

# KAJIAN HIDROLIK ALIRAN SUNGAI PADA DUA (2) BELOKAN MENGUNAKAN PROGRAM HEC-RAS VERSI 4.1

**Ahmad Zainuri Arifin**

Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

Email : [Zainurijaihoo@gmail.com](mailto:Zainurijaihoo@gmail.com)

## **Abstrack**

*The Sampean River Basin (DAS) is a regional watershed with an area of 1,277,388 km<sup>2</sup> covering Bondowoso and Situbondo Regencies. The upstream area is located in Argopuro Mountain complex and Mount Raung complex, Bondowoso District. The estuary is in District Panarukan, Situbondo regency. The upstream of Sampean River is about 800 mdpl, while its estuary is 3 mdpl. With a long river of 70 km, the high difference makes the river gradient quite tilted. Under normal conditions the stream is classified as swift. The problems that have not been handled properly are flooding problems, because there are no flood control structures, such as reservoirs and flood control infrastructures such as flood way and short cut.*

*In general, rivers have morphological characteristics that turn (meandering). Of the recent cases of floods, floods and puddles often occur in river beds, accompanied by a scouring process on the outer side of the bend. Flooding floods occur in large discharges where the cross-sectional capacity is exceeded, affecting residents of the surrounding Watershed (DAS). The turns (bend) in the river is a very specific phenomenon to be studied, let alone two river flows (2) curves, because the river two turns (bend) river scrolling and sedimentation often occur. In severe situations, avalanches with large volumes on river banks may result in damage to existing infrastructure. The main effects of this flow phenomenon are the occurrence of attacks on the channel cliff on the outer side of the bend, as well as the deposition or sedimentation at the bottom of the channel near the inner side of the turn. To examine the hydraulic results in the two-way river flow and determine the elevation of the water level or the water level in the river flow it is necessary to analyze to find out which section occurs overflow in the river channel, so that it can be determined dimension for the improvement of the river. As a tool for analyzing the water profile, HEC-RAS version 4.1 is used for steady flow conditions (without building effect) and unsteady (with building effect).*

*Keywords: Two Turns, Flood, HEC-RAS, Normlization*

## **1. PENDAHULUAN**

### **Latar Belakang**

Pada umumnya sungai – sungai memiliki karakteristik morfologi yang berbelok – belok ( *meandering* ). Dari beberapa kasus banjir yang terjadi belakangan ini, luapan dan genangan justru sering terjadi di belokan sungai, yang di sertai dengan proses penggerusan pada sisi luar belokan. Luapan banjir terjadi pada debit – debit besar dimana kapasitas penampang sungai terlampaui, sehingga berdampak terhadap

warga pemukim di sekitar Daerah Aliran Sungai ( DAS ) yang bersangkutan. Pada sisi yang lain, pengaruh pasang – surut terhadap banjir di hilir cukup signifikan. Pengaruhnya adalah dimungkinkan terjadinya fenomena aliran balik ( *back water* ) atau fenomena pembendungan baik pada debit tinggi. Dengan demikian elevasi muka air banjir akan meningkat dan pada akhirnya dapat menimbulkan pendangkalan bahkan penutupan air pada hilir ( muara ). Belokan- belokan

sungai akan terevolusi secara terus menerus, sehingga tidak jarang di jumpai posisi-posisi belokan yang tersusun seri dalam rangka mencapai keseimbangan. Belokan- belokan sungai secara seri pada suatu kurvatur sungai disebut meander, dinyatakan dengan indeks mender, yakni perbandingan antara panjang total alinemen sungai dan panjang total kurvatur sungai. Semakin tinggi angka indeks meander sungai maka sudut belokan dalam akan semakin kecil dan sebaliknya. Pada prinsipnya sungai meander di golongkan sebagai suatu sungai yang membentuk fungsi sinus (*Jansen, 1979 dalam Mudjiatko*).

Belokan ( tikungan ) pada sungai merupakan fenomena yang sangat spesifik untuk di kaji apalagi aliran sungai dua ( 2 ) belokan, karena pada sungai dua belokan ( tikungan ) sungai sering terjadi gerusan dan pengendapan. Pada keadaan yang parah dapat terjadi longsor dengan volume yang besar pada tebing sungai yang dapat mengakibatkan kerusakan pada infrastruktur yang ada. Dampak utama akibat terjadinya fenomena aliran ini adalah terjadinya serangan pada tebing saluran pada sisi luar belokan, serta pengendapan atau sedimentasi pada dasar saluran di dekat sisi dalam belokan. Kondisi belokan sungai merupakan salah satu faktor penyebab terjadinya banjir. Pengaruh lainnya adalah terjadinya pengikisan pada bagian luar belokan dan pengendapan pada bagian dalam belokan, sehingga pada bagian ini bentuk tampang selalu berubah – ubah. Secara umum karakteristik aliran di sekitar belokan, ditandai dengan tidak liniernya pola arus tetapi membentuk pusaran-pusaran (eddies). Akibat yang di timbulkan oleh arus dan gaya tersebut adalah terjadi perbedaan elevasi muka air pada sisi luar belokan dan sisi dalam belokan (*Mudjiatko, 2000*).

Untuk mengkaji hasil hidrolis pada aliran sungai dua belokan dan menentukan elevasi muka air atau tinggi air pada alur sungai perlu dianalisis untuk mengetahui pada bagian

(*section*) manakah terjadi luapan pada alur sungai, sehingga dapat ditentukan dimensi untuk perbaikan sungai. Sebagai alat bantu untuk menganalisa profil muka air digunakan program *HEC-RAS* versi 4.1 untuk kondisi aliran steady,(tanpa pengaruh bangunan) dan unsteady (dengan pengaruh bangunan). Paket model *HEC-RAS* Versi 4.1 adalah salah satu model yang dikeluarkan oleh *U.S. Army Corps of Engineer River Analysis System (HEC-RAS)* yang disusun oleh *Hydrologic Engineering Center*. Software ini memiliki kemampuan penggunaan: perhitungan jenis aliran *Steady flow dan unsteady flow* satu dimensi, dan sediment transport yang akan ditambahkan pada versi berikutnya (new version). Mengingat pentingnya permasalahan di atas, maka penulis mengambil judul : **Kajian Hidrolik Aliran Sungai Pada Dua ( 2 ) Belokan Menggunakan Program Aplikasi HEC-RAS Versi 4.1**. Maka penggunaan program bantu tersebut akan menampilkan profil muka air dan juga mengetahui tinggi air (elevasi muka air) pada sungai sampean.

#### **Rumusan Masalah**

Beberapa permasalahan yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut :

1. Berapakah debit banjir puncak yang terjadi di dua belokan Sungai Sampean?
2. Bagaimana kondisi kapasitas penampang dua belokan Sungai Sampean?
3. Penanggulangan apa yang harus dilakukan untuk menanggulangi titik genangan di sepanjang dua belokan Sungai Sampean?

