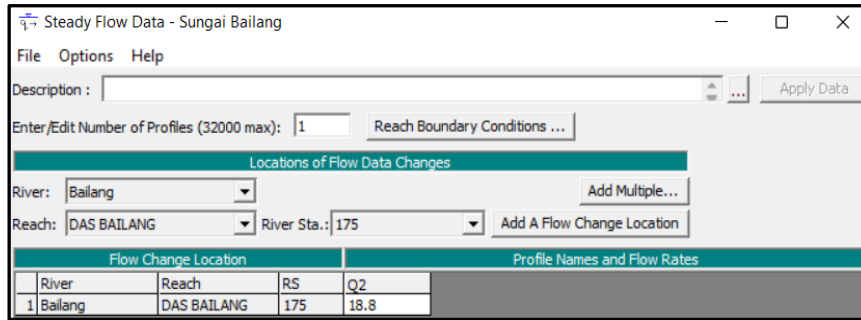
Gambar 6. Summary Result Kala Ulang 2 Tahun



Gambar 7. Data penampang melintang STA 0 + 175 (Hulu)



Gambar 8. Data Penampang Melintang STA 0 + 25 (Hilir)



Gambar 9. Pengisian Data Debit

TABEL 7
Presentase Gradasi Butiran lokasi Hulu

Sieve Number	Diameter(mm)	Mass of Sieve (g)	Mass of Sieve & Soil (g)	Soil Retained (g)	Soil Retained (%)	Soil Passing (%)
#4	4,750	512,38	512,38	0,00	0,00	100,000
#8	2,380	474,41	613,02	138,61	27,72	72,278
#10	2,000	462,24	486,9	24,66	4,93	67,346
#12	1,680	460,67	483,82	23,15	4,63	62,716
#16	1,190	442,08	496,55	54,47	10,89	51,822
#18	1,000	437,27	467,74	30,47	6,09	45,728
#30	0,590	409,87	507,32	97,45	19,49	26,238
#40	0,425	397,18	453,69	56,51	11,30	14,936
#50	0,297	389,36	416,93	27,57	5,51	9,422
#80	0,177	351,8	386,31	34,51	6,90	2,520
#100	0,149	351,05	354,4	3,35	0,67	1,850
#200	0,075	385,04	390,69	5,65	1,13	0,720
Pan		331	334,600	3,60	0,72	0,000
				TOTAL:	500	100,0

TABEL 8
Presentase Gradasi Butiran lokasi Hilir

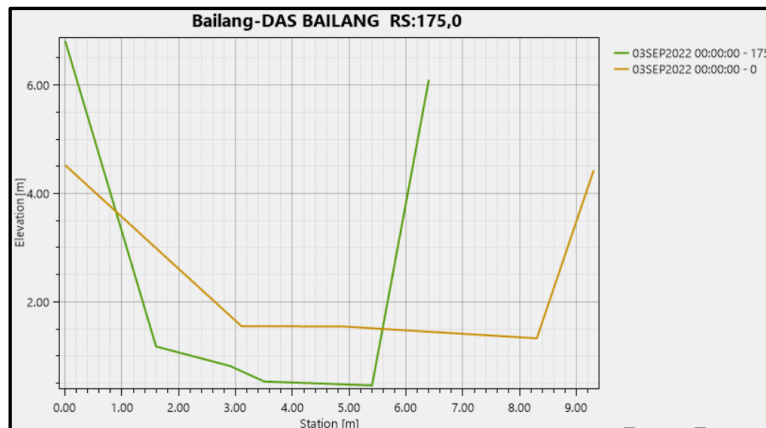
Sieve Number	Diameter (mm)	Mass of Sieve (g)	Mass of Sieve & Soil (g)	Soil Retained (g)	Soil Retained (%)	Soil Passing (%)
#4	4,750	512,38	512,38	0,00	0,00	100,000
#8	2,380	474,41	475,82	1,41	0,56	99,436
#10	2,000	462,24	463,06	0,82	0,33	99,108
#12	1,680	460,67	461,93	1,26	0,50	98,604
#16	1,190	442,08	443,96	1,88	0,75	97,852
#18	1,000	437,27	438,42	1,15	0,46	97,392
#30	0,590	409,87	414,29	4,42	1,77	95,624
#40	0,425	397,18	399,98	2,80	1,12	94,504
#50	0,297	389,36	402,13	12,77	5,11	89,396
#80	0,177	351,8	421,05	69,25	27,70	61,696
#100	0,149	351,05	387,62	36,57	14,63	47,068
#200	0,075	385,04	430,12	45,08	18,03	29,036
Pan		331	403,590	72,59	29,04	0,000
				TOTAL:	250	100,0

