



## PERENCANAAN TANGGUL BANJIR SUNGAI LUSI HILIR

Rizka Arbaningrum, Jennifer Gerina Putri, Pranoto Sapto A.<sup>\*)</sup>, Dwi Kurniani<sup>\*)</sup>

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

### ABSTRAK

*Banjir merupakan salah satu bencana alam yang mempunyai dampak besar bagi kelangsungan hidup manusia. Permasalahan banjir yang terjadi di Kabupaten Grobogan antara lain disebabkan karena meluapnya salah satu sungai yaitu Sungai Lusi. Sungai Lusi memiliki panjang sekitar 161,13 km yang mengalir dari Bulu Kabupaten Rembang hingga bertemu dengan Kali Serang di Penawangan Kabupaten Grobogan. Debit banjir rencana yang digunakan dalam menganalisis penampang menggunakan periode ulang 25 tahunan  $Q_{25} = 900 \text{ m}^3/\text{dt}$ . Analisis penampang eksisting dan penampang rencana dilakukan menggunakan software HEC-RAS. Output dari software HEC-RAS\*\* menunjukkan terpenuhi atau tidaknya debit banjir pada penampang sungai. Permasalahan banjir di Sungai Lusi diatasi dengan berbagai cara, yaitu dengan perbaikan penampang, perencanaan tanggul, peninggian tanggul eksisting, perencanaan parapet beton dan perkuatan lereng atau tebing yang rawan terhadap longsor. Perencanaan teknis keseluruhan dengan perkiraan nilai biaya konstruksi Rp. 82.995.060.000,00. (delapan puluh dua milyar sembilan ratus sembilan puluh lima juta enam puluh ribu rupiah) dengan durasi pekerjaan selama 25 minggu.*

**kata kunci :** *banjir, perbaikan penampang Sungai Lusi, tanggul, perkuatan lereng dan parapet beton.*

### ABSTRACT

*Flooding is one of the natural disasters that have a major impact on human survival. Flooding problems that occur in Grobogan partly due to the overflow of the river is one of the Lusi River. Lusi River has a length of 161,13 km flowing from Bulu Rembang to meet with Serang River in Penawangan Grobogan. Flood discharge plan used in analyzing cross-section using a return period of 25 years  $Q_{25} = 900 \text{ m}^3/\text{sec}$ . A cross-sectional analysis of existing and planned performed using HEC-RAS software. The output of the HEC-RAS\*\* software indicate whether or not fulfilled at the cross-river flood discharge. Lusi River flooding problems addressed in various ways, namely the improvement of cross-section, planning dikes, raising the existing levees, concrete parapet planning and strengthening slopes or cliffs are prone to landslides. Overall technical planning with an estimated value of construction costs Rp. 82,995,060,000.00. (eighty-two billion nine*

---

<sup>\*)</sup> Penulis Penanggung Jawab

*hundred and ninety-five million six hundred thousand dollars) with the duration of work for 25 weeks.*

**keywords:** *flood, repair cross-section of the Lusi River, embankments, slope reinforcement and concrete parapet.*

## **PENDAHULUAN**

Banjir sudah menjadi masalah klasik di Kabupaten Grobogan. Hampir setiap musim penghujan tiba, luapan air Sungai Lusi senantiasa menggenangi beberapa kawasan, terutama daerah sekitar Kabupaten Grobogan. Dengan kondisi ini, banjir yang terjadi akan cukup mengganggu aktivitas kehidupan yang ada. Serta menyebabkan kerugian materi bagi penduduk. Sebab genangan banjir akibat hujan lokal yang menyebabkan banjir tahunan memiliki waktu genangan 4-7 hari, akibatnya aktifitas ekonomi pun terganggu. Untuk menghindari hal tersebut diperlukan perbaikan dan pemeliharaan sungai, sehingga dapat mendayagunakan sungai sebagai alur pembuangan secara efisien.