#### **Batasan Masalah**

Dalam penelitian ini, hal hal yang akan dibahas hanya mengenai :

1. Meninjau aliran sungai sampean sepanjang dua belokan Sungai,
2. Kajian hidrolis saja pada aliran sungai dua belokan, ditinjau dengan menggunakan program aplikasi *HEC-RAS* Versi 4.1,

3. Tidak memperhitungkan sedimentasi atau pendangkalan sungai, serta tidak melakukan penyelidikan tanah,
4. Tidak menghitung perencanaan tanggul

### Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Menganalisa debit banjir puncak yang terjadi di dua belokan Sungai Sampean.
2. Mengevaluasi kapasitas penampang dan menentukan elevasi muka air (tinggi air) pada dua belokan sungai sampean dengan program aplikasi *HEC-RAS* Versi 4.1.
3. Mencari solusi jenis bangunan yang diperlukan pada titik-titik tertentu akibat kelimpasan sungai tersebut, serta menentukan alternatif penanggulangan pada titik – titik yang mengalami limpasan yang terjadi di dua belokan Sungai Sampean.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### Landasan Teori

Hidrologi membahas tentang air yang ada di Bumi, yang meliputi kejadian, sirkulasi dan penyebaran, sifat fisis dan kimiawi serta reaksinya terhadap lingkungan, termasuk hubungannya dengan kehidupan. Hidrologi teknik merupakan bagian dari bidang yang berhubungan dengan perencanaan, perancangan, dan pelaksanaan proyek teknik bagi pengaturan dan pemanfaatan air.

#### **HEC-RAS**

*HEC – RAS* merupakan sebuah program aplikasi untuk memodelkan aliran sungai, *River Analysis System (RAS)*, yang dibuat oleh *Hydrologic Engineering Center (HEC)* yang merupakan satu divisi di dalam *Institute For Water Resource (IWR)*, dibawah *US Army Corps of Engineers (USACE)*. *HEC – RAS* mampu menampilkan perhitungan penampang muka air satu dimensi untuk aliran dalam saluran alami atau buatan. *HEC – RAS* juga mampu memperhitungkan penampang muka air aliran subkritis dan superkritis. Sistem ini mengandung 3 komponen analisis hidrolis satu dimensi, yaitu perhitungan penampang muka air aliran tetap (*steady flow*), aliran tidak tetap

(*unsteady flow*), dan perhitungan transportasi sedimen.

#### **Analisa Hidrologi**

Dalam analisis hidrologi, data curah hujan dan data topografi diolah untuk mengetahui intensitas curah hujan dan debit banjir rencana sebagai dasar acuan untuk analisis hidrolika.

##### 1. Curah Hujan Daerah

Untuk menghitung curah hujan rata-rata daerah maksimum dalam penelitian ini menggunakan *metode polygon thiessen*. Alasan menggunakan metode ini adalah metode ini sangat cocok untuk DAS dengan luas lebih dari 500 Km<sup>2</sup>.

##### 2. Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi bertujuan untuk mengetahui distribusi apa yang dipakai untuk analisis hidrologi. Dalam analisis ini, nilai-nilai parameter statistic seperti : standart deviasi ( $S_d$ ), Koefisien kemiringan ( $C_s$ ), dan Koefisien kurtosis ( $C_k$ ) dibandingkan dengan persyaratan penggunaan distribusi. Setelah diketahui distribusi yang digunakan untuk analisa hidrologi, maka dilakukan uji kecocokan dengan 2 uji, yaitu: uji *smirnov kolmogorov* dan uji *chi kuadrat*. Setelah kedua uji tersebut cocok maka distribusi yang terpilih akan digunakan sebagai acuan untuk dilakukan perhitungan curah hujan kala ulang.

##### 3. Perhitungan Debit Banjir Rencana

Untuk menentukan debit banjir rencana yang akan dimasukkan kedalam program *HEC-RAS*, digunakan metode HSS Nakayasu. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu ini digunakan untuk mengetahui debit banjir puncak yang terjadi pada jam keberapa dengan menggunakan periode ulang tertentu.

#### **Analisa Hidrolika**

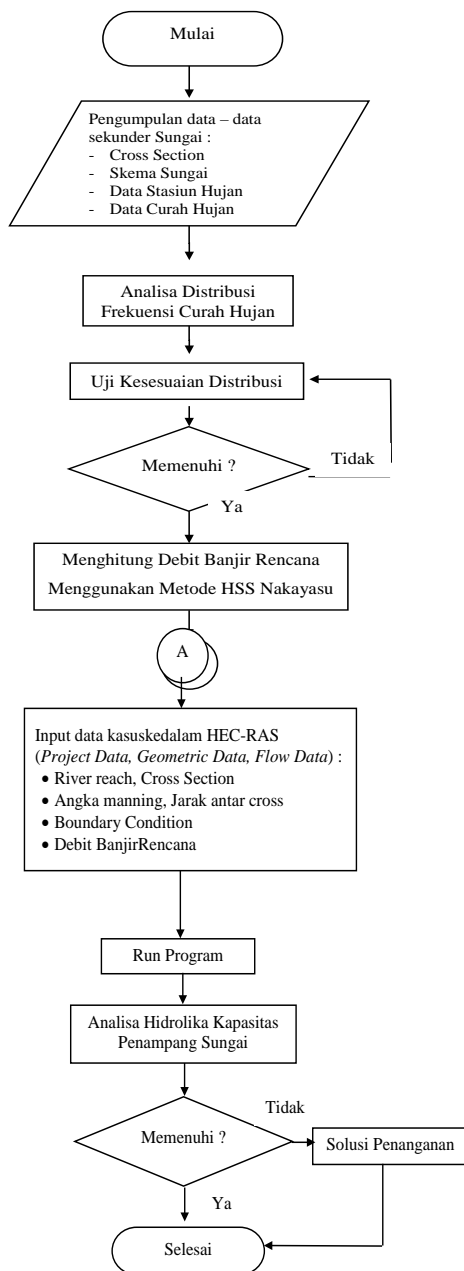
Analisa hidrolika merupakan lanjutan dari analisa hidrologi. Hasil perhitungan debit banjir rencana digunakan sebagai input dalam menentukan dimensi sungai. Dalam analisa hidrolika dilakukan evaluasi sungai *eksisting* terhadap debit rencana yang sudah dihitung dalam analisa hidrologi.

*HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System)*

Analisis kapasitas penampang Sungai Sampean di modelkan dengan menggunakan program *HEC-RAS*. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui kondisi *eksisting* dari dua belokan Sungai Sampean dan dapat mengetahui profil dari muka air. Kelebihan dari program ini adalah penggunaannya praktis karena tidak memerlukan data hidrolika 3D dan tingkat akurasi dengan kesesuaian di lapangan cukup baik.

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### Kerangka Penelitian



#### Pengumpulan Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder terdiri atas :

1. Data curah hujan selama 10 tahun yaitu dari tahun 2007 sampai tahun 2016 dari UPT. PSDA Kabupaten Bondowoso.
2. Peta Topografi Kota Bondowoso.
3. Data hasil pengukuran *Long Cross Sections* Sungai Sampean yang di dapat dari UPT. PSDA Kabupaten Bondowoso.
4. Angka *Manning* yang disesuaikan dengan kondisi Sungai Sampean.

#### Input Data HEC-RAS

Data-data yang harus dimasukkan kedalam program *HEC-RAS* yaitu :

1. Skema Sungai Sampean Bondowoso.
2. Data *Long Cross Section* Sungai Sampean.
3. Angka *Manning* / Kekasaran
4. Debit banjir rencana dengan periode ulang 10 tahun.

Setelah menginputkan data tersebut, dilakukan *Running Program*. Sehingga diketahui bentuk penampang dari dua belokan Sungai Sampean.