	Station (m)	Invert Elevation
1	175	0.461
2	150	0.587
3	125	1.103
4	100	1.449
5	75	-2.993
6	50	3.006
7	25	0.214

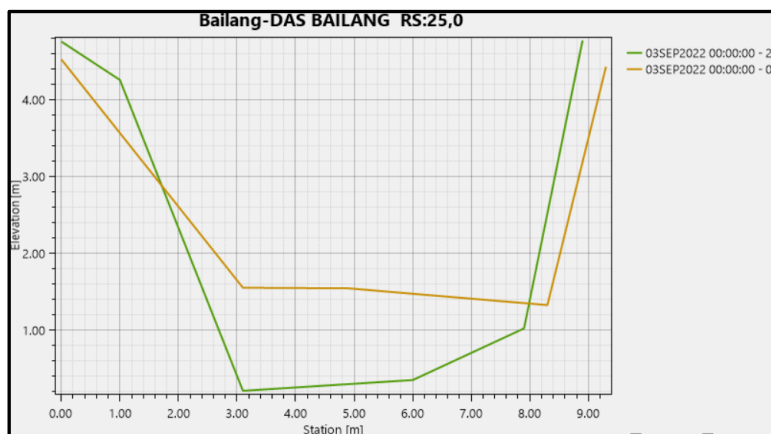
Gambar 10. Tampilan *Invert Elevation*

TABEL 9
Transpor sedimen dengan debit kala ulang 2 tahun (Q2)

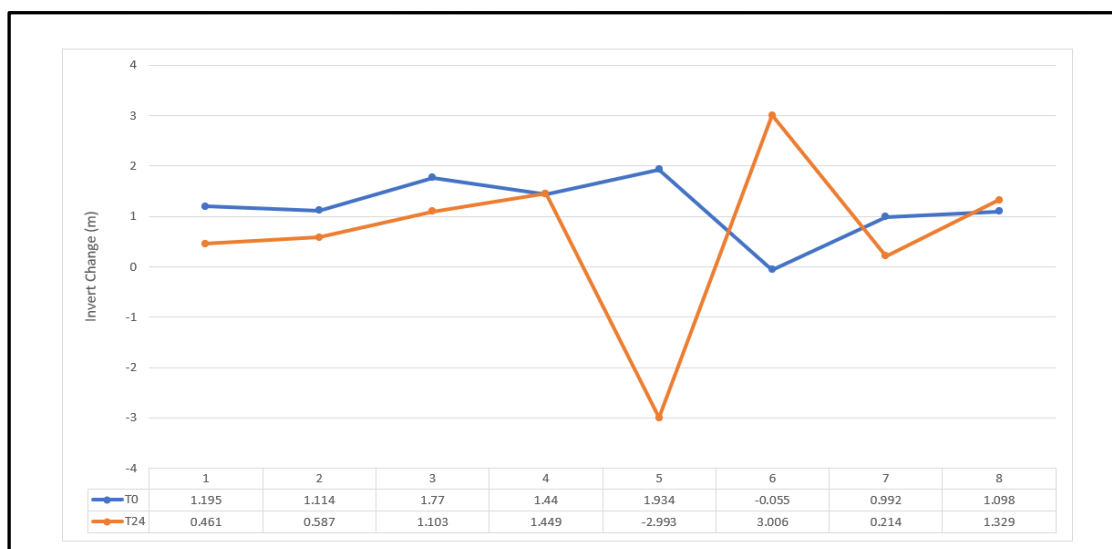
River Sta.	ID Sta.	Elevasi Dasar Saluran		<i>Invert Change</i> (m)	Keterangan
		T ₀	T ₂₄		
175	P1	1.195	0.461	-0.734	Erosi
150	P2	1.114	0.587	-0,527	Erosi
125	P3	1.77	1.103	-0.667	Erosi
100	P4	1.44	1.449	0.009	Sedimentasi
75	P5	1.934	-2.993	-4.927	Erosi
50	P6	-0.055	3.006	2,951	Sedimentasi
25	P7	0.992	0.214	-0,778	Erosi



Gambar 11. Perubahan Elevasi dasar Hulu



Gambar 12. Perubahan Elevasi dasar Hilir



Gambar 13. Rangkuman Perubahan Elevasi Dasar Sungai T0 dan T24 Menggunakan Debit Kala Ulang 2 Tahun

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Perhitungan angkutan sedimen di sungai Bailang menggunakan debit kala ulang 2 tahun sebesar $18,8 \text{ m}^3/\text{detik}$ yang merupakan debit dominan, terjadi sedimentasi dan erosi pada setiap penampang sungai. Terjadi sedimentasi pada STA 50 dan STA 100. Erosi terjadi pada STA 25, STA 75, STA 125, dan STA 175. Dapat disimpulkan berdasarkan hasil simulasi transpor sedimen menggunakan HEC-RAS pada sungai Bailang erosi lebih banyak terjadi dari pada terjadinya sedimentasi.

B. Saran

Perlu dilakukan penelitian secara terus menerus pada titik yang sering terjadi sedimentasi maupun erosi untuk mengantisipasi dampak buruk terhadap kestabilan penampang sungai.

KUTIPAN

- [1] _____ *Data Hujan Harian Pos Hujan Bailang*. Balai Wilayah Sungai Sulawesi 1, Manado.
- [2] _____ *Data Debit Harian Sungai Bailang*. Balai Wilayah Sungai Sulawesi 1, Manado.
- [3] _____ *HEC-HMS Technical Reference Manual*. Hydrologic Engineering Center, U.S Army Corps of Engineers, USA. 2000.
- [4] _____ *HEC-RAS 5.0 Reference Manual*. Hydrologic Engineering Center, U.S Army Corps of Engineers, USA. 2016.
- [5] Ariyani, Dwi, 2015. *Hidrologi*. Universitas Pancasila, Jakarta. Bambang, Triatmodjo, *Hidrologi Terapan*. Beta Offset, Yogyakarta. 2008.
- [6] Bambang, Triatmodjo., 2008. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset, Yogyakarta.
- [7] Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W., 1988. *Applied Hydrology*. Singapore McGraw-Hill.
- [8] Garde, R. J., Ranga Raju, K. G. 1977. *Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems*, Willey Eastern Limited, New Delhi. 273-275.
- [9] Kinori, B.Z. J. Mevorach. Elsevier, 1984. *Manual of Surface Drainage Engineering*. Amsterdam/Oxford/New York/Tokyo.
- [10] Makal, Ariel 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 Mei 2020 (283-292) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- [11] Muhammad, Iqbal Pratama, Djoko Legono, Adam Pamudji Rahardjo. 2019. *Analisis Transpor Sedimen Serta Pengaruh Aktivitas Penambangan Pada Sungai Sombe Kota Palu Sulawesi Tengah*. Jurnal Teknik Pengairan Vol.10 No.2 November 2019 (74-159) ISSN: 2477-6068, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [12] Nadia, Kivani., Tiny Mananoma, Hanny Tangkudung. 2019. *Analisis Debit Banjir dan Tinggi Muka Air Sungai Tembran Di Kabupaten Minahasa Utara*. Jurnal Sipil Statik Vol.7 No.6 Juni 2019 (703-710) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- [13] Ramdan, Hikmat. 2004. *Prinsip Dasar Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Laboratorium Ekologi Hutan Fakultas Kehutanan, Universitas Winaya Mukti.
- [14] Salem, Haniedo P. Jeffry S. F. Sumarauw, E. M. 2016 Wuisan. *Pola Distribusi Hujan Jam – Jaman Di Kota Manado Dan Sekitarnya*. Jurnal Sipil Statik Vol.4 No.3 Maret 2016 (203-210) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- [15] Seyhan, Ersin. 1990 *Dasar-dasar Hidrologi*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [16] Soewarno. 1991. *Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri)*. Nova, Bandung.
- [17] Sumarauw, Jeffry. 2013. *Hujan*. Bahan Ajar Mahasiswa, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- [18] Sumarauw, Jeffry. 2017. *Analisis Frekwensi Hujan*. Bahan Ajar Mahasiswa, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- [19] Sumarauw, Jeffry. 2018 *HEC-HMS*. Bahan Ajar Mahasiswa, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- [20] Supit, Cindy J. 2013. *The Impact Of Water Projects On River Hydrology*. Jurnal Tekno-Sipil Vol.11 No. 59 Agustus 2013 (56-61) ISSN: 0215-9617, Universitas Sam Ratulangi, Manado.