

Manajemen Sungai *Torrential* Sebagai Konsep Pengendalian Banjir Dari Kawasan Hulu DAS Pulisan

Kelvin Haryono Auwyanto^{#1}, Jeffry S. F. Sumarauw^{#2}, Tiny Mananoma^{#3}

[#]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi

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

¹auwyantokelvin22@gmail.com; ²jeffrysumarauw@ymail.com; ³tmananoma@yahoo.com

Abstrak

Sungai Pulisan adalah salah satu sungai yang berada di Likupang, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara. Sungai Pulisan pernah meluap dan menyebabkan kerugian bagi warga yang tinggal di sekitar sungai, serta mengganggu lalu lintas kendaraan. Oleh karena itu, dibutuhkan perhitungan debit banjir dan elevasi tinggi muka air dari Sungai Pulisan.

Analisis dimulai dengan mencari frekuensi hujan menggunakan metode Log Pearson III. Data hujan yang digunakan berasal dari dua pos hujan, yaitu pos hujan MRG Araren-Pinenek dan pos hujan Klimatologi Maen. Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan harian maksimum tahun 2002 s/d 2019. Pemodelan hujan aliran pada program komputer HEC-HMS menggunakan metode HSS Soil Conservation Services, dan untuk kehilangan air dengan SCS Curve Number (CN). Untuk aliran dasar (baseflow) menggunakan metode recession. Dilakukan kalibrasi parameter HSS SCS sebelum melakukan simulasi debit banjir dengan menggunakan uji debit puncak. Parameter yang dikalibrasi adalah lag time, curve number, recession constant, initial discharge dan ratio to peak. Untuk batasan setiap parameter disesuaikan dengan nilai standar pada program komputer HEC-HMS. Hasil uji debit puncak menunjukkan 3,3 m³/detik. Kemudian dilakukan analisis debit banjir dengan parameter terkalibrasi menggunakan program komputer HEC-HMS. Debit puncak hasil simulasi setiap kala ulang dimasukkan dalam program komputer HEC-RAS untuk simulasi elevasi tinggi muka air pada penampang.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa semua penampang di alur 5 sungai Pulisan yang ditinjau tidak mampu menampung debit banjir rencana yang terjadi untuk kala ulang 25 tahun. Maka, dilakukan redimensi pada semua penampang serta dipasang Gully Plug guna mengurangi kecepatan aliran.

Kata kunci – sungai Pulisan, debit banjir, tinggi muka air, HEC-HMS, HEC-RAS, torrential

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kontur topografi di daerah hulu sangat mempengaruhi faktor kemiringan lahan dan dasar sungai di kawasan DAS dan Sub DAS. Kecepatan pengaliran baik di lahan maupun di alur sungai juga dipengaruhi oleh faktor topografi ini. Torrent adalah bagian sungai yang terletak paling hulu. Topografi daerah hulu ini terdiri dari lereng-lereng batuan dasar atau bedrock yang belum lapuk (Mulyanto, 2007). Akibat dari terjalnya elevasi di sungai-sungai Torrential maka laju aliran juga akan semakin cepat sehingga dalam intensitas aliran yang tinggi sangat berpotensi menyebabkan banjir di daerah hilir.

Pengembangan kawasan KEK Likupang sebagai salah satu dari destinasi superprioritas masih terus digencarkan. Luasnya sekitar 200 hektar, yang memiliki kawasan pesisir dengan pantai berpasir putih. Desa Pulisan merupakan salah satu kawasan potensial yang sedang dikembangkan sebagai destinasi wisata. Dalam rangka menunjang upaya pemerintah dalam pembangunan sektor ekonomi dan pariwisata di daerah tersebut, maka kajian dari aspek Engineering perlu dilakukan. Kajian teknis terkait potensi kejadian banjir serta pengendaliannya akan memberikan kontribusi positif terhadap kebijakan dan pengambilan keputusan bagi para *stakeholder*.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan informasi masyarakat bahwa pada tahun 2019 pernah terjadi genangan banjir di Desa Pulisan. Untuk mengantisipasi potensi terulangnya kejadian banjir ini, maka perlu dilakukan suatu kajian sebagai dasar untuk menentukan bentuk pengendalian yang tepat.

C. Batasan Penelitian

Dalam penyusunan skripsi ini, penelitian dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Titik tinjau pada penelitian ini berada di alur sungai Pulisan
2. Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan harian maksimum.
3. Kala ulang rencana dibatasi pada 5, 10, 25 dan 50 tahun.
4. Alur sungai yang akan ditinjau yaitu pada alur 5 sungai Pulisan

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah menemukan konsep pengendalian banjir dari kawasan SUB DAS dengan konsep manajemen sungai *Torrential*.

E. Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan memperoleh informasi terkait karakteristik dan potensi banjir rencana di Torrent serta cara pengendaliannya.

Sehingga diperoleh luas DAS Pulisan dari titik tinjau sebesar 0,2512 km².

B. Analisis Curah Hujan

Analisis curah hujan di DAS Pulisan dilakukan dengan menggunakan data curah hujan harian maksimum yang bersumber dari BWSS I dengan periode pencatatan tahun 2002 sampai dengan tahun 2019. Pos hujan yang digunakan yaitu pos hujan MRG Araren-Pinenek dan pos hujan Klimatologi Maen. Berikut merupakan data hujan harian maksimum dari tahun 2002 sampai 2019.

C. Uji Data Outlier

Data *outlier* adalah data yang menyimpang terlalu tinggi ataupun terlalu rendah dari sekumpulan data. Uji *outlier* dilakukan untuk mengoreksi data sehingga baik untuk digunakan pada analisis selanjutnya.

Setelah dilakukan uji *outlier*, didapatkan curah hujan maksimum yang ditunjukkan pada Tabel 1.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Daerah Aliran Sungai

Analisis daerah aliran sungai (DAS) dilakukan untuk mengetahui luas DAS Pulisan. Perhitungan luas DAS dilakukan dengan bantuan program komputer Google Earth Pro dengan menggunakan data yang bersumber dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi I.

D. Analisis Curah Hujan Rerata

Analisis curah hujan rerata dilakukan untuk mendapat rata-rata dari hasil pengukuran hujan di dua pos hujan yang ada. Dengan mengetahui luas pengaruh dari tiap pos hujan yang ada, maka curah hujan rerata dari setiap pos hujan dapat dihitung dengan cara Poligon Thiessen.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian



Gambar 2. Alur 5 Sungai Pulisan
Sumber: "Balai Wilayah Sungai Sulawesi I"

TABEL 1
Curah Hujan Harian Maksimum

Tahun	MRG Araren -Pinenek (mm)	Klimatologi Maen (mm)
2002	188.20	
2003	137.20	
2004	102.30	
2005	97.60	
2006	95.80	
2007	96.90	
2008	71.90	
2009	78.10	65.00
2010	83.00	68.00
2011	75.80	108.00
2012	121.20	83.00
2013	117.30	138.00
2014	76.50	126.50
2015	151.50	80.00
2016	68.10	65.50
2017	265.50	112.00
2018	80.10	76.00
2019		41.00

Sumber: "Balai Wilayah Sungai Sulawesi I"

TABEL 2
Curah Hujan Harian Maksimum Setelah Uji Outlier

Tahun	Araren-Pinenek (mm)	Klimatologi Maen (mm)
2002	188,20	
2003	137,20	
2004	102,30	
2005	97,60	
2006	95,80	
2007	96,90	
2008	71,90	
2009	78,10	
2010	83,00	68,00
2011	75,80	108,00
2012	121,20	83,00
2013	117,30	138,00
2014	76,50	126,50
2015	151,50	80,00
2016	68,10	65,50
2017	245,87	112,00
2018	80,10	76,00
2019		41,00

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 3. Poligon Thiessen
Sumber: “Balai Wilayah Sungai Sulawesi I”

TABEL 3
Curah Hujan Rerata

Tahun	Araren-Pinenek (mm)	Klimatologi Maen (mm)	Luas A1 (km ²)	Luas A2 (km ²)	\bar{R} (mm)
2002	188,20	188,20	0	3,2546	188,20
2003	137,20	137,20			137,20
2004	102,30	102,30			102,30
2005	97,60	97,60			97,60
2006	95,80	95,80			95,80
2007	96,90	96,90			96,90
2008	71,90	71,90			71,90
2009	78,10	65,00			65,00
2010	83,00	68,00			68,00
2011	75,80	108,00			108,00
2012	121,20	83,00			83,00
2013	117,30	138,00			138,00
2014	76,50	126,50			126,50
2015	151,50	80,00			80,00
2016	68,10	65,50			65,50
2017	245,87	112,00			112,00
2018	80,10	76,00			76,00
2019	41,00	41,00			41,00

Sumber: Hasil Analisis

E. 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).

F. Analisis Curah Hujan Rencana

Analisis curah hujan rencana dihitung menggunakan tipe sebaran Log Pearson tipe III. Perhitungan dilakukan dengan menghitung parameter statistik terlebih dahulu.