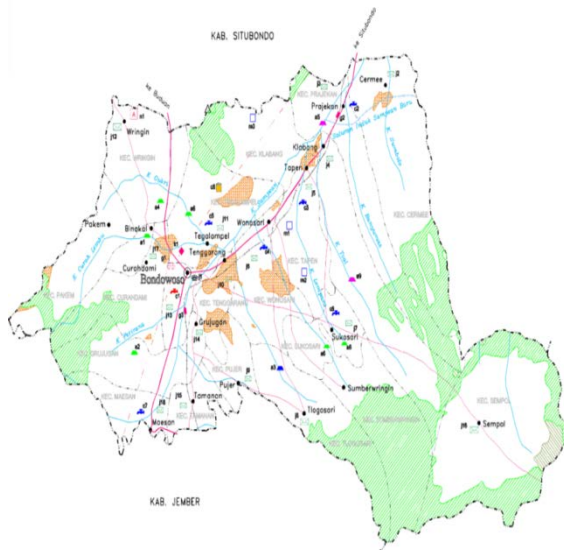
### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Analisa Hidrologi

1. Hujan rata-rata

Data hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi. Fenomena hidrologi seperti besarnya: curah hujan, temperatur, penguapan, lama penyinaran matahari, kecepatan angin, debit sungai, tinggi muka air sungai, kecepatan aliran sungai akan selalu berubah menurut waktu. Dalam kasus kali ini penulis mempergunakan data curah hujan sebagai acuan dalam proses perhitungan. Data curah hujan yang akan digunakan untuk mengkaji, diambil dari 3 Stasiun hujan yang terdekat dengan daerah studi yaitu Stasiun hujan Klabang, Prajekan dan Ta'al. Data curah hujan yang di ambil adalah curah hujan harian dari ketiga Stasiun tersebut selama 10 tahun dari tahun 2007 s/d 2016. Dari data curah hujan harian tersebut diambil data curah hujan harian

maksimum per tahun. yang disajikan pada tabel 5.2.



Gambar 5.1 Peta Daerah Aliran Sungai Kabupaten Bondowoso

Tabel 5.1 .Rekapitulasi Data Curah Hujan Harian Maksimum Tahunan di 3 Stasiun

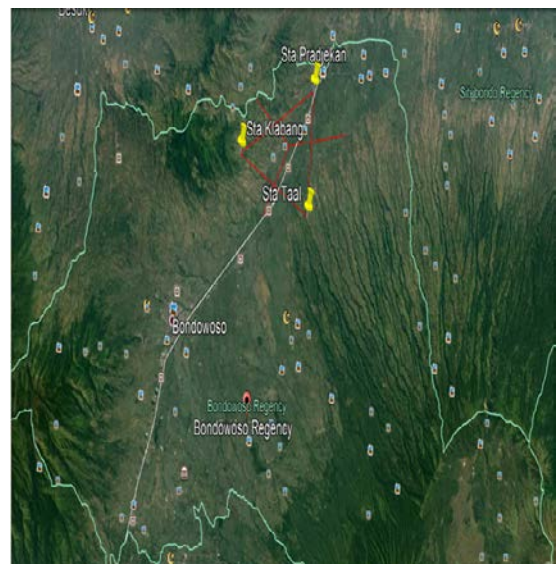
No	Tahun	CURAH HUJAN HARIAN MAKSIMUM ( mm )		
		Sta Klabang	Sta Prajejan	Sta Ta'al
		R1	R2	R3
1	2007	106,0	74,0	62,0
2	2008	189,0	263,0	125,0
3	2009	89,0	108,0	51,0
4	2010	120,0	85,0	60,0
5	2011	54,0	87,0	45,0
6	2012	124,0	78,0	60,0
7	2013	105,0	135,0	169,0
8	2014	57,0	63,0	44,0
9	2015	143,0	125,0	65,0
10	2016	105,0	84,0	87,0
Rerata		109,2	110,2	76,8

(Sumber : Hasil Perhitungan)

**Curah Hujan Rerata Wilayah Dengan Metode Polygon Thiessen**

Data curah hujan harian maksimum yang di dapat dari stasiun-stasiun pengukuran berupa data suatu titik tertentu, sedangkan untuk

keperluan analisis yang di perlukan adalah data curah hujan wilayah aliran. Ada tiga cara yang telah banyak di gunakan yaitu, cara rata-rata aljabar (*Aritmatic Mean Method*), Poligon Thiessen (*Thiessen Polygon Method*) dan Isohiet (*Ishoyetal Method*). Dalam studi ini penulis menggunakan Metode Polygon Thiessen. Untuk mencari luas area, penulis menggunakan program aplikasi *Google Earth* dan untuk hasil perhitungan luas area menggunakan program aplikasi *Google Eart*, yang disajikan pada tabel 5.3. Perhitungan tersebut dilakukan dengan cara membuat garis polygon pada masing-masing area di dalam aplikasi *Google Earth*.



Gambar 5.2 Polygon Thiessen DAS Sampean Menggunakan Google Earth (Sumber : Aplikasi Google Earth)

Tabel 5.2 Luas DAS yang masuk pengaruh 3 Stasiun curah hujan

No STA	Nama Stasiun Hujan	Luas area di gambar	Luas Area (Km2)	Persentase (%)	Koefisien Thiessen
1	Klabang	0.21	57	21.11	0.211
2	Prajejan	0.40	107	39.63	0.396
3	Ta'al	0.39	106	39.26	0.393
TOTAL			270	100	1

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Tabel 5.3 Curah Hujan Rerata Wilayah dengan Metode Polygon Thiessen

No	Tahun	STASIUN CURAH HUJAN ( mm )			Curah Hujan Rata-Rata Daerah (mm) R
		Klabang 0,21	Prajekan 0,4	Ta'al 0,39	
1	2007	106,0	74,0	62,0	76,0
2	2008	189,0	263,0	125,0	193,6
3	2009	89,0	108,0	51,0	81,8
4	2010	120,0	85,0	60,0	82,6
5	2011	54,0	87,0	45,0	63,7
6	2012	124,0	78,0	60,0	80,6
7	2013	105,0	135,0	169,0	142,0
8	2014	57,0	63,0	44,0	54,3
9	2015	143,0	125,0	65,0	105,4
10	2016	105,0	84,0	87,0	89,6

(Sumber : Hasil Perhitungan)

## 2. Analisis Hujan Rancangan

### a). Pemilihan Metode Perhitungan Hujan Rancangan

Untuk menentukan metode yang sesuai, maka terlebih dahulu harus di hitung besarnya parameter statistik yaitu koefisien kemencengan ( *skewness* ) atau  $C_s$  dan koefisien kepuncakan ( *Kurtosis* ) atau  $C_k$ .

Tabel 5.4 Perhitungan Untuk menentukan Metode Analisa Distribusi Frekuensi

No	Tahun	$X_i$	P	$(X_i - X)$	$(X_i - X)^2$	$(X_i - X)^3$	$(X_i - X)^4$
1	2007	76,04	9,09	-20,92	437,81	-9160,82	191680,9
2	2008	193,64	18,18	96,68	9346,25	903557,97	87352369,9
3	2009	81,78	27,27	-15,18	230,55	-3500,73	53155,1
4	2010	82,60	36,36	-14,36	206,32	-2963,65	42569,8
5	2011	63,69	45,45	-33,27	1107,16	-36839,61	1225801,2
6	2012	80,64	54,55	-16,32	266,47	-4349,90	71007,8
7	2013	141,96	63,64	45,00	2024,64	91100,70	4099167,2
8	2014	54,33	72,73	-42,63	1817,66	-77494,03	3303880,4
9	2015	105,38	81,82	8,42	70,83	596,10	5016,8
10	2016	89,58	90,91	-7,38	54,52	-402,60	2972,8
<b>Jumlah</b>		<b>969,640</b>		<b>0,00</b>	<b>15562,22</b>	<b>860543,43</b>	<b>96347622,0</b>
<b>Rerata</b>		<b>96,964</b>					
<b>Std. Dev</b>		<b>41,583</b>					
<b>Cs</b>		<b>1,662</b>					
<b>Ck</b>		<b>6,39</b>					
<b>Cv</b>		<b>0,429</b>					