Banjir di Sungai Lusi seringkali terjadi karena debit banjir lebih besar dari daya tampungnya. Secara umum tampungan berkurang karena adanya sedimentasi fluvial pada dasar sungai yang mengakibatkan tampungan menjadi kecil, sehingga air banjir akhirnya melimpas. Ada juga banjir yang disebabkan oleh debitnya yang bertambah besar, tanpa adanya sedimentasi pun tetap akan terjadi banjir.

Maksud dari perencanaan tanggul banjir Sungai Lusi hilir ini adalah untuk mengurangi genangan air didaerah yang terjadi luapan banjir pada alur Sungai Lusi, sehingga kerugian akibat banjir dapat berkurang.

Tujuannya adalah untuk meningkatkan kapasitas pada Sungai Lusi, agar tidak terjadi luapan. Peningkatan kapasitas Sungai Lusi dilakukan dengan berbagai cara, yaitu dengan perbaikan penampang, perencanaan tanggul, peninggian tanggul eksisting, perencanaan parapet beton dan perkuatan lereng atau tebing yang rawan terhadap longsor.

Ruang lingkup permasalahan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Mengadakan evaluasi terhadap kapasitas *existing* sungai bagian hilir yang ada saat ini dan membandingkannya dengan debit rencana yang diperoleh dari analisis hidrologi pada daerah tangkapan.
- Menitikberatkan pada perencanaan tanggul banjir dari segi teknis berdasarkan data-data yang ada.
- Menghitung analisis harga satuan dan biaya pekerjaan (RAB).