Rata – rata hitung:

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log X_i = \frac{1}{18} \times 35,34 = 1,96$$

Simpangan Baku:

$$S_{\log X} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,40}{18-1}} = 0,15$$

Koefisien *Skewness* (Kemencengan) :

$$C_{S_{\log X}} = \frac{n}{(n-1)(n-2) \cdot (S_{\log X})^3} \sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^3 = \frac{18}{(18-1)(18-2) \cdot 0,15^3} \times (-0,01) = -0,17 \text{ (Kemencengan Negatif)}$$

G. Pola Distribusi Hujan Jam-jaman

Distribusi hujan jam – jaman merupakan pembagian intensitas hujan berdasarkan pola hujan suatu daerah. Dalam penelitian ini digunakan pola hujan Kota Manado dan sekitarnya.

H. Perhitungan Nilai SCS Curve Number

Nilai CN rata-rata untuk DAS Pulisan adalah 77.

I. 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*.

J. 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 dilapangan.

Dikarenakan Sungai Marisa tidak memiliki data debit terukur, maka perlu dilakukan perhitungan dengan metode analisis regional sehingga data debit Sungai Pulisan dapat diketahui.

Data hujan dan data debit dimasukkan ke komponen Time-Series Data. Data hujan dan data debit yang digunakan adalah data tahun 2019. Data debit yang digunakan adalah data debit perbandingan Sungai Likupang dengan menggunakan metode analisis regional.

K. Simulasi Debit Banjir dengan Program Komputer HEC-HMS

Semua parameter terkalibrasi digunakan sebagai parameter pada komponen sub-DAS untuk perhitungan debit banjir. Dengan data hujan rencana jam-jaman yang telah dihitung maka diperoleh hasil simulasi program komputer HEC-HMS ditampilkan pada Gambar 6 sd. Gambar 8.

TABEL 4
Penentuan Jenis Sebaran Data

Tipe Sebaran	Syarat Parameter Statistik	Parameter Statistik Data Pengamatan	Keterangan
Normal	Cs = 0	0,96	Tidak Memenuhi
	Ck = 3	4,84	Tidak Memenuhi
Log Normal	Cs = Cv ³ + 3 . Cv = 0.75541	0,96	Tidak Memenuhi
	Ck = Cv ⁸ + 6Cv ⁶ + 15Cv ⁴ + 16Cv ² + 3 = 4.03524	4,84	Tidak Memenuhi
Gumbel	Cs = 1,14	0,96	Tidak Memenuhi
	Ck = 5,40	4,84	Tidak Memenuhi
Log Pearson III	Bila tidak ada parameter statistik yang sesuai dengan ketentuan distribusi sebelumnya	-	Memenuhi

TABEL 5
Hujan Rencana Tiap Kala Ulang

Kala Ulang (TR)	Log X_{TR}	X_{TR}
5 Tahun	2,08	120,34 mm
25 Tahun	2,28	188,65 mm
50 Tahun	2,35	224,47 mm

Sumber: Hasil Analisis

TABEL 6
Distribusi Hujan Rencana untuk Setiap Kala Ulang

Jam Ke-	P (mm)		
	Kala Ulang (Tahun)		
	5	25	50
1	64,98	101,87	121,21
2	26,47	41,50	49,38
3	9,63	15,09	17,96
4	7,22	11,32	13,47
5	3,61	5,66	6,73
6	1,20	1,89	2,24
7	3,61	5,66	6,73
8	3,61	5,66	6,73

Sumber: Hasil Analisis

TABEL 7
Perhitungan nilai CN DAS Pulisan

Jenis Tutup Lahan	Luas (Km ²)	Persentase (%)	CN Tiap Lahan	CN
Hutan (Penutupan Baik)	0,2512	100,00	77	77,00
Total	0,2512	100	-	77,00