( Sumber: Hasil Perhitungan )

Langkah selanjutnya adalah analisa distribusi frekuensi dari data rekapitulasi curah hujan, dengan perhitungan sebagai berikut :

### a. Harga Rata-Rata ( Mean )

$$X = \frac{\sum \bar{X}}{n} = \frac{969,640}{10} = 96,964 \text{ mm}$$

### b. Standart Deviasi ( Sd )

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{15562,22}{9}} = 41,583 \text{ mm}$$

### c. Koefisien Kemencengan (Skewness)

$$C_s = \frac{n}{(n-1)(n-2)\sigma^3} \sum (x - \bar{x})^3 = \frac{10}{(10-1)(10-2)41,583^3} \times 860543,43 = 1,662 \text{ mm}$$

### d. Koefisien Kurtosis ( Ck )

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)\sigma^4} \sum (x - \bar{x})^4 = \frac{10^2}{(10-1)(10-2)(10-3)41,583^4} \times 96347622,0 = 6,39 \text{ mm}$$

### e. Koefisien Variasi ( Cv )

$$C_v = \frac{S_1}{\log X} = \frac{41,583}{96,964} = 0,429 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di dapatkan hasil sebagai berikut :

- Nilai Koefisien Kemencengan ( Cs ) = 1,662 mm
- Nilai Koefisien Kurtosis ( Ck ) = 6,39 mm

Tabel 5.5 Syarat Analisis Data Untuk Menggunakan Analisa Frekuensi

No	Jenis Distribusi	Syarat	Perhitungan	Keterangan
1	Distribusi Normal	Cs < 0	Cs = 1,662	Tidak memenuhi
		Ck < 3	Ck = 6,39	Tidak memenuhi
2	Distribusi Log Normal	Cs = 3	Cs = 1,662	Tidak memenuhi
		Cv = 0	Ck = 6,39	Tidak memenuhi
3	Distribusi Gumbel	Cs < 1,1396	Cs = 1,662	Tidak memenuhi
		Ck < 5,4002	Ck = 6,39	Tidak memenuhi
4	Distribusi Log Pearson Tipe III	Tanpa batasan	Cs = 1,662	Memenuhi
		Tanpa batasan	Ck = 6,39	Memenuhi

( Sumber : Soemarto, 1999 )

### Perhitungan Hujan Rancangan Dengan Metode Log Pearson Tipe III

Tabel 5.6 Perhitungan Curah Hujan Rancangan Metode Log Pearson Tipe III

No	Tahun	X (mm)	LogX	Log X - Log Xi	(Log X - Log Xi) <sup>2</sup>	(Log X - Log Xi) <sup>3</sup>	(Log X - Log Xi) <sup>4</sup>
1	2007	76,0	1,881	-0,076	0,006	0,000	0,000
2	2008	193,6	2,287	0,330	0,109	0,036	0,012
3	2009	81,8	1,913	-0,044	0,002	0,000	0,000
4	2010	82,6	1,917	-0,040	0,002	0,000	0,000
5	2011	63,7	1,804	-0,153	0,023	-0,004	0,001
6	2012	80,6	1,907	-0,050	0,003	0,000	0,000
7	2013	142,0	2,152	0,195	0,038	0,007	0,001
8	2014	54,3	1,735	-0,222	0,049	-0,011	0,002
9	2015	105,4	2,023	0,066	0,004	0,000	0,000
10	2016	89,6	1,952	-0,005	0,000	0,000	0,000
Jumlah			19,570	0,000	0,236	0,028	0,016
Rata-rata (Log Xi)			1,957				

( Sumber : Hasil Perhitungan )

Dari perhitungan di atas maka nilai S dan Cs pada logaritma dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

1. Mencari Nilai Standart Deviasi ( S )

$$S = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log } X - \text{Log } X_i)^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,236}{10-1}} = 0,1619 \text{ mm}$$

2. Mencari Nilai Koefisien Skewness ( Cs )

$$Cs = \frac{\sum_{i=1}^n \{ \log(X_i) - \overline{\log X} \}^3}{(n-1)(n-2)S_1^3}$$

$$Cs = \frac{0,028}{(10-1)(10-2)0,1619^3}$$

$$= 0,9294 \text{ mm}$$

Tabel 5.7 Hasil perhitungan nilai K untuk Distribusi Log Person Tipe III

Kala Ulang	G	Dari Tabel		K
		Koef	% Peluang	
2	0,9294	1,0	-0,164	-0,1527
		0,8	-0,132	
5	0,9294	1,0	0,758	0,7658
		0,8	0,780	
10	0,9294	1,0	1,340	1,3386
		0,8	1,336	
25	0,9294	1,0	2,043	2,0253
		0,8	1,993	
50	0,9294	1,0	2,542	2,5106
		0,8	2,453	
100	0,9294	1,0	3,022	2,9758
		0,8	2,891	

(Sumber : Hasil Perhitungan)

### Hasil Perhitungan Hujan Rancangan Log Person Tipe III

- Untuk Distribusi Frekuensi Periode 2 Tahun.

$$\text{Log } X_{T \text{ 2 tahun}} = \text{Log } X_{\text{rerata}} + (K \times S)$$

$$\text{Log } X_{T \text{ 2 tahun}} = 1,9570 + (-0,153 \times 0,1619)$$

$$\text{Log } X_{T \text{ 2 tahun}} = 1,93$$

$$X_{T \text{ 2 tahun}} = 85,57$$

- Untuk Distribusi Frekuensi Periode 5 Tahun.

$$\begin{aligned} \text{Log } X_{T 5 \text{ tahun}} &= \text{Log } X_{\text{rerata}} + (K \times S) \\ \text{Log } X_{T 5 \text{ tahun}} &= 1,9570 + (0,766 \times 0,1619) \\ \text{Log } X_{T 5 \text{ tahun}} &= 2,08 \\ X_{T 5 \text{ tahun}} &= 120,51 \end{aligned}$$

- Untuk Distribusi Frekuensi Periode 10 Tahun.

$$\begin{aligned} \text{Log } X_{T 10 \text{ tahun}} &= \text{Log } X_{\text{rerata}} + (K \times S) \\ \text{Log } X_{T 10 \text{ tahun}} &= 1,9570 + (1,339 \times 0,1619) \\ \text{Log } X_{T 10 \text{ tahun}} &= 2,17 \\ X_{T 10 \text{ tahun}} &= 149,19 \end{aligned}$$

- Untuk Distribusi Frekuensi Periode 25 Tahun.

$$\begin{aligned} \text{Log } X_{T 25 \text{ tahun}} &= \text{Log } X_{\text{rerata}} + (K \times S) \\ \text{Log } X_{T 25 \text{ tahun}} &= 1,9570 + (2,025 \times 0,1619) \\ \text{Log } X_{T 25 \text{ tahun}} &= 2,28 \\ X_{T 25 \text{ tahun}} &= 192,72 \end{aligned}$$

- Untuk Distribusi Frekuensi Periode 50 Tahun.

$$\begin{aligned} \text{Log } X_{T 50 \text{ tahun}} &= \text{Log } X_{\text{rerata}} + (K \times S) \\ \text{Log } X_{T 50 \text{ tahun}} &= 1,9570 + (2,511 \times 0,1619) \\ \text{Log } X_{T 50 \text{ tahun}} &= 2,36 \\ X_{T 50 \text{ tahun}} &= 230,93 \end{aligned}$$

- Untuk Distribusi Frekuensi Periode 100 Tahun.

$$\begin{aligned} \text{Log } X_{T 100 \text{ tahun}} &= \text{Log } X_{\text{rerata}} + (K \times S) \\ \text{Log } X_{T 100 \text{ tahun}} &= 1,9570 + (2,976 \times 0,1619) \\ \text{Log } X_{T 100 \text{ tahun}} &= 2,44 \\ X_{T 100 \text{ tahun}} &= 274,65 \end{aligned}$$

Dengan menghitung hujan rancangan menggunakan Metode Distribusi Log Person Tipe III di dapat hujan rencana dengan periode ulang 10 tahun sebesar 149,19 mm Setelah menghitung hujan rancangan, langkah selanjutnya adalah melakukan *Uji Kesesuaian Distribusi* digunakan untuk membandingkan data observasi dengan data yang di harapkan untuk menguji hipotesis.

### Uji Chi – Square

Tabel 5.8 Perhitungan Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi Chi- Square

X	Of	Ef	Of - Ef	(Of-Ef) <sup>2</sup> /Ef
0 - 71,9447	1	2,5	-1,5	0,900
71,9447 - 95,4000	1	2,5	-1,5	0,900
95,4000 - 119,1335	4	2,5	1,5	0,900
> 119,1335	4	2,5	1,5	0,900
<b>Jumlah</b>	<b>10</b>	<b>10</b>		<b>3,600</b>

( Sumber : Hasil Perhitungan )

Dari hasil perhitungan di atas di peroleh nilai Chi-Square (  $X^2$  ) hitung sebesar **3,600** Sedangkan (  $X_{cr}$  ) pada table Uji Chi- Square sebesar **5,991**. Karena nilai  $X^2$  hitung kurang dari  $X_{cr}$  pada tabel, (  $X^2 < X_{cr}$  ) maka dari pengujian kecocokan penyebaran Distribusi Log Person III dapat diterima ( memenuhi syarat ).

### 3. Debit Banjir Rancangan

- a) Perhitungan Curah Hujan Efektif Periode Ulang 10 Tahun.

Hujan efektif di dapat dari hasil perkalian antara koefisien pengaliran dengan curah hujan rancangan yang sebelumnya didapat dengan menggunakan Metode Log Pearson Tipe III. distribusi hujan yang akan dipakai dalam perhitungan adalah distribusi hujan pada periode ulang 10 tahun. Berikut hasil Perhitungan distribusi Hujan Efektif (  $R_e$  )

Tabel 5.9 Hasil Perhitungan Hujan Efektif (  $R_e$  )

Kala Ulang ( Tahun )	Curah Hujan Rancangan ( mm )	Koefisien pengaliran ( C )	Hujan Efektif ( $R_e$ ) ( mm )
2	85,570	0,47	40,218
5	120,507	0,47	56,638
<b>10</b>	<b>149,192</b>	<b>0,47</b>	<b>70,120</b>
25	192,720	0,47	90,578
50	230,930	0,47	108,537
100	274,654	0,47	129,087

( Sumber : Hasil Perhitungan )

Dari tabel diatas di dapat nilai hujan efektif sebesar 70,120 mm untuk Periode Kala Ulang 10 tahun. Kemudian setelah hujan efektif di peroleh, langkah berikutnya adalah menentukan nilai hujan efektif jam-jaman di tiap kala periode ulang. Kemudian hasil yang di dapatkan tersebut , nantinya akan dipergunakan untuk menentukan debit banjir dengan Metode HSS Nakayasu. Berikut hasil perhitungan hujan efektif jam-jaman di tiap Kala Periode Ulang 10 tahun



Tabel 5.10 Hasil Perhitungan hujan efektif jam-jaman

Waktu	Ratio	Hujan Efektif Jam -jaman
		10
1	0,5438	38,130
2	0,1445	10,133
3	0,1017	7,134
4	0,0812	5,692
5	0,0687	4,815
6	0,0601	4,214
Hujan Efektif ( mm )		70,120
Koefisien Pengaliran		0,47
Hujan rencana ( mm )		149,192

( Sumber : Hasil Perhitungan )

b). Perhitungan Hidrograf Banjir

Ordinat Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu dapat dilihat pada Tabel 5.15

Tabel 5.11 Ordinat Hidrograf Satuan

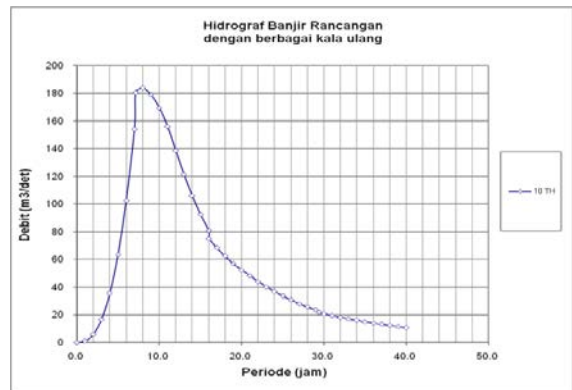
t (jam)	Q (m <sup>3</sup> /dt)	Keterangan
0.0	0.0000	Kurva naik untuk t < Tp
1.0	0.0285	
2.0	0.1505	
3.0	0.3983	
4.0	0.7944	
5.0	1.3571	
6.0	2.1021	
7.0	3.0431	debit puncak
7.14	3.1869	
8.0	2.8361	
9.0	2.4780	Kurva turun Tp < t < Tp + T0,3
10.0	2.1652	
11.0	1.8918	
12.0	1.6529	
13.0	1.4442	
14.0	1.2619	
15.0	1.1025	
16.0	0.9633	
16.1	0.9561	
17.0	0.8782	
18.0	0.8026	
19.0	0.7336	
20.0	0.6704	
21.0	0.6128	
22.0	0.5600	Kurva turun Tp + T0,3 < t < Tp + T0,3 + 1.5T0,3
23.0	0.5118	
24.0	0.4678	
25.0	0.4275	
26.0	0.3907	
27.0	0.3571	
28.0	0.3264	
29.0	0.2983	
29.44	0.2868	
30.0	0.2761	
31.0	0.2581	
32.0	0.2412	
33.0	0.2255	
34.0	0.2108	
35.0	0.1970	
36.0	0.1842	
37.0	0.1722	
38.0	0.1609	
39.0	0.1504	
40.0	0.1406	Kurva turun t > Tp + T0,3 + 1.5T0,3

( Sumber : Hasil Perhitungan )

Hasil perhitungan ordinat di atas kemudian dimasukkan ke dalam tabel Hidrograf Banjir dengan Periode Ulang 10 Tahun yang dapat dilihat pada tabel 5.12.

c). Perhitungan Debit Banjir Rencana

Hasil perhitungan hidrograf debit banjir rencana periode ulang 10 tahun dengan metode HSS Nakayasu. Disajikan pada tabel 5.12 dan grafik gambar 5.3. Data perhitungan debit banjir sungai akan digunakan untuk perhitungan penampang sungai dengan program aplikasi HEC-RAS versi 4.1.



Gambar 5.3 Hidrograf Banjir Rencana Hss Nakayasu

( Sumber : Hasil Perhitungan )

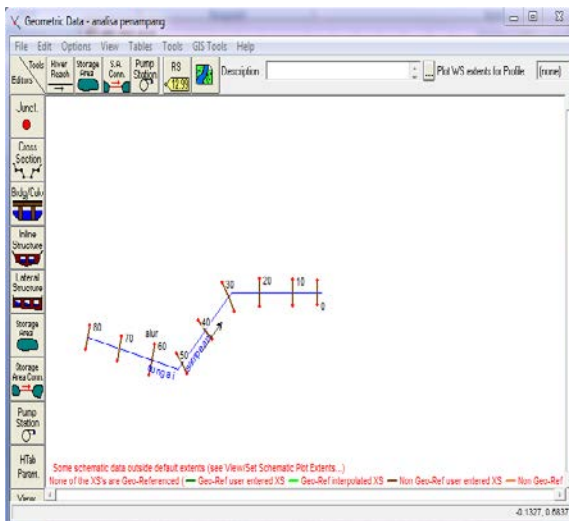
Tabel 5.12 Hidrograf Debit Banjir Rencana Dengan Periode Ulang 10 Tahun

t (t,1) (m <sup>3</sup> /dt)	10 tahunan						Jumlah (m <sup>3</sup> /dt)
	R1 (mm/jam)	R2 (mm/jam)	R3 (mm/jam)	R4 (mm/jam)	R5 (mm/jam)	R6 (mm/jam)	
0.000	0.00						0.00
0.0285	1.09	0.00					1.09
0.1505	5.74	0.29	0.00				6.03
0.3983	15.19	1.53	0.20	0.00			16.91
0.7944	30.29	4.04	1.07	0.16	0.00		35.56
1.3571	51.75	8.05	2.84	0.86	0.14	0.00	63.63
2.1021	80.15	13.75	5.67	2.27	0.72	0.12	102.68
3.0431	116.04	21.30	9.68	4.52	1.92	0.63	154.09
4.2147	121.52	30.84	15.00	7.73	3.83	1.68	180.58
5.6920	108.14	32.29	21.71	11.97	6.53	3.35	184.00
7.1341	94.49	28.74	22.74	17.32	10.12	5.72	179.13
8.8118	82.56	25.11	20.23	18.14	14.65	8.86	169.56
10.7944	72.13	21.94	17.68	16.14	15.85	12.83	156.07
13.0919	63.03	19.17	15.45	14.11	13.66	13.43	138.84
15.7442	55.07	16.75	13.50	12.33	11.63	11.95	121.53
18.7919	48.12	14.63	11.79	10.77	10.43	10.44	106.18
22.2825	42.04	12.79	10.80	9.41	9.11	9.13	92.77
26.2529	36.73	11.17	9.00	8.22	7.96	7.97	81.06
30.7520	36.46	9.76	7.87	7.18	6.95	6.97	75.19
35.8226	33.49	9.69	6.87	6.28	6.08	6.09	68.49
41.5026	30.61	8.90	6.82	5.45	5.31	5.32	62.44
47.8326	27.97	8.13	6.27	5.44	4.64	4.65	57.10
54.7526	25.56	7.45	5.73	5.00	4.60	4.06	52.39
62.2926	23.36	6.79	5.23	4.57	4.23	4.03	48.22
70.4826	21.35	6.21	4.78	4.18	3.86	3.70	44.09
79.2626	19.52	5.65	4.37	3.82	3.53	3.38	40.29
88.6826	17.84	5.19	4.00	3.49	3.23	3.09	36.83
98.7926	16.30	4.74	3.65	3.19	2.95	2.83	33.66
109.5526	14.90	4.33	3.34	2.91	2.70	2.58	30.76
120.9926	13.62	3.96	3.05	2.66	2.46	2.36	28.11
133.1426	12.45	3.62	2.79	2.43	2.25	2.16	25.70
145.9426	11.37	3.31	2.55	2.22	2.06	1.97	23.48
159.4226	10.94	3.02	2.33	2.03	1.88	1.80	22.00
173.5126	10.53	2.91	2.18	1.86	1.72	1.65	20.79
188.1526	9.84	2.80	2.05	1.70	1.57	1.51	19.46

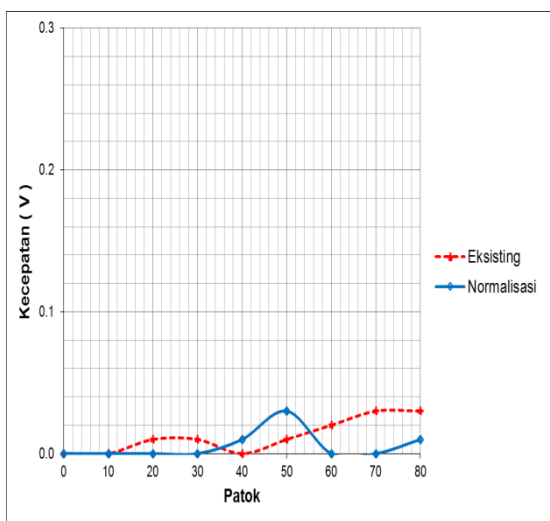
Analisa Hidrolika

Analisa hidrolika pada penelitian ini menggunakan program HEC-RAS Versi 4.1. Berikut ini adalah bentuk alur sungai yang

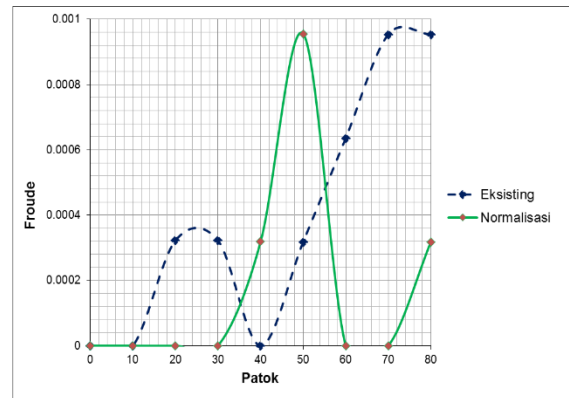
sudah di gambar pada aplikasi *HEC-RAS* Versi 4.1.



Gambar 5.4 Skema Sungai Sampean dua belokan (Dari awal belokan sampai akhir belokan).  
(Sumber : Program Aplikasi *HEC-RAS*)

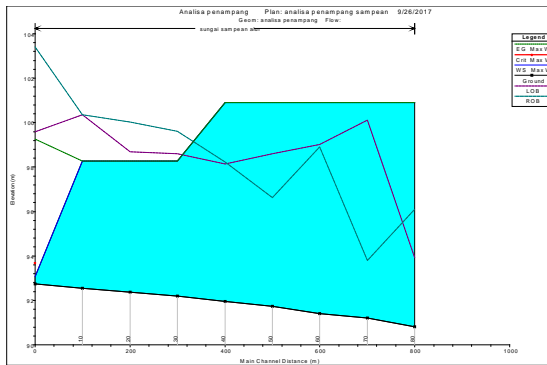


Gambar 5.5 Grafik titik perubahan kecepatan pada 2 belokan (*Eksisting* dan *Normalisasi*)  
(Sumber: Hasil Perhitungan)



Gambar 5.6 Grafik titik perubahan bilangan *Froude* pada 2 belokan (*Eksisting* dan *Normalisasi*)  
(Sumber: Hasil Perhitungan)

Setelah data-data skematik, geometri sungai, dan debit banjir rencana dimasukkan, dilanjutkan dengan melakukan eksekusi program (*Running Program*). Debit yang di inputkan ke dalam program aplikasi *HEC-RAS* adalah data debit banjir rencana dengan periode ulang 10 tahun yang sudah dihitung menggunakan metode HSS Nakayasu. Dari hasil perhitungan tersebut, diperoleh debit puncak sebesar 184,00 m<sup>3</sup>/detik. Dari hasil perhitungan *HEC-RAS*, didapat beberapa titik yang mengalami limpasan. Dari hasil *output* program aplikasi *HEC-RAS*, maka titik yang mengalami banjir diantaranya adalah River Sta 40, 50, 60, 70, 80. Limpasan air tersebut bisa dikarenakan kurang tingginya tanggul (tinggi jagaan) atau karena terjadinya erosi pada bagian hulu sehingga terjadi sedimentasi pada sungai sampean. Hasil *survey* lapangan di dapat bahwa Sta 40, 50, 60, 70, 80 disebabkan oleh penampang sungai yang kurang besar dan tinggi sehingga terjadilah luapan air. Adapun hasil dari analisa profil muka air sungai sampean disajikan pada gambar 5.7.

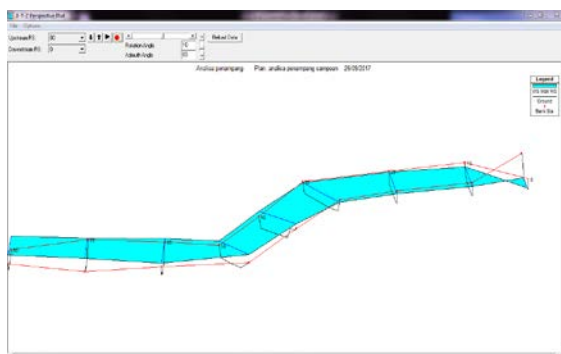


Gambar 5.7 Profil Muka Air Sungai Sampean (Eksisting) dengan periode ulang 10 (Sumber : Program Aplikasi HEC-RAS)

Dari gambar di atas, terlihat elevasi muka air Sungai Sampean hampir seluruh stationing mengalami genangan banjir. Itu berarti Sungai Sampean sudah tidak dapat menahan beban air pada debit banjir rencana dan harus dilakukan penanggulangan agar tidak terjadi banjir. Hasil *running* program aplikasi HEC-RAS berupa tabel disajikan pada Tabel 5.13 dibawah ini.

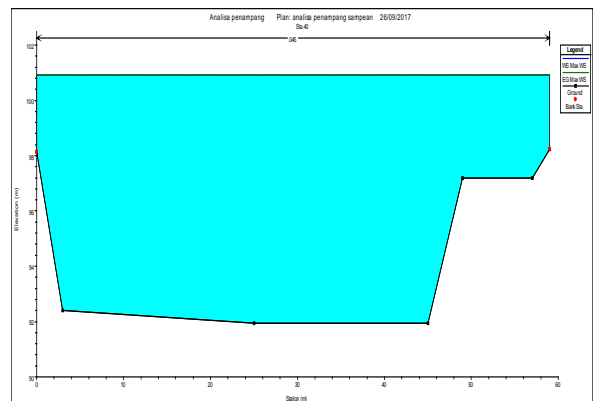
Tabel 5.13 Hasil Perhitungan Hidrolika Menggunakan HEC-RAS (Eksisting)

River Sta	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
80	16.3	90.82	100.91	100.91	0	0.03	479.83	51	0.0010
70	12.88	91.20	100.91	100.91	0	0.03	467.65	55	0.0010
60	9.19	91.41	100.91	100.91	0	0.02	511.72	68	0.0006
50	5.54	91.73	100.91	100.91	0	0.01	439.41	54	0.0003
40	1.9	91.95	100.91	100.91	0	0	449.42	59	0.0000
30	2.73	92.19	98.28	98.28	0	0.01	388.58	71.99	0.0003
20	1.87	92.38	98.28	98.28	0	0.01	341.78	60.18	0.0003
10	1.12	92.55	98.28	98.28	0	0	270.41	54.37	0.0000
0	76.3	92.74	93.07	99.27	0	0	6.92	28.23	0.0000



Gambar 5.8 Tampilan 3D Situasi Sungai Sampean pada dua belokan dengan Kala Ulang 10 Tahun

Berikut ini adalah profil melintang penampang muka air pada River Sta 40 Dari gambar tersebut, terlihat jelas aliran air sungai melimpas pada bagian tebing kanan dan tebing kiri dengan tinggi air permukaan setinggi 100,91 meter. Itu berarti tebing kiri mengalami banjir genangan setinggi  $100,91 - 98,15 \text{ m} = 2,76 \text{ meter}$  dan tebing kanan  $100,91 \text{ m} - 98,22 \text{ m} = 2,69 \text{ meter}$ .



Gambar 5.9 Profil Melintang Penampang River Sta 40 ( Eksisting ) (Sumber : Program Aplikasi HEC-RAS)

Berikut ini adalah tabel rekapitulasi tinggi muka air banjir di sepanjang sungai sampean yang dapat dilihat pada tabel. 5.14

Tabel 5.14 Rekapitulasi Tinggi Banjir Di Sepanjang Sungai Sampean

River Sta.	Tebing Kiri	Tinggi Banjir	Tebing Kanan	Tinggi Banjir
		( m )		( m )
80	Meluber	6.98	Meluber	4.8
70	Meluber	0.79	Meluber	7.11
60	Meluber	1.9	Meluber	1.99
50	Meluber	2.31	Meluber	4.29
40	Meluber	2.76	Meluber	2.69
30	Aman	-	Aman	-
20	Aman	-	Aman	-
10	Aman	-	Aman	-
0	Aman	-	Aman	-

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Dengan melihat kondisi gambar 5.9 dan tabel 5.14 di atas, maka perlu adanya rencana penanggulangan banjir. Rencana

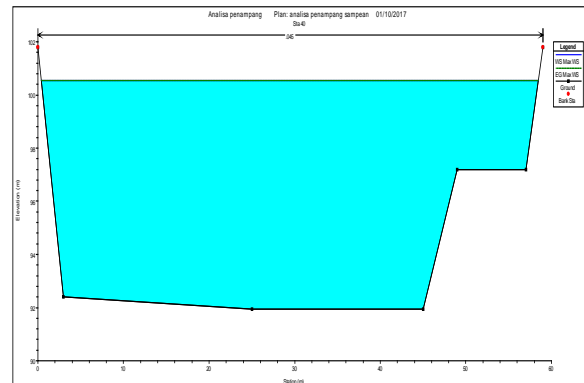
penanggulangan dapat berupa normalisasi sungai ataupun pemberian tanggul pada tebing kanan maupun tebing kiri sebagai jagaan.

### Rencana Penanggulangan

Dengan adanya kondisi air yang melimpas, perlu adanya penanggulangan. Tahapan dan prioritas pelaksanaan fisik kontruksi disusun berdasarkan pertimbangan kondisi lapangan, manfaat, dan biaya. Dengan adanya pertimbangan tersebut prioritas pelaksanaan fisik kontruksi disusun sebagai berikut:

1. Jangka Pendek / Darurat, yaitu tahapan yang harus segera dilakukan atau dikerjakan adalah normalisasi sungai. Normalisasi sungai adalah sebuah upaya yang dilakukan untuk memperbaiki penampang sungai, yaitu dengan cara melebarkan sungai dan memperdalam sungai dengan cara mengeruk agar kapasitas sungai bertambah sehingga dapat menampung debit banjir. Karena apabila langkah ini tidak segera dilakukan, dikhawatirkan akan terjadi luapan yang lebih besar lagi.
2. Jangka menengah, tahap ini dilakukan dengan cara peninggian tebing atau pemberian tanggul pada tebing kanan maupun tebing kiri dan melakukan perbaikan penampang sungai yang sempit.

Berikut adalah hasil kondisi hasil normalisasi Sungai Sampean pada River Sta 40 menggunakan program aplikasi HEC-RAS Versi 4.1 dapat dilihat pada gambar 5.9. Penanggulangan dilakukan dengan mengeruk tanah sedalam 3,65 meter. Setelah dilakukan normalisasi pada River Sta 40 sudah tidak mengalami genangan air.



Gambar 5.10 Profil Melintang Penampang River Sta.40 ( Normalisasi )  
(Sumber : Program Aplikasi HEC-RAS)

Berikut adalah rekapitulasi hasil normalisasi di sepanjang sungai sampean. Dari hasil perhitungan menggunakan HEC-RAS 4.1 ada beberapa titik yang dilakukan dengan cara normalisasi, sedangkan dua titik dilakukan dengan cara memberi tanggul yaitu pada titik 70, 80. Titik limpasan tersebut disajikan dalam tabel 5.15

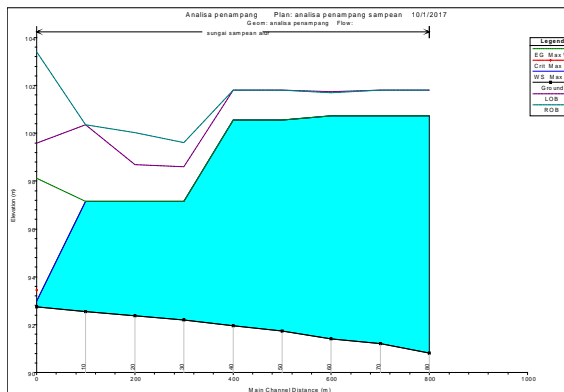
Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Normalisasi Di Sepanjang Sungai Sampean

River Sta	Kondisi Eksisting			Kondisi Rencana			Ket
	Dimension Channel			Dimension Channel			
	Ground (b) (m)	Top (a) (m)	Height (h) (m)	Ground (b) (m)	Top (a) (m)	Height (h) (m)	
80	40.00	51.00	4.91	40.00	51.00	10.60	MT
70	34.00	42.00	8.92	34.00	55.00	10.60	MT
60	43.00	59.00	7.00	43.00	68.00	9.74	Pe
50	35.00	54.00	4.89	39.00	54.00	10.07	Pe
40	42.00	49.00	6.20	42.00	59.00	9.85	Pe

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Keterangan: Pe = Pengerukan  
MT = Memberi Tanggul

Dibawah ini adalah Profil Muka Air Sungai Sampean setelah dilakukan normalisasi pada titik genangan yang disajikan pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Profil Muka Air Sungai Sampean (Normalisasi) dengan periode Ulang 10 Tahun.

(Sumber : Program Aplikasi HEC-RAS)

Sedangkan kondisi hidrolika Sungai Sampean setelah dilakukan normalisasi disajikan pada tabel 5.16 dibawah ini

Tabel 5.16 Tabel Hasil Perhitungan Hidrolika Menggunakan HEC-RAS (Normalisasi)

River Sta	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
80	3.02	90.82	100.73	100.73	0	0.01	438.1	49.90	0.0003
70	1.95	91.2	100.73	100.73	0	0	434.49	53.54	0.0000
60	0.73	91.41	100.73	100.73	0	0	486.61	64.41	0.0000
50	12.04	91.73	100.54	100.54	0	0.03	395.86	52.10	0.0010
40	3.6	91.95	100.54	100.54	0	0.01	419.56	58.05	0.0003
30	0.18	92.19	97.15	97.15	0	0	308.37	70.68	0.0000
20	0.09	92.38	97.15	97.15	0	0	274.56	59.38	0.0000
10	0.02	92.55	97.15	97.15	0	0	209.77	53.49	0.0000
0	45.71	92.74	92.98	98.11	0	0	4.55	24.37	0.0000

(Sumber : Program Aplikasi HEC-RAS)

## PENUTUP

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan dalam kajian ini maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Debit puncak banjir Sungai Sampean pada dua belokan yang di dapat dari hasil perhitungan menggunakan metode HSS Nakayasu sebesar 184,00 m<sup>3</sup>/s dengan periode ulang 10 tahun.
2. Dari hasil kajian hidrolik aliran sungai sampean pada dua belokan menggunakan program HEC-RAS , didapatkan beberapa titik yang mengalami banjir dan limpasan

yaitu pada River Sta 40, 50, 60, 70, 80. Banjir terparah terjadi pada River Sta 70 dengan tinggi 7,11 meter.

3. Alternatif solusi dalam jangka pendek dan jangka menengah untuk meningkatkan kapasitas Sungai Sampean adalah dengan cara normalisasi pada river Sta 40, 50 dan 60 sedangkan peninggian tebing atau pemberian tanggul pada tebing kanan maupun tebing kiri dan melakukan perbaikan penampang sungai yang sempit pada River Sta 70 dan 80.

### Saran

Berdasarkan pada Tugas Akhir “ Kajian Hidrolik Aliran Sungai Pada Dua Belokan Menggunakan Program HEC-RAS versi 4.1” yang studi kasusnya di sungai sampean Kabupaten Bondowoso ini, penyusun ingin memberikan beberapa saran terkait dengan masalah tersebut.

1. Memperhitungkan sedimen yang terdapat di dalam sungai sampean pada dua belokan dan melakukan pengecekan kondisi tanah di sekitar Sungai Sampean.
2. Diperlukan pengecekan pada kondisi penampang yang ada di sungai sampean sehingga dapat di lakukan penanganan.
3. Perlu dilakukan pemeliharaan sungai secara rutin agar sungai menjadi tampak lebih bersih dari sampah-sampah ataupun dari semak-semak yang mengganggu aliran sungai sampean dan sungai dapat berfungsi secara optimal.
4. Pada penggunaan program Aplikasi HEC-RAS untuk menganalisa sungai, sebaiknya kita melakukan survey terlebih dahulu ke tempat yang kita teliti dan sebaiknya tersedia juga data-data yang lengkap untuk di input ke program HEC-RAS yaitu data geometri seperti *cross section*, skema alur sungai, kondisi alur sungai, debit banjir rencana, hidrograf dan lain-lain supaya

mendapatkan model dan hasil perhitungan yang akurat sesuai keadaan di lapangan.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

*Istiarto, 2014. Simulasi Aliran 1 Dimensi dengan HEC RAS. Yogyakarta.*

*Rizal, NS. 2014. Aplikasi Perencanaan Irigasi dan Bangunan Air. Jember*

*Soemarto, CD. 1995. Hidrologi Teknik. Jakarta : Erlangga.*

*Triatmodjo, B. 1993. Hidraulika II. Malang*

*Harto, Sri. 1993. Analisis Hidrologi. Jakarta.*

*Mudjiatko (2000). Pengaruh Meander Sungai Terhadap Perubahan Konfigurasi Dasar dan Seleksi Butiran Sedimen, tesis S2 UGM, Yogyakarta*

*Chow, Ven Te. 1992. Hidrolika Saluran Terbuka. Surabaya : Erlangga.*

*Standar Perencanaan Irigasi, SNI KP – 02, 2010.*

*Agung Tedjo Kusumo, 2016 Tugas Akhir Analisa dan Evaluasi Kapasitas Penampang Sungai Sampean Bondowoso Dengan menggunakan Program HEC-RAS 4.1.*

*Muhammad Taruna Satya M, 2014 Tugas Akhir Studi Normalisasi Sungai Sampean Sebagai Upaya Pengendalian Banjir. Universitas Brawijaya Malang.*