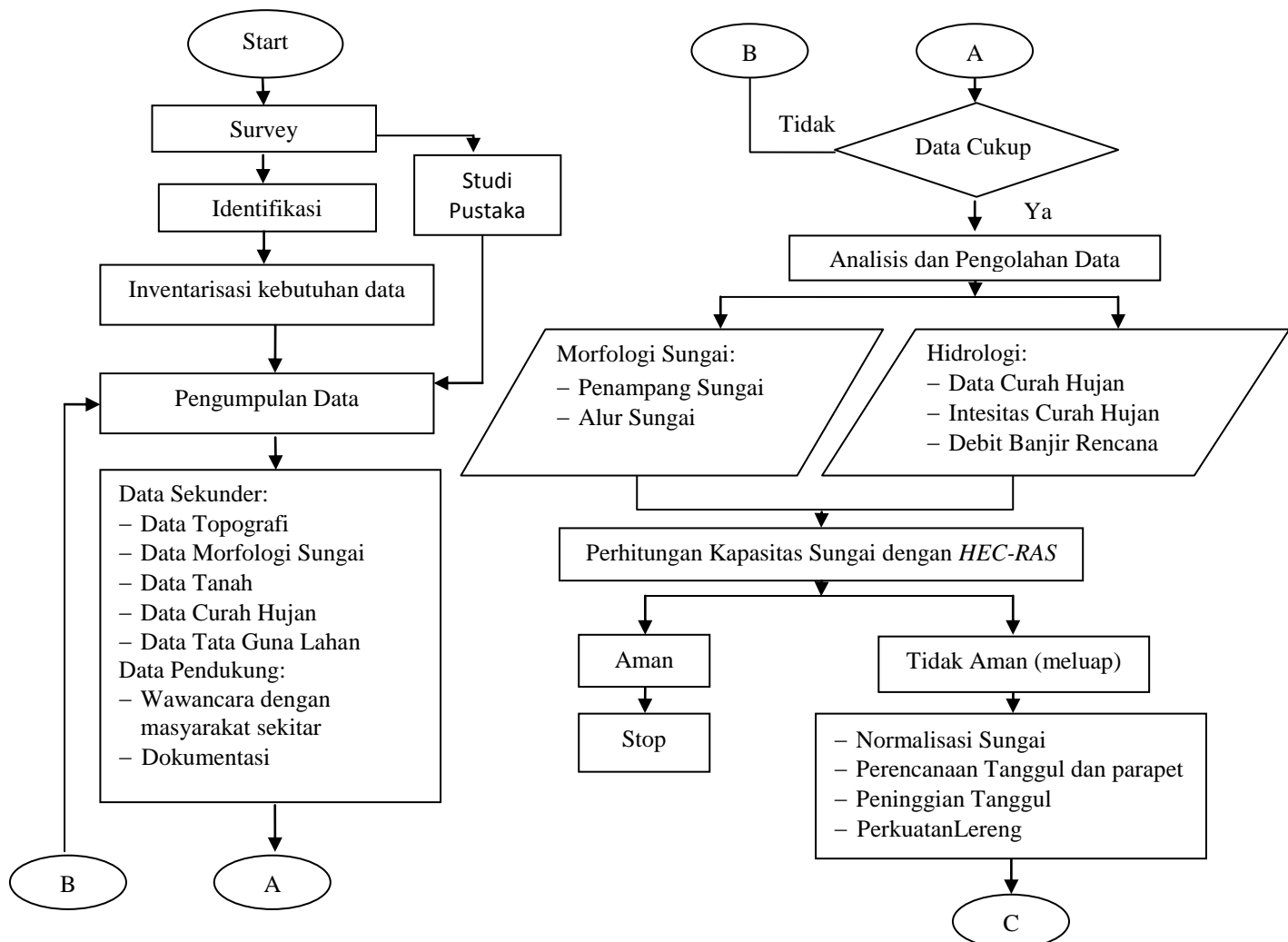
## **TINJAUAN PUSTAKA**

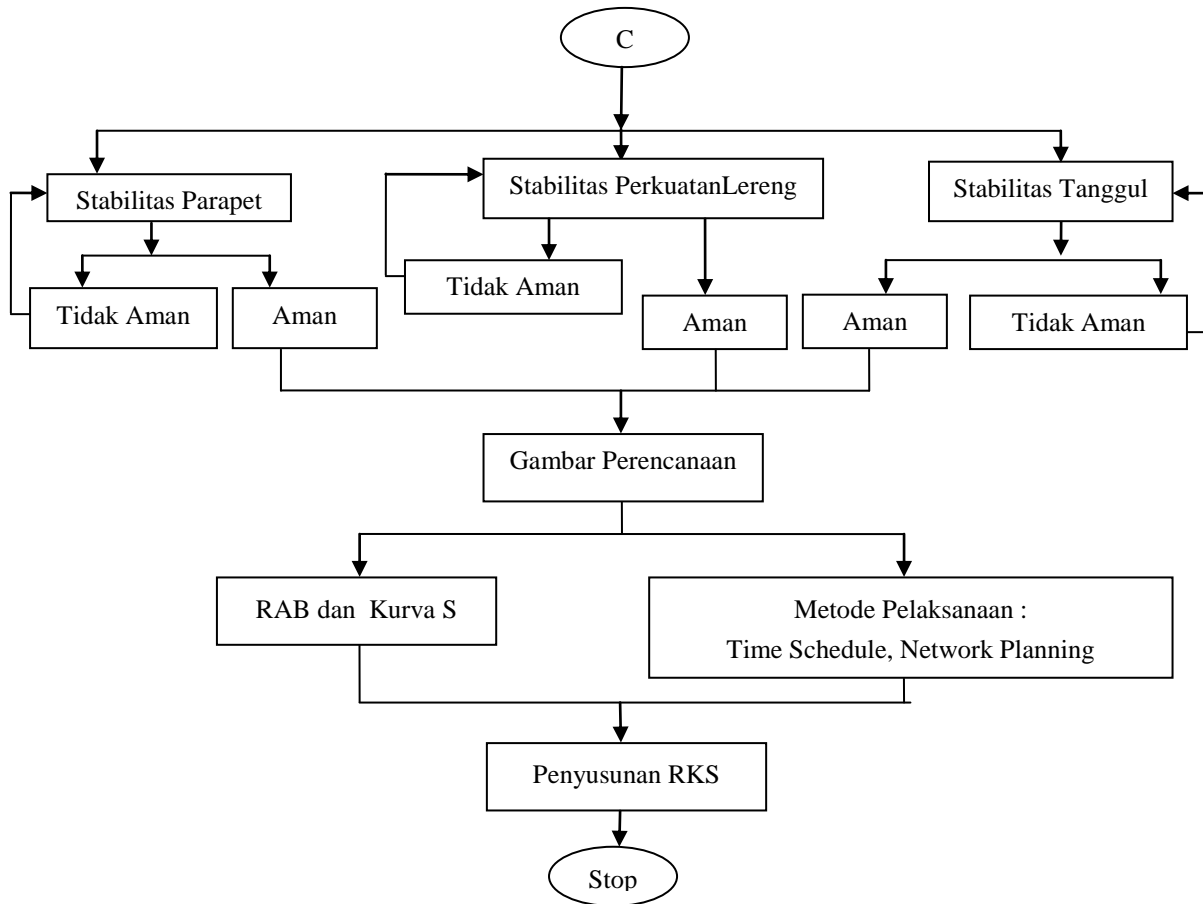
Pengendalian banjir merupakan bagian dari pengelolaan sumber daya air yang lebih spesifik untuk mengendalikan debit banjir, umumnya melalui dam-dam pengendali banjir atau peningkatan system pembawa (sungai dan drainase) dan pencegahan hal-hal yang berpotensi merusak dengan cara mengelola tata guna lahan dan daerah banjir. (*Kodoatie dan Sjarief Roestam, 2005*) Pengendalian banjir terdiri dari dua metode yaitu metode Struktur dan metode Non Struktur. Contoh alternatif metode Struktur adalah normalisasi

alur sungai dan tanggul, pembuatan sudetan, lapisan pelindung lereng. Untuk merencanakan perbaikan penampang sungai dan tanggul pertama-tama dibutuhkan data curah hujan dari stasiun yang telah ditentukan, biasanya terletak dekat dengan DAS yang ada. Data curah hujan tersebut kemudian dianalisis menggunakan metode statistik untuk menentukan jenis sebarannya (CD. Soemarto, 1999). Jenis sebaran tersebut kemudian digunakan untuk menentukan besarnya curah hujan berdasarkan masing-masing periode ulang. Setelah itu dilakukan uji keselarasan sebaran dengan *Chi-Kuadrat* dan *Smirnov-Kolmogorov* apakah hasil sebaran bisa diterima atau tidak. Curah hujan kemudian dihitung intensitas hujannya dengan menggunakan metode *Dr. Mononobe* yang merupakan sebuah variasi dari rumus-rumus curah hujan jangka pendek. Analisis perhitungan debit banjir rencana dihitung dengan menggunakan Metode *Melchior*, Metode *FSR Jawa-Sumatera*, Metode *Flood Marking* dan Metode *Passing Capacity*. Metode yang digunakan adalah metode yang memenuhi syarat untuk menghitung debit dengan luas DAS 2093,24 m<sup>2</sup>. Selanjutnya dapat dievaluasi penampang Sungai Lusi yang memerlukan perbaikan, berupa perbaikan penampang, perencanaan tanggul, peninggian tanggul eksisting, perkuatan lereng dan parapet beton.

### METODOLOGI

Dalam penulisan diperlukan adanya suatu metode yang menjelaskan tahapan-tahapan proses dari awal hingga akhir, dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut.





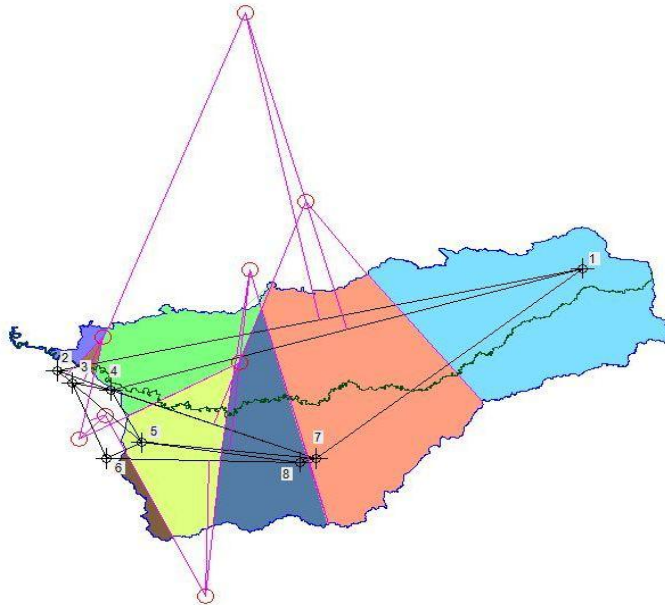
Gambar 1. Bagan Alir Metodologi

### ANALISIS HIDROLOGI

Analisis data hidrologi dibutuhkan sebagai dasar perhitungan untuk menentukan curah hujan yang terjadi di suatu wilayah berdasarkan periode ulang yang diinginkan. Besarnya curah hujan rata-rata daerah dihitung dengan metode *Thiessen*, menghasilkan nilai yang lebih teliti jika dibandingkan dengan metode rata-rata aljabar, karena turut memperhitungkan luas daerah pengaruh dari tiap-tiap stasiun yang digunakan. Stasiun hujan dan koefisien *Thiessen* dilihat pada Tabel 1, sedangkan luas pengaruh tiap stasiun dilihat pada Gambar 2 sebagai berikut.

Tabel 1. Stasiun Hujan yang Digunakan dan Koefisien *Thiessen* Tiap Stasiun

No.	No Sta	Nama Stasiun	Luas DPS (km <sup>2</sup> )	Koef. Thiessen	%
1	R006B	Tempuran	640,19	0,306	30,58
2	SE 198	Wolo	19,05	0,009	0,91
3	SE 199	Gending	8,27	0,004	0,39
4	SE 204	Purwodadi	226,76	0,108	10,83
5	SE205A	Sanggeh	243,41	0,116	11,63
6	SE205B	Semen	21,97	0,010	1,05
7	SE216	Nglangon	652,30	0,312	31,16
8	SE217A	Butak	281,29	0,134	13,44
Total Luas DPS			2093,24	1,000	100,00



Tabel 2. Hujan Maksimum Rata-rata

Tahun	Hujan Max Harian Rata-rata (mm)
1998	77
1999	73
2000	76
2001	78
2002	71
2003	26
2004	39
2005	64
2006	57
2007	122
2008	56
2009	67
2010	67
2011	52
2012	69

Gambar 2. Luas Pengaruh Tiap Stasiun Metode Poligon Thiessen

Setelah didapat koefisien *Thiessen*, dihitung curah hujan maksimum harian rata-rata pada Tabel 2 di atas. Dari hasil perhitungan curah hujan rata-rata maksimum dengan metode Poligon *Thiessen* di atas perlu ditentukan kemungkinan terulangnya curah hujan maksimum guna menentukan debit banjir, maka dilakukan analisis sebaran dengan metode statistik. Terdapat 4 distribusi dalam perhitungan parameter statistic curah hujan yaitu Distribusi Normal, Gumbel, Log Normal dan Log pearson III. Dari hasil analisis didapat bahwa parameter statistik yang memenuhi syarat yaitu *Log-Pearson* Tipe III. Setelah itu dilakukan uji keselarasan sebaran dengan *Chi-Kuadrat* dan *Smirnov-Kolmogorov* apakah hasil sebaran bisa diterima atau tidak. Dari uji kecocokan sebaran tersebut, kedua distribusi dapat diterima. Diambil paling men-dekati adalah Metode *Log-Pearson* Tipe III dengan nilai  $C_s = -0.9$ , mendekati persyaratan  $C_s \neq 0$ . Untuk perhitungan selanjutnya menggunakan metode *Log-Pearson* Tipe III. Analisis perhitungan debit banjir rencana dihitung dengan menggunakan Metode *Melchior*, Metode FSR Jawa-Sumatera, Metode *Flood Marking* dan Metode *Passing Capacity*. Metode yang digunakan adalah metode yang memenuhi syarat untuk menghitung debit dengan luas DAS 2093,24 m<sup>2</sup>. Rekapitulasi hasil debit banjir rencana disajikan pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Rekapitulasi Debit Banjir Rencana