Sumber: Hasil Analisis

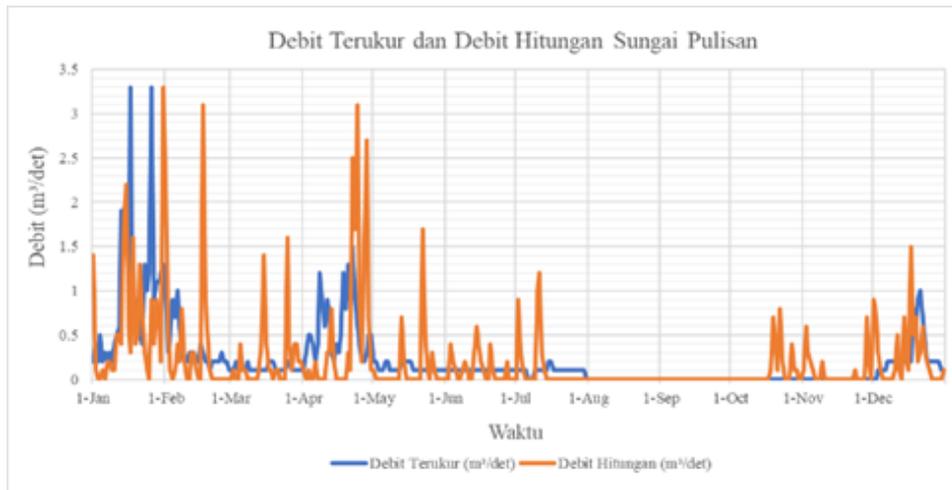
Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)	Obs Flow (M3/S)
01Jan2019	00:00				0.0	1.4	1.4	0.2
02Jan2019	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.4
03Jan2019	00:00	3.00	3.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.2
04Jan2019	00:00	26.00	25.99	0.01	0.0	0.0	0.0	0.5
05Jan2019	00:00	14.00	12.47	1.53	0.1	0.0	0.1	0.2
06Jan2019	00:00	2.00	1.60	0.40	0.0	0.0	0.0	0.3
07Jan2019	00:00	14.00	10.13	3.87	0.2	0.0	0.2	0.2
08Jan2019	00:00	8.00	5.07	2.93	0.2	0.0	0.2	0.3
09Jan2019	00:00	6.50	3.80	2.70	0.1	0.0	0.1	0.2
10Jan2019	00:00	3.50	1.94	1.56	0.1	0.0	0.1	0.4
11Jan2019	00:00	23.00	11.12	11.88	0.5	0.0	0.5	0.5
12Jan2019	00:00	16.50	6.59	9.91	0.5	0.0	0.5	0.6
13Jan2019	00:00	8.50	3.03	5.47	0.4	0.0	0.4	1.9
14Jan2019	00:00	55.00	15.33	39.67	1.7	0.0	1.7	1.8
15Jan2019	00:00	54.50	10.37	44.13	2.2	0.0	2.2	2.1
16Jan2019	00:00	0.00	0.00	0.00	0.6	0.0	0.6	1.1
17Jan2019	00:00	5.00	0.79	4.21	0.3	0.0	0.3	3.3
18Jan2019	00:00	45.00	6.21	38.79	1.6	0.0	1.6	0.7
19Jan2019	00:00	0.00	0.00	0.00	0.4	0.0	0.4	0.6
20Jan2019	00:00	13.00	1.54	11.46	0.5	0.0	0.5	0.9
21Jan2019	00:00	32.50	3.45	29.05	1.3	0.0	1.3	0.5
22Jan2019	00:00	14.00	1.33	12.67	0.8	0.0	0.8	0.4

Gambar 4. Debit Hitungan Sungai Pulisan

TABEL 8
Parameter Hasil Kalibrasi DAS Pulisan

<i>Initial Discharge</i>	1,2 m ³ /det
<i>Ratio to peak</i>	0,2
<i>Recession Constant</i>	0,195
<i>CN</i>	84
<i>Lag time</i>	75,4169 menit

Sumber: Hasil Analisis



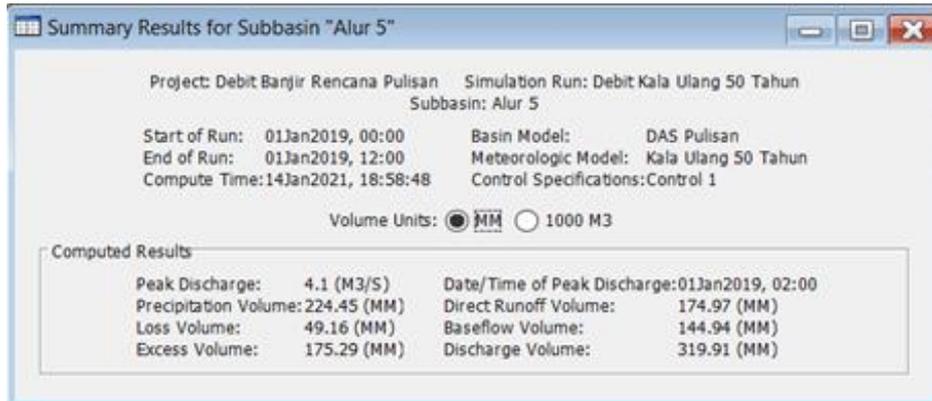
Gambar 5. Grafik Perbandingan Debit Terukur dan Debit Hitungan



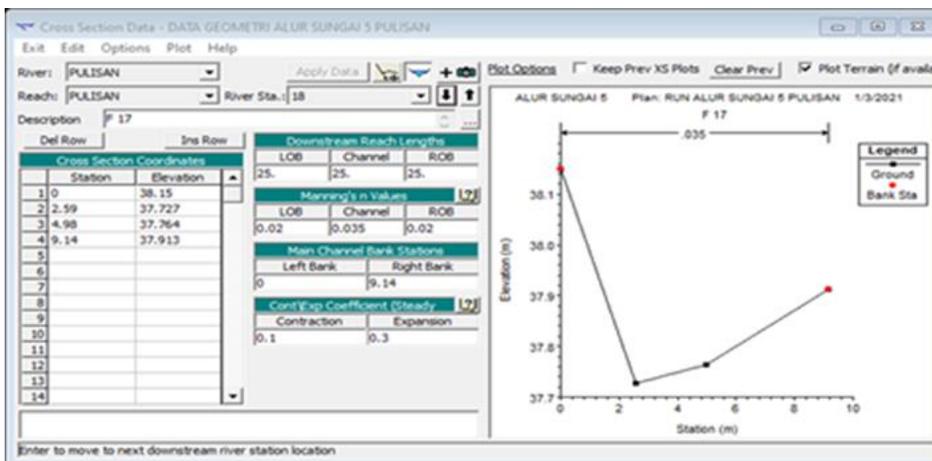
Gambar 6. Summary Result Kala Ulang 5 Tahun



Gambar 7. Summary Result Kala Ulang 25 Tahun



Gambar 8. Summary Result Kala Ulang 50 Tahun



Gambar 9. Data Penampang Sungai

L. Analisis Tinggi Muka Air

Analisis tinggi muka air menggunakan program komputer HEC-RAS membutuhkan data masukan yaitu penampang sungai, karakteristik saluran untuk nilai koefisien *n Manning*, dan data debit banjir untuk perhitungan aliran langgeng.

M. Simulasi Tinggi Muka Air Penampang Eksisting dengan Program Komputer HEC-RAS

Hasil simulasi menunjukkan bahwa semua penampang alur 5 Sungai Pulisan sudah tidak mampu menampung debit banjir untuk kala ulang 25 tahun.

N. Simulasi Tinggi Muka Air Penampang Rencana dengan Program Komputer HEC-RAS

Hasil simulasi menunjukkan bahwa semua penampang alur 5 Sungai Pulisan mampu menampung debit banjir untuk kala ulang 25 tahun.

O. Analisis Penampang Rencana + Gully Plug Dengan Program Komputer HEC-RAS

Hasil analisis penampang rencana dengan HEC-RAS ditunjukkan pada Gambar 14.

P. Simulasi Tinggi Muka Air Penampang Rencana + Gully Plug Dengan Program Komputer HEC-RAS

Hasil simulasi menunjukkan bahwa kapasitas semua penampang mampu menampung debit banjir rencana, serta terjadi reduksi kecepatan aliran (Gambar 15 dan Gambar 16).

IV. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Debit banjir yang di peroleh dari hasil simulasi untuk masing-masing kala ulang adalah sebagai berikut:

- Kala ulang 5 tahun adalah 2,3 m³/det.
- Kala ulang 25 tahun adalah 3,5 m³/det.
- Kala ulang 50 tahun adalah 4,1 m³/det.

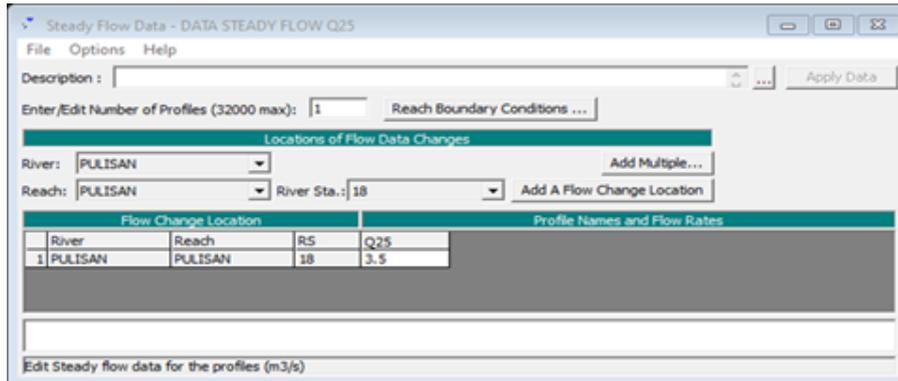
Dari hasil debit banjir di atas, untuk alur 5 sungai Pulisan hanya digunakan debit banjir untuk kala ulang 25 tahun. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada semua penampang alur 5 sungai Pulisan yang ditinjau

tidak mampu menampung debit banjir yang terjadi untuk kala ulang 25 tahun. Untuk pengendalian Banjir maka dilakukan redimensi pada semua penampang di alur 5 sungai Pulisan sehingga mampu menampung besaran debit banjir rencana kala ulang 25 tahun. Untuk pengendalian Banjir maka dilakukan redimensi pada semua penampang di alur 5 sungai Pulisan sehingga mampu menampung besaran debit banjir rencana kala ulang 25 tahun. Dimensi penampang rencana adalah lebar bawah 1,5m lebar atas 3,5m, kedalaman rerata

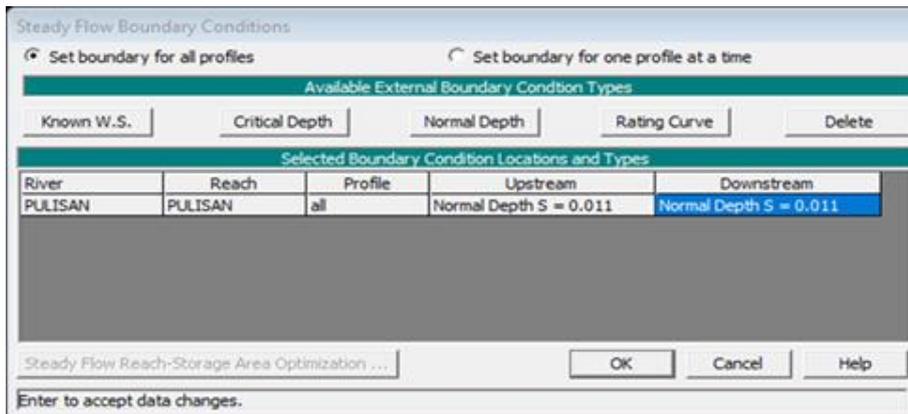
1,5m, serta tinggi jagaan 0,6m. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa pemasangan konstruksi *Gully Plug* di alur sungai dapat mereduksi kecepatan aliran secara signifikan.

B. Saran

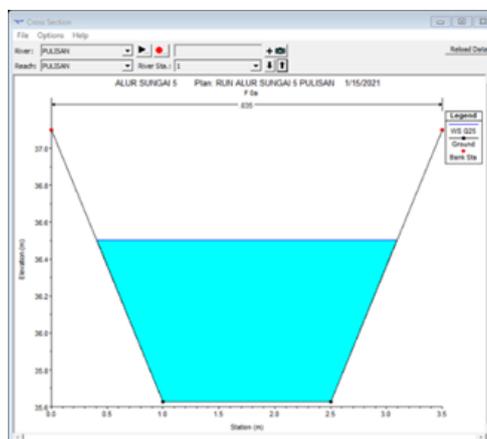
Untuk mengetahui efektifitas *Gully Plug* di Torrent maka perlu dilakukan kajian lebih lanjut menggunakan peta sub DAS yang lebih detail.



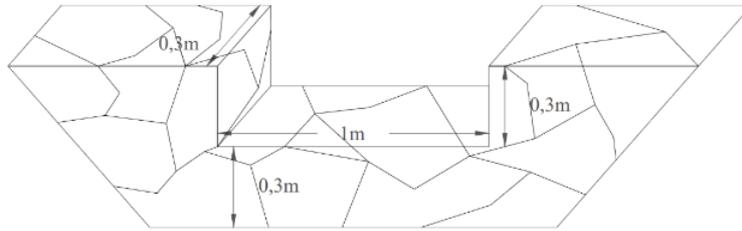
Gambar 10. Pengisian Data Debit



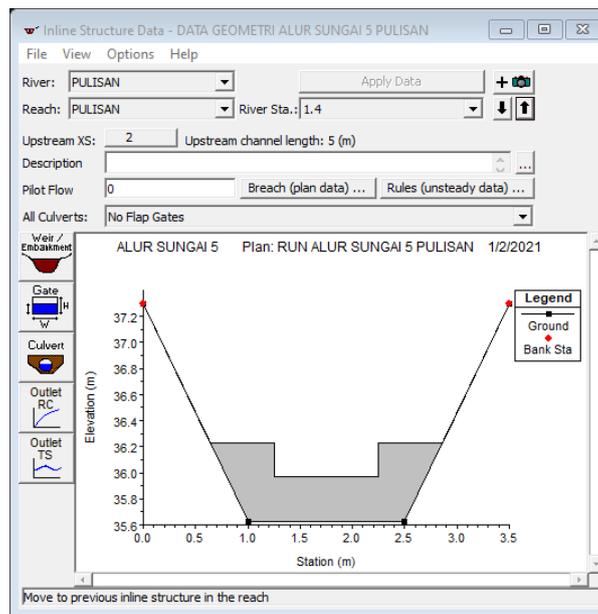
Gambar 11. Pengisian Reach Boundary Conditions



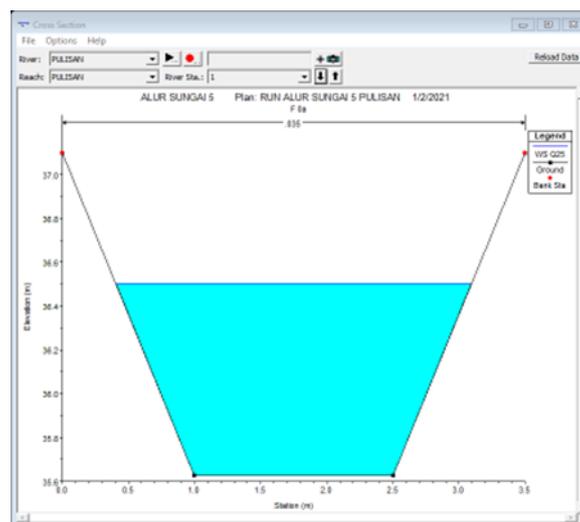
Gambar 12. Tinggi Muka Air Penampang Rencana STA + 000 m



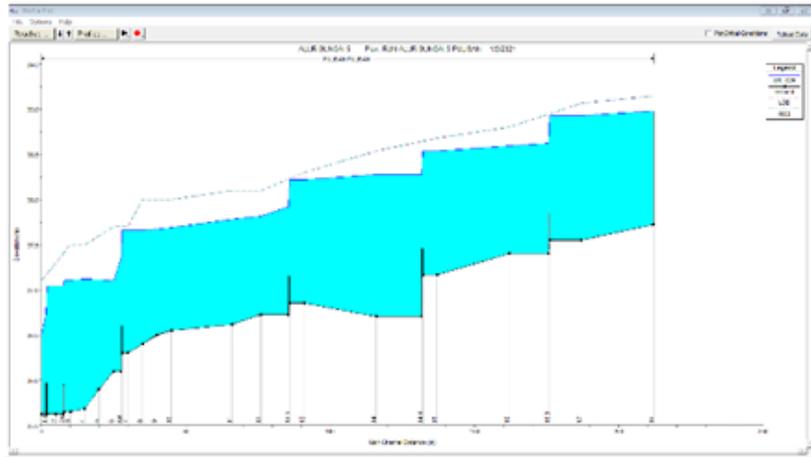
Gambar 13. Tipikal Dimensi Gully



Gambar 14. Gully Plug STA 0 + 002 m



Gambar 15. Tinggi Muka Air Penampang Rencana + Gully Plug STA 0 + 000 m



Gambar 16. Potongan Memanjang Tinggi Muka Air Penampang Rencana + Gully

TABEL 9
Hasil Simulasi Penampang Rencana + Gully Plug dengan debit banjir rencana Q₂₅

River Sta.	ID Sta.	Min	LOB	W.S.	ROB	Vel Chnl		L	R	Keterangan
		ChEl	Elev	Elev	Elev	Rencana	Gully Plug	Freeboard	Freeboard	
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m)	(m)	
0	0+192	37,73	39,15	38,98	39,15	2,34	1,17	0,17	0,17	AMAN
1	0+167	37,55	39,07	38,93	39,07	2,90	1,05	0,14	0,14	AMAN
2	0+142	37,40	38,80	38,59	38,80	2,59	1,25	0,21	0,21	AMAN
3	0+121	37,16	38,68	38,54	38,68	3,11	1,06	0,14	0,14	AMAN
4	0+096	36,70	38,54	38,28	38,54	1,48	0,94	0,26	0,26	AMAN
5	0+081	36,85	38,30	38,22	38,30	2,32	1,05	0,08	0,08	AMAN
6	0+071	36,73	38,10	37,82	38,10	2,03	1,40	0,28	0,28	AMAN
7	0+050	36,62	38,10	37,78	38,10	1,86	1,32	0,32	0,32	AMAN
8	0+045	36,55	38,00	37,69	38,00	1,77	1,34	0,31	0,31	AMAN
9	0+040	36,50	38,00	37,67	38,00	1,78	1,31	0,33	0,33	AMAN
10	0+035	36,40	38,00	37,66	38,00	1,64	1,21	0,34	0,34	AMAN
11	0+030	36,30	37,70	37,66	37,70	1,90	1,04	0,04	0,04	AMAN
12	0+025	36,10	37,70	37,10	37,70	1,61	1,64	0,60	0,60	AMAN
13	0+020	35,90	37,60	37,11	37,60	1,38	1,31	0,49	0,49	AMAN
14	0+015	35,69	37,50	37,12	37,50	1,22	1,07	0,38	0,38	AMAN
15	0+010	35,65	37,50	37,11	37,50	1,30	1,05	0,39	0,39	AMAN
16	0+005	35,63	37,30	37,05	37,30	1,40	1,05	0,25	0,25	AMAN
17	0+000	35,63	37,10	36,50	37,10	1,91	1,91	0,60	0,60	AMAN

Sumber: Hasil Analisis

KUTIPAN

- [1] Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W., 1988. Applied Hydrology. Singapore: McGraw-Hill.
- [2] Isa, Mohamad., Jeffry S. F. Sumarauw, Liany A. Hendratta. 2020. Analisis Debit Banjir dan Tinggi Muka Air Sungai Marisa Kecamatan Limboto Barat Kabupaten Gorontalo. Jurnal Sipil Statik Vol. 8 No. 4 Juli 2020 (591-600) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- [3] Kairupan, Reynaldo C., Tiny Mananoma, Jeffry S.F. Sumarauw. 2017. Pola Distribusi Hujan Jam – Jaman Wilayah Bolaang Mongondow. Jurnal Sipil Tekno Vol.15 No.68 Desember 2017, ISSN: 0215-9617, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- [4] Lengkey, Anggielina Priska., Tiny Mananoma, Jeffry S. F. Sumarauw. 2019. Analisis Debit Banjir dan Tinggi Muka Air Sungai Molinow di Desa Radey Kabupaten Minahasa Selatan. Jurnal Sipil Statik Vol.7 No.8 Agustus 2019 (965-974) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- [5] Makahinsade, Imanuel., 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 Mei 2020 (337-344) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- [6] 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.
- [7] Mananoma, Tiny, Sudjarwadi, Djoko Legono, Adam Pamudji Rahardjo, 2006. Manajemen Sungai Torrential Guna Pengendalian Daya Rusak Air, disajikan pada Konferensi nasional peran teknik sipil dalam pemberdayaan DAS yang berkelanjutan, Jurusan Teknik Sipil FT UNS, 25 Pebruari, Surakarta.
- [8] 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.
- [9] Rahayu, Tanty, Suyanto, Solichin. 2017. Evaluasi Fungsi Bangunan Pengendali Sedimen (Check Dam) Pengkol Berdasarkan Perubahan Lahan Kali Keduang Kabupaten Wonogiri. Jurnal Matriks teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- [10] Ramdan, Hikmat. 2004. Prinsip Dasar Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Universitas Winaya Mukti, Sumedang.
- [11] Rapar, Sharon M. E., Tiny Mananoma, E. M. Wuisan, Alex Binilang. 2014. Analisis Debit Banjir Sungai Tondano Menggunakan Metode HSS Gama I Dan HSS Limantara. Jurnal Sipil Statik Vol.2 No.1 Januari 2014 (13-21) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- [12] Soewarno. 1991. Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri). Nova, Bandung.
- [13] Sosrodarsono, Suyono., Kensaku Takeda. 2003. Hidrologi Untuk Pengairan (Cetakan Kesembilan). Pradnya Paramita, Jakarta.
- [14] Sri Harto. 1993. Analisis Hidrologi. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- [15] Sumarauw, Jeffry. 2013. Hujan. Bahan Ajar Mahasiswa, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- [16] Sumarauw, Jeffry. 2017. Analisis Frekwensi Hujan. Bahan Ajar Mahasiswa, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- [17] Sumarauw, Jeffry. 2017. Hidrograf Satuan Sintetis. Bahan Ajar Mahasiswa, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- [18] Sumarauw, Jeffry. 2018. HEC-HMS. Bahan Ajar Mahasiswa, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- [19] 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.
- [20] Tanudjaja, Lambertus. 1991. Analisis Aliran Di Saluran Terbuka Dengan Metode Elemen Hingga. Tesis S2 Teknik Sumberdaya Air, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [21] Triatmodjo, Bambang. 2008. Hidrologi Terapan. Betta Offset, Yogyakarta.
- [22] Tumber, Ruth Rebeca., Alex Binilang, Hanny Tangkudung. 2018. Analisis Tinggi Muka Air dan Debit Banjir Sungai Nimanga di Desa Lelema Kabupaten Minahasa Selatan. Jurnal Tekno, vol. 16, no 69, 2018, ISSN : 0215-9617, Universitas Sam Ratulangi, Manado.