

PROFIL ALIRAN AIR SARAT SEDIMEN DAN PENGARUHNYA TERHADAP PROSES SEDIMENTASI SUNGAI

La'la Monica

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado
email: lala.monica@unsrat.ac.id

ABSTRAK

Sungai Tolour Oki adalah salah satu inlet di danau Tondano, Kabupaten Minahasa yang pernah meluap dan membanjiri beberapa daerah yang dilewati oleh sungai tersebut dan mengakibatkan kerugian bagi warga yang sekitar. Secara teknis, terjadinya banjir di sungai Tolour Oki sebagian besar disebabkan oleh adanya endapan sedimen terlarut bersama aliran air sungai dari daerah hulu, curah hujan yang tinggi serta pengaruh air balik (back water) yang terjadi pada saat pasang air di danau Tondano.

Analisis dilakukan dengan mencari frekuensi hujan dengan metode Log Pearson III. Adapun data hujan yang digunakan berasal dari pos hujan Paleloan. Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan harian maksimum dari tahun 2002 sampai 2019. Setelah didapat besar hujan, 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. Dilakukan kalibrasi parameter HSS SCS sebelum melakukan simulasi debit banjir dengan menggunakan program komputer HEC-HMS. Dalam kalibrasi ini, parameter yang akan dikalibrasi adalah lag time, curve number, recession constant, baseflow dan ratio to peak. Untuk batasan setiap parameter disesuaikan dengan nilai standar pada program komputer HEC-HMS. Hasil kalibrasi menunjukkan nilai Nash Sutcliffe Efficiency yang memenuhi yaitu 0,523. Kemudian dilakukan analisis debit banjir dengan parameter terkalibrasi menggunakan program komputer HEC-HMS. Dalam penelitian ini digunakan perangkat lunak HEC-RAS untuk melakukan penelusuran aliran dengan pemodelan aliran permanen (steady flow) dengan menggunakan debit banjir kala ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun sebagai boundary condition di sebelah hulu dan boundary condition sebelah hilir adalah tinggi muka air danau tertinggi. Hasil perhitungan dibandingkan dengan analisis yang menggunakan Metode Tahapan Standar.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa luapan cenderung terjadi kearah bantaran kanan sungai. Pada penampang sungai Tolour Oki yang ditinjau untuk kondisi dengan pengaruh pasang air danau, untuk semua kala ulang semua penampang sudah tidak mampu menampung debit banjir yang terjadi. Tinggi muka air tertinggi dengan kenaikan muka air banjir (luapan) berkisar 0,01–0,96 meter. Tinggi muka air banjir dan profil muka aliran yang dianalisis dengan HEC-RAS ditinjau kembali dengan menggunakan Metode Tahapan Standart dan diperoleh hasil yaitu presentase perbedaan tinggi profil muka air yang dianalisis dengan metode tahapan standart memiliki selisih yang sangat kecil dengan hasil analisis program HEC-RAS. Uraian diatas menunjukkan bahwa metode tahapan standart dapat menggantikan penggunaan program HEC-RAS dalam menganalisis profil muka air.

Konsentrasi sedimen terlarut pada sungai Tolour Oki adalah 6,30 gr/m³ dengan total sedimen inflow masing-masing pada $Q_{base}=5,91$ m³, $(Q_2)= 625$ m³, $(Q_5) = 1007$ m³, $(Q_{10}) = 1201$ m³, $(Q_{25}) = 1329$ m³, $(Q_{50}) = 1373$ m³ dan $(Q_{100}) = 1372$ m³.

Kata kunci : HEC-HMS, HEC-RAS, Profil aliran banjir, Sedimentasi, Tolour Oki

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Proses alih fungsi lahan di bagian hulu sungai (DAS) yang terjadi secara sporadis menyebabkan aliran sungai membawa sedimen terlarut dengan konsentrasi sangat tinggi yang berakibat pada tambahan kenaikan tinggi muka air sungai. Sungai Tolour Oki yang airnya mengalir menuju danau Tondano adalah salah satu sungai yang sering meluap pada musim penghujan sehingga selain menghambat kegiatan pertanian disekitarnya juga mempengaruhi tingkat kelestarian danau Tondano

serta pengembangan bidang pariwisata. Sejak dicanangkannya Danau Tondano sebagai salah satu danau prioritas di Indonesia yang perlu mendapat perhatian untuk dijaga kelestariannya, maka diperlukan berbagai upaya untuk penyelamatan diantaranya adalah menahan proses laju pendangkalan danau serta memelihara ekosistem danau dengan baik.

Permasalahan pokok penyebab bencana banjir dan kerusakan lingkungan di danau Tondano diakibatkan oleh beberapa faktor yang terjadi secara bersamaan yaitu banyaknya endapan akibat air sungai membawa sedimen terlarut, penggunaan pupuk di lahan persawahan, curah hujan yang tinggi pada musim penghujan, adanya keramba apung atau jaring tancap, pertumbuhan eceng gondok sukar terkendali dan lainnya. Pada musim penghujan, pengaruh tinggi rendah muka air danau mengakibatkan pembendungan aliran air di bagian hilir sungai serta perambatan air banjir ke bagian hulu sungai. Bagaimana tinggi muka air akibat fenomena alam di sekitar danau Tondano yang sangat membahayakan pemukiman masyarakat dan mengakibatkan kerusakan lingkungan pada lahan pertanian/persawahan serta rekomendasi penanganannya menjadi issue penting penelitian ini.

Bagian tahapan akhir penelitian adalah pembuatan metode dalam bentuk penerapan hasil studi empiris untuk menganalisis kondisi luapan pada setiap titik di sekitar danau Tondano disaat terjadi bencana banjir. Penelitian ini akan memberikan manfaat yang signifikan bagi peningkatan kesejahteraan hidup masyarakat sekitar sungai Tolour Oki melalui kontribusi terhadap ilmu pengetahuan khususnya pada bidang sumberdaya air.

Perumusan Masalah

Terjadinya bencana banjir dan kerusakan lingkungan di danau Tondano diakibatkan oleh beberapa faktor yang terjadi secara bersamaan. Penelitian ini menguraikan beberapa permasalahan danau Tondano dan diupayakan memberikan informasi tambahan bagi pemerintah dan swasta untuk penyusunan upaya-upaya penanggulangan banjir di Sungai Tolour Oki agar dampak negatif yang ditimbulkan dapat diminimalisir serta mengakomodir semua kepentingan dan berorientasi bagi kesejahteraan masyarakat.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode hasil penelitian laboratorium sebelumnya yang diaplikasikan sesuai konsentrasi kandungan sedimen terlarut pada sungai Tolour Oki untuk menganalisis kondisi luapan dan profil aliran air banjir serta proses sedimentasi dasar sungai Tolour Oki akibat pasang surut air danau.

LANDASAN TEORI

Curah Hujan Rencana.

Analisis curah hujan yang diperlukan adalah harga rata-rata curah hujan kawasan. Dalam suatu sistem hidrologi, bisa terjadi suatu kondisi ekstrim seperti kekeringan, hujan badai, dan banjir. Frekuensi kondisi ekstrim berbanding terbalik dengan besarnya kondisi. Analisis frekuensi digunakan untuk mengetahui besarnya kondisi dan periode ulang kondisi tersebut dengan menggunakan distribusi probabilitas.

Debit Banjir Rencana

Debit maksimum yang terjadi di sungai dalam suatu perioden ulang disebut debit banjir rencana. Dalam menentukan debit rencana dibutuhkan data luas catchment area, data curah hujan, dan data tutupan lahan. Penelitian ini akan menggunakan bantuan program HEC-HMS dengan metode empiris yakni hidrograf satuan untuk mencari besar debit banjir.

Hidrograf Satuan Sintetis *Soil Conservation Services* (SCS)

Hidrograf tidak berdimensi SCS (*Soil Conservation Services*) merupakan hidrograf satuan sintetis yang mana debit adalah ratio debit terhadap debit puncak dan waktu dalam ratio waktu terhadap waktu naik dari hidrograf satuan. Jika debit puncak dan waktu keterlambatan dari suatu durasi hujan efektif (*lag time*) diketahui, maka hidrograf satuan dapat diestimasi dari UH sintetis SCS.

Analisis Hidraulika

Aliran langgeng (*steady*) adalah aliran dimana kecepatan tidak berubah dalam selang waktu tertentu. Aliran alami pada umumnya tidak tetap disebabkan karena bentuk hidroliknya saluran, sungai–sungai alami tidak teratur, pada tebing saluran ada tanaman, ada bangunan air, berubahnya dasar saluran, dan lainnya. Pada penelitian ini digunakan kondisi aliran langgeng (*steady*) untuk mencari profil muka air. Komponen pada aliran langgeng dapat memodelkan profil muka air pada kondisi aliran subkritis, superkritis dan sistem gabungan.

Aliran Berubah Lambat Laun

Aliran berubah lambat laun dalam keadaan langsung (*gradually varied steady flow*) memiliki ciri-ciri sebagai berikut :

- Aliran langsung
- Garis arus praktis sejajar (pembagian tekanan adalah hidrostatis).
- Perubahan taraf muka air secara berangsur-angsur.

Metode perhitungan profil aliran berubah lambat laun dapat menggunakan metode tahapan langsung dan metode tahapan standar.

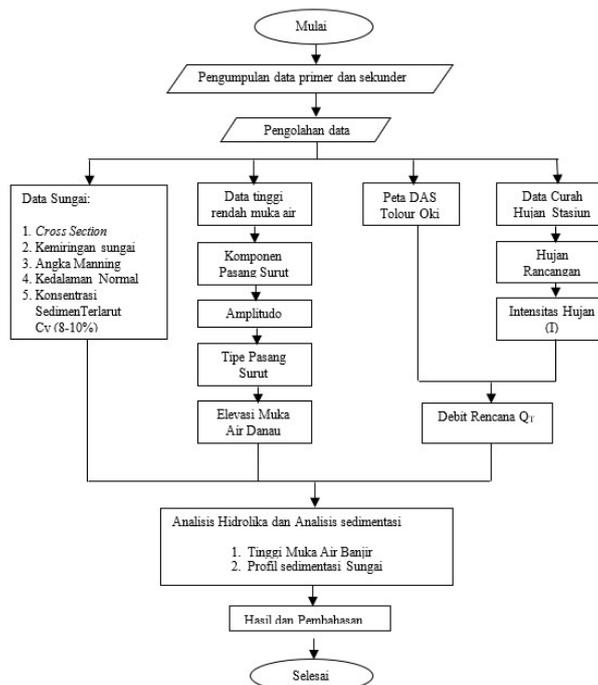
Analisis Transpor Sedimen

Jenis Transpor Sedimen terdiri dari:

1. Transpor sedimen dasar (bed load), q_{sb} (debit solid per satuan lebar, m^3/m), adalah gerak butir sedimen yang selalu berada di dekat dasar saluran atau sungai.
2. Suspended Load (suspended solid), q_{ss} , adalah gerak butir sedimen yang sesekali bersinggungan dengan dasar sungai atau saluran.
3. Transpor sedimen dasar+suspensi atau transpor material dasar total, $q_s = q_{sb} + q_{ss}$, adalah gerak butir sedimen yang selalu berkaitan atau bersinggungan dengan dasar sungai atau saluran.
4. Transpor sedimen wash load, q_{sw} , adalah gerak butir sedimen yang hampir tidak pernah bersinggungan dengan dasar sungai atau saluran.

METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan pelaksanaan penelitian :



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

ANALISIS, HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Hujan Rerata Kawasan

Metode yang digunakan dalam penentuan hujan rerata kawasan adalah metode Poligon Thiessen. Dengan menggunakan bantuan program ARC GIS diperoleh stasiun hujan, yaitu sebagai berikut:



Gambar 2. Program ARC GIS

Analisa Curah Hujan Rencana

Data yang digunakan adalah data curah hujan harian maksimum tahunan yang diambil dari Stasiun Paleloan. Data yang dipakai berjumlah 18 data dengan 18 tahun pengamatan (2002-2019).

Tabel 1. Data Curah Hujan Maksimum

Stasiun Paleloan		
No	Tahun	Curah Hujan
1	2002	107.29
2	2003	63.00
3	2004	136.6
4	2005	98.6
5	2006	59.2
6	2007	65.5
7	2008	71.6
8	2009	40
9	2010	67.2
10	2011	90.9
11	2012	69.8
12	2013	66.5
13	2014	110.5
14	2015	68.56
15	2016	115.5
16	2017	160.2
17	2018	126.5
18	2019	157.3

Sumber: Stasiun Paleloan

Uji Data *Outlier*

Hasil uji data *Outlier* diperlihatkan pada Gambar 3. berikut.

Data max =	160.20			
Data min =	40.00			
		0.166042937		
standar deviasi (Slog) =	0.166042937	=STDEV() =	0.166042937	
Koefisien skewness (Cslog) =	-0.018467315			
	-0.018467315	$K\eta_{(13)} =$	2.247	
Uji outlier tinggi:				
Log Xh =	2.31214684			
Xh =	205.1856			
Uji outlier rendah:				
Log XI =	1.56594988			
XI =	36.80865			
Keterangan: Hasil uji data outlier menunjukkan bahwa tidak terdapat data outlier				

Gambar 3. Hasil Uji Data *Outlier*

Perhitungan Curah Hujan Rencana

Perhitungan curah hujan rencana dilakukan dengan menggunakan persamaan distribusi teoritis Log Person III

Tabel 2. Log Peason tipe III

T	1/T	Kt	Sy	\hat{Y}	Ytr	Xtr
5	20	0.840489	0.161365	1.939048	2.074674	118.7609
10	10	1.281754			2.145878	139.9195
25	4	1.753519			2.222004	166.7264
50	2	2.040398			2.268297	185.4798
100	1	2.30736			2.311375	204.8212

Sumber: Olahan Data

Debit Banjir Rencana Menggunakan HEC-HMS

Pemodelan debit banjir rencana dengan menggunakan program Hec-HMS untuk Loss Method adalah metode SCS *Curve Number* dan dalam menentukan *Curve Number* digunakan Peta Penutup Lahan



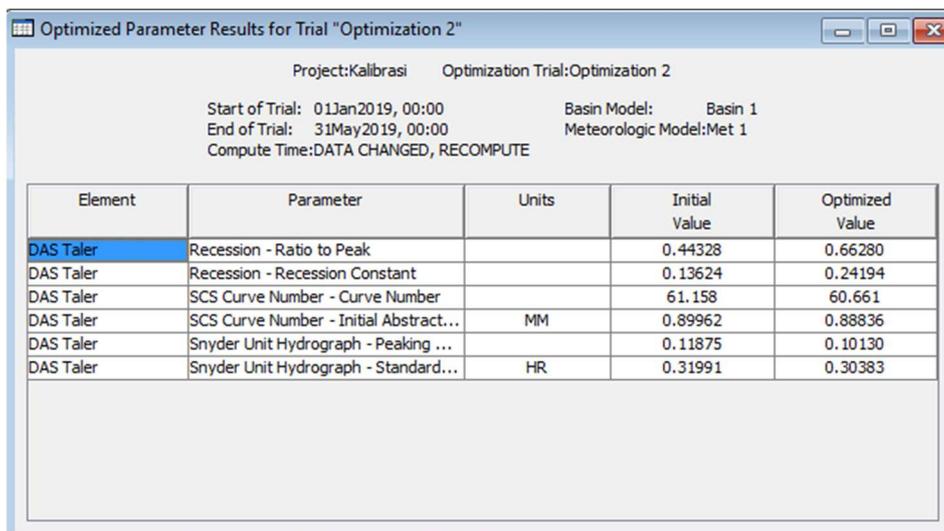
Gambar 4. Peta Penutup Lahan

Tabel 3. Curve Number

Curve Number					
Penutup Lahan	Luas (km2)	%	CN		
Hutan Lahan Kering Sekunder	0.04	0.41	55	0.23	
Belukar	1.08	10.72	70	7.50	
Pemukiman	0.40	4.03	74	2.98	
Pertanian Lahan Kering	2.07	20.61	65	13.39	
Pertanian Lahan Kering Campur	3.04	30.25	58	17.54	
Sawah	3.41	33.99	85	28.89	
Total	10.05	100		70.54	

Kalibrasi Parameter HSS SCS

Sebelum dilakukan perhitungan pemodelan HEC-HMS untuk debit banjir rencana harus dilakukan kalibrasi model perhitungan, karena kalibrasi adalah proses untuk membandingkan debit observasi dilapangan dengan debit hasil perhitungan.



Gambar 5. Hasil Optimization

Debit Banjir

Hasil perhitungan debit banjir dengan kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun ditunjukkan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Debit Banjir Berdasarkan Kala Ulang

Kala Ulang (Tahun)	Debit (m ³ /det)
2	19.9
5	29.4
10	36.1
25	44.9
50	51.2
100	57.9

Sumber: Hasil Perhitungan

Analisis perbandingan luas DAS

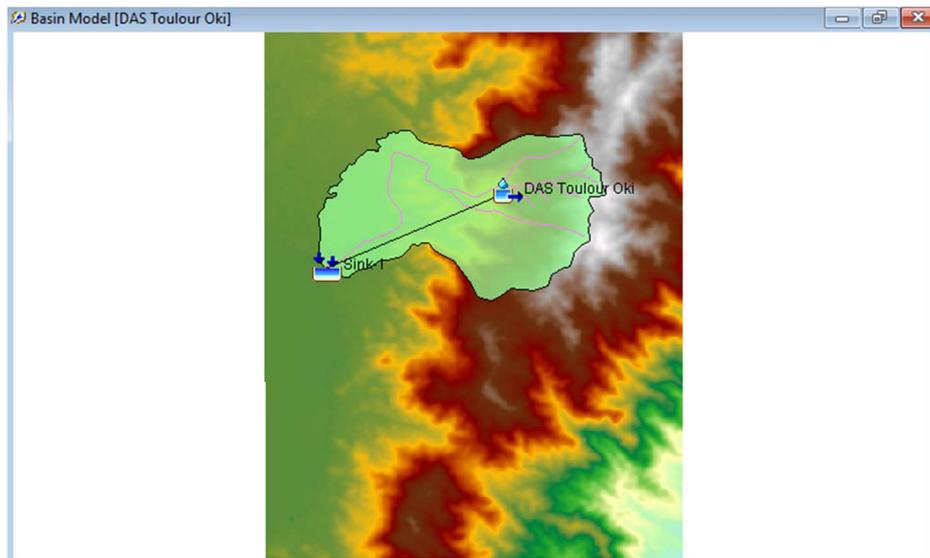
Letak pos debit tidak berada pada titik yang akan dianalisis. Untuk mendapatkan besaran perkiraan debit di titik lokasi penelitian, akan menggunakan metode perbandingan luas DAS.

Tabel 5. Perbandingan luas DAS

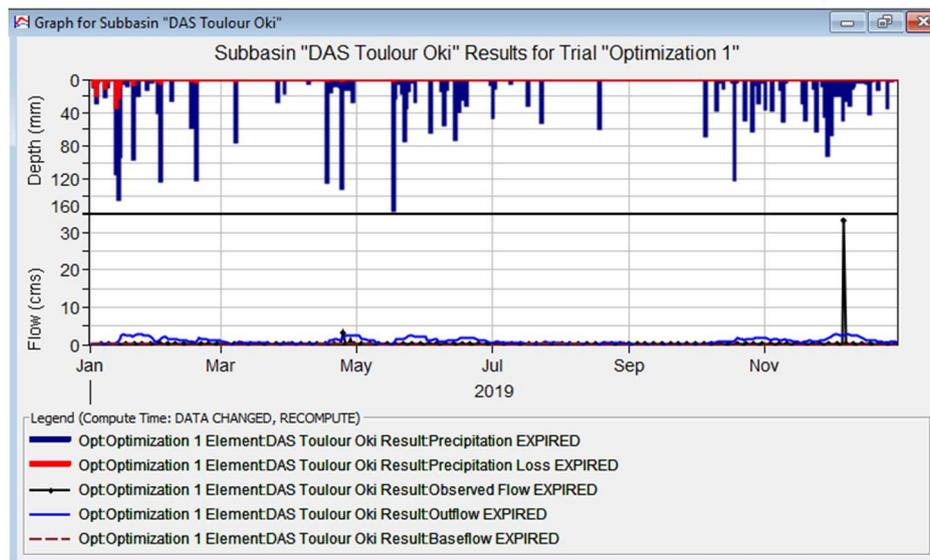
DAS	Luas (km ²)
Taler	10.05
Tolour Oki	8.50

Sumber: Hasil Perhitungan

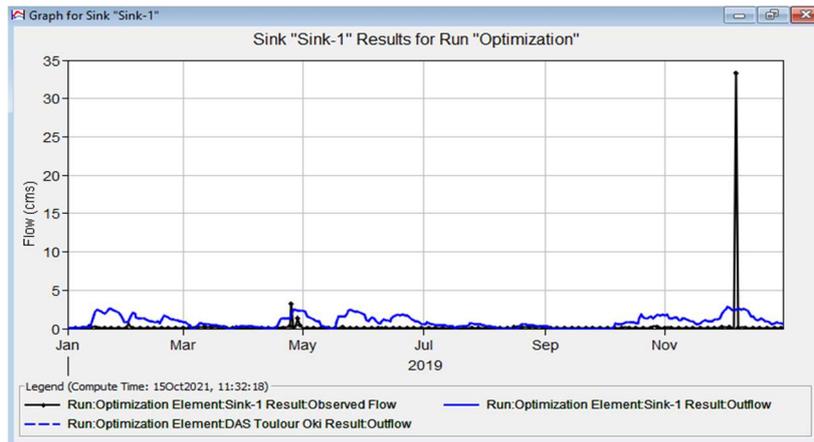
Data hujan rerata, Sub-sistem, luas DAS dimasukkan dianalisis dengan Software HEC-HMS, dengan memasukkan parameter DAS sesuai syarat HEC-HMS. Hasil hitungan kemudian dibandingkan dengan debit pengamatan. Parameter DAS di kalibrasi sehingga debit hasil hitungan mendekati debit pengamatan.



Gambar 6. Basin Model (DAS Toulour Oki)



Gambar 7. Subbasin DAS Toulour Oki Hasil untuk Optimisasi 1



Gambar 8. Debit hasil kalibrasi Sungai Toulour Oki

Analisis ini adalah analisis debit banjir sehingga kalibrasi dititikberatkan pada besaran debit puncak. Dari hasil kalibrasi didapatkan besaran debit puncak hasil hitungan dan debit puncak terukur sudah mendekati sama. Dapat disimpulkan bahwa parameter parameter yang digunakan sudah sesuai untuk DAS Toulour Oki, dan dapat digunakan untuk menghitung debit untuk hujan rencana yang ditentukan.

Optimized Parameter Results for Trial "Optimization 1"

Project:DAS Toulour Oki Optimization Trial:Optimization 1

Start of Trial: 01Jan2019, 00:00 Basin Model: DAS Toulour Oki
 End of Trial: 31Dec2019, 00:00 Meteorologic Model:Met 1
 Compute Time:15Oct2021, 11:28:10

Element	Parameter	Units	Initial Value	Optimized Value
DAS Toulour Oki	Recession - Ratio to Peak		0.33	0.51178
DAS Toulour Oki	Recession - Recession Constant		0.3	0.11418
DAS Toulour Oki	SCS Curve Number - Curve Number		60	45.375
DAS Toulour Oki	SCS Curve Number - Initial Abstract...	MM	1	0.94798
DAS Toulour Oki	Snyder Unit Hydrograph - Peaking ...		0.3	0.19004
DAS Toulour Oki	Snyder Unit Hydrograph - Standard...	HR	0.46753	0.30665

Gambar 9. Parameter yang Dikalibrasi

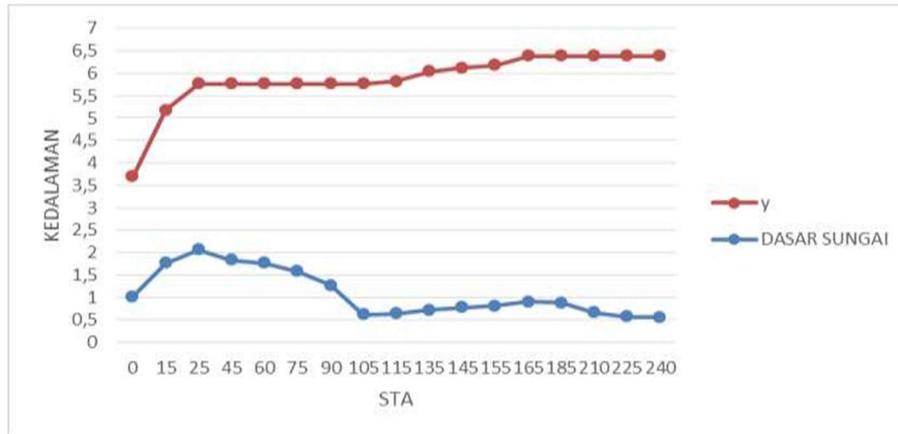
Analisis Profil Muka Air Banjir

Analisis profil muka air banjir akan menggunakan komponen data dengan kondisi pasang surut tertinggi dan debit terbesar.

Metode Tahapan Langsung

Tabel 6. Analisis Dengan Metode Tahapan Langsung

x	Δx	α	V	A	P	R	So	Sf	\bar{S}_f	$\frac{\alpha V^2}{2g}$	ΔE	y2-y1	y
0	0	1.01	1.5	176.29	136.62	1.290367	0	0.001962	0	0.115826	0	0	2.683761
15	15	1.02	1.73	153.85	132.78	1.158684	0.048667	0.003013	0.002487	0.155594	0.69269	0.732459	3.41622
25	10	1.02	1.88	142.22	128.06	1.110573	0.029	0.003765	0.003389	0.183746	0.256114	0.284265	3.700485
45	20	1.04	1.54	176.14	123.72	1.423699	0.017	0.001814	0.002789	0.125712	0.284214	0.226181	3.926666
60	15	1.03	1.48	181.65	119.85	1.515645	0.007333	0.001541	0.001678	0.11499	0.084836	0.074115	4.000781
75	15	1.02	1.27	209.97	113.25	1.85404	0.014667	0.000867	0.001204	0.083851	0.201935	0.170796	4.171576
90	15	1.04	1.08	251.19	117.64	2.135243	0.023333	0.00052	0.000694	0.061828	0.339597	0.317573	4.489149
105	15	1.05	0.96	281.7	113.13	2.490056	0.045333	0.000335	0.000427	0.049321	0.673594	0.661087	5.150237
115	10	1.03	1.06	253.09	102.6	2.466764	0.003	0.000413	0.000374	0.058986	0.026263	0.035928	5.186164
135	20	1.07	1.32	208.21	87.26	2.386088	0.005	0.000669	0.000541	0.095024	0.089176	0.125214	5.311378
145	10	1.11	1.3	216.8	83.29	2.602954	0.004	0.000578	0.000624	0.095612	0.033762	0.03435	5.345728
155	10	1.09	1.34	207.88	83.08	2.502167	0.003	0.000648	0.000613	0.099756	0.023871	0.028015	5.373743
165	10	1.1	1.36	205.22	88	2.332045	0.01	0.000733	0.00069	0.103698	0.093099	0.097042	5.470785
185	20	1.09	1.4	199.1	83.76	2.37703	0.002	0.000757	0.000745	0.108889	0.025105	0.030296	5.501081
210	25	1.12	1.2	236.12	84.64	2.789698	0.0104	0.000449	0.000603	0.082202	0.244925	0.218237	5.719318
225	15	1.13	1.22	232.86	80.04	2.909295	0.006667	0.000439	0.000444	0.085723	0.093339	0.09686	5.816178
240	15	1.15	1.18	244.21	80.59	3.030277	0.001333	0.000389	0.000414	0.081614	0.01379	0.00968	5.825859



Gambar 10. Profil Muka Air Banjir Dengan Metode Tahapan Langsung

Metode Tahapan Standard

Tabel 7. Analisis Dengan Metode Tahapan Standar

Station	Z	Tinggi dasar sungai	y	α	A	V	$\alpha V^2/2g$	H
0	3.7	1.016239	2.683761	1.01	176.29	1.5	0.115826	3.815826
15	3.71	1.760402	1.949598	1.02	153.85	1.73	0.155594	3.865594
25	3.72	2.065602	1.654398	1.02	142.22	1.88	0.183746	3.903746
45	3.84	1.834618	2.005382	1.04	176.14	1.54	0.125712	3.965712
60	3.87	1.760845	2.109155	1.03	181.65	1.48	0.11499	3.98499
75	3.92	1.586193	2.333807	1.02	209.97	1.27	0.083851	4.003851
90	3.95	1.268916	2.681084	1.04	251.19	1.08	0.061828	4.01828
105	3.97	0.615372	3.354628	1.05	281.7	0.96	0.049321	4.019321
115	3.97	0.639817	3.330183	1.03	253.09	1.06	0.058986	4.028986
135	3.96	0.722469	3.237531	1.07	208.21	1.32	0.095024	4.055024
145	3.97	0.777229	3.192771	1.11	216.8	1.3	0.095612	4.065612
155	3.97	0.808124	3.161876	1.09	207.88	1.34	0.099756	4.069756
165	3.97	0.9086	3.0614	1.1	205.22	1.36	0.103698	4.073698
185	3.98	0.881963	3.098037	1.09	199.1	1.4	0.108889	4.088889
210	4.02	0.659196	3.360804	1.12	236.12	1.2	0.082202	4.102202
225	4.03	0.57162	3.45838	1.13	232.86	1.22	0.085723	4.115723
240	4.04	0.560546	3.479454	1.15	244.21	1.18	0.081614	4.121614

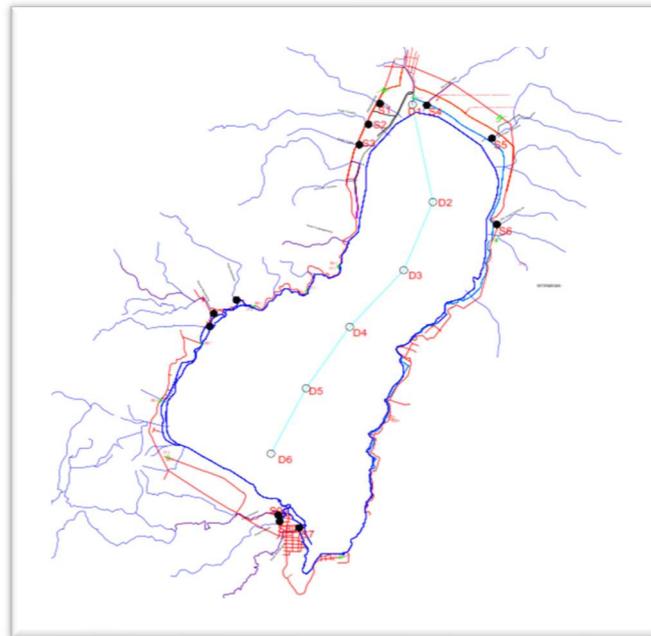
Tabel 8. Analisis Dengan Metode Tahapan Standar

P	R	$R^{4/3}$	Sf	\bar{S}_f	Δx	hf	H	Persentase Selisih H (%)	Keterangan
136.62	1.290367	1.404811	0.001962	0	0	0	3.815826	0	Memenuhi
132.78	1.158684	1.216988	0.003013	0.002487	15	0.03731	3.853135	0.003	Memenuhi
128.06	1.110573	1.150084	0.003765	0.003389	10	0.033886	3.887021	0.004	Memenuhi
123.72	1.423699	1.601612	0.001814	0.002789	20	0.055786	3.942807	0.006	Memenuhi
119.85	1.515645	1.740991	0.001541	0.001678	15	0.025164	3.967971	0.004	Memenuhi
113.25	1.85404	2.277677	0.000867	0.001204	15	0.018065	3.986036	0.004	Memenuhi
117.64	2.135243	2.749559	0.00052	0.000694	15	0.010403	3.996439	0.004	Memenuhi
113.13	2.490056	3.375039	0.000335	0.000427	15	0.006406	4.002845	0.004	Memenuhi
102.6	2.466764	3.333012	0.000413	0.000374	10	0.003737	4.006583	0.006	Memenuhi
87.26	2.386088	3.188466	0.000669	0.000541	20	0.010824	4.017407	0.009	Memenuhi
83.29	2.602954	3.580595	0.000578	0.000624	10	0.006238	4.023645	0.010	Memenuhi
83.08	2.502167	3.396943	0.000648	0.000613	10	0.006129	4.029773	0.010	Memenuhi
88	2.332045	3.092545	0.000733	0.00069	10	0.006901	4.036674	0.009	Memenuhi
83.76	2.37703	3.172338	0.000757	0.000745	20	0.014895	4.051569	0.009	Memenuhi
84.64	2.789698	3.927138	0.000449	0.000603	25	0.015075	4.066645	0.009	Memenuhi
80.04	2.909295	4.153209	0.000439	0.000444	15	0.006661	4.073306	0.010	Memenuhi
80.59	3.030277	4.385069	0.000389	0.000414	15	0.00621	4.079516	0.010	Memenuhi

Sedimentasi

Lokasi pengambilan sample dilakukan pada sungai Tolour Oki seperti gambar (S5). Berdasarkan proyeksi tutupan lahan 2050, hanya terjadi sedikit perubahan total luasan tutupan antara tutupan lahan

penahan sedimentasi (hutan dan persawahan) dan penyebab meningkatnya sedimentasi (lahan kosong dan pemukiman) sebesar 2%, sehingga besarnya rata-rata konsentrasi sedimen layang dari DAS diasumsikan sama pada tahun 2016 dan 2050



Gambar 11. Titik-titik Monitoring Sedimen dan Pengukuran Sedimen

Pada Danau Tondano, data sedimen didapatkan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sembiring, A. (2014). Hasil dari penentuan parameter sedimen diperlihatkan pada tabel berikut.

Tabel 9. Data Sedimen

Data Sedimen	
d50 (mm)	0.5
Porositas	0.4
Gs	2.66

Dari simulasi dalam 24 jam yang telah dilakukan ditemukan hubungan besarnya debit sungai, volume sedimen dan penambahan tinggi. Berdasarkan hubungan tersebut dilakukan analisis estimasi penambahan volume dan ketinggian sedimentasi selama kurun waktu 30 tahun yang ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 10. Estimasi Kenaikan Dasar Danau Setelah 30 Tahun

Kala Ulang	Total Sedimen Perhari (m ³)	Penambahan Tinggi Sedimen (mm)	Frekuensi dlm 30 tahun	Total 30 Tahun (m ³)
Qbase	79.73	0	10950	873043.5
Q2	74798.06	1.56	15	1121970.9
Q5	105611.24	2.2	6	633667.44
Q10	119158.91	2.48	3	357476.73
Q25	128827.69	2.68	2	257655.38
Q50	134039.34	2.79	1	134039.34
Q100	137251.45	2.86	1	137251.45
Total volume Sedimen dalam 30 Tahun (m ³)				3515104.7
Total Kenaikan Dasar Setelah 30 tahun (mm)				73.25

Tabel 10 mengadopsi asumsi bahwa seluruh sedimentasi terjadi merata di seluruh dasar danau, menunjukkan kenaikan yang kecil.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa :

1. Besar debit banjir Sungai Tolour Oki pada kala ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun adalah (Q2)= 9,8 m³/dtk, (Q5) = 15,4 m³/dtk, (Q10) = 19,5 m³/dtk, (Q25) = 25,1 m³/dtk, (Q50) = 29,3 m³/dtk dan (Q100) = 33.7 m³/dtk.
2. Luapan cenderung terjadi kearah bantaran kanan sungai. Penampang sungai pada kondisi dengan pengaruh pasang air danau yaitu pada elevasi +683.02 m untuk kala ulang 5 dan 100 tahun semua penampang sudah tidak mampu menampung debit banjir yang terjadi. Tinggi muka air banjir (luapan) berkisar 0,01–0,96 meter.
3. Profil muka air banjir sungai Tolour Oki yang dihasilkan dari metode tahapan langsung memiliki trend yang sama dengan hasil dari program HEC- RAS.
4. Presentase perbedaan tinggi profil muka air sungai Tolour Oki yang dihasilkan dari metode tahapan standart memiliki selisih yang sangat kecil dengan yang dihasilkan dari program HEC-RAS.
5. Konsentrasi sedimen terlarut pada sungai Tolour Oki adalah 6,30 gr/m³ dengan total sedimen inflow masing-masing pada Qbase=5,91 m³, (Q2)= 625 m³, (Q5) = 1007 m³, (Q10) = 1201 m³, (Q25) = 1329 m³, (Q50) = 1373 m³ dan (Q100) = 1372 m³.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian, profil muka air sungai Tolour Oki perlu untuk ditinjau dan dikaji ulang terhadap pengendalian banjir sungai untuk menanggulangi banjir yang terjadi akibat pengaruh backwater melalui upaya berupa peninggian atau pembuatan tanggul banjir. Diperlukan juga bangunan pengendali sedimen seperti checkdam.

DAFTAR PUSTAKA

2000. *HEC-HMS Technical Reference Manual. Hydrologic Engineering Center, U.S Army Corps of Engineers, USA.*
2010. *HEC-RAS 4.1.0 Reference Manual. Hydrologic Engineering Center, U.S Army Corps of Engineers, USA.*
- Anandhita, T, & Hambali, R. 2018. *Analisis Pengaruh Backwater (Air Balik) Terhadap Banjir Sungai Rangkui Kota Pangkalpinang. Jurnal Fropil Vol 03No 2 Juli-Desember 2015, 131-141, Universitas Bangka Belitung, Pangkalpinang.*
- Data Hujan Harian Pos Hujan Paleloan. Balai Wilayah Sungai Sulawesi 1, Manado.*
- Global Mapper. Data GIS Balai Wilayah Sungai Sulawesi 1, Manado.*
- Hendratta, L & Ohmoto, T., 2013. *Resistance and flow characteristics of high concentration sediment laden flow over dune type bed in an open channel. Acta Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering. Tome VI-Fascicule 4. 49-54.*
- Kamase, Melinda., Liany A. Hendratta, Jeffry S. F. Sumarauw. 2017. *Analisis Debit Dan Tinggi Muka Air Sungai Tondano Di Jembatan Desa Kuwil Kecamatan Kalawat. Jurnal Sipil Statik Vol.5 No.4 Juni 2017 (175-185) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.*
- Soewarno. 1991. *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data.* Nova, Bandung.
- Sukarno, Liany, A Hendratta & Hanny Tangkudung. 2017. *Studi Aliran Banjir Pada Pertemuan Muara Sungai Tondano Dan Sungai Sawangan. Jurnal Sipil Statik Vol.5 No.10 Desember 2017 (711-716) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.*

- Suma, Muayyad F., Liany Hendratta, Fuad Halim. 2018. *Analisis Gerusan Lokal Pada Pilar Jembatan Kuwil Kabupaten Minahasa Utara Menggunakan Metode Empiris*. Jurnal Sipil Statik Vol.6 No.11 November 2018 (1017-1028) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Sumarauw, J.S.F. & Ohgushi, K. 2012. *Analysis on Curve Number, Land Use and Land Changes in the Jobaru River Basin, Japan*. 7. 787-793.
- Sumardi, Mirza A., Liany Hendratta, Fuad Halim. 2018. *Analisis Angkutan Sedimen Di Sungai Air Kolongan Kabupaten Minahasa Utara*. Jurnal Sipil Statik Vol.6 No.12 Desember 2018 (1043-1054) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Triatmodjo., Bambang, 2008. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset, Yogyakarta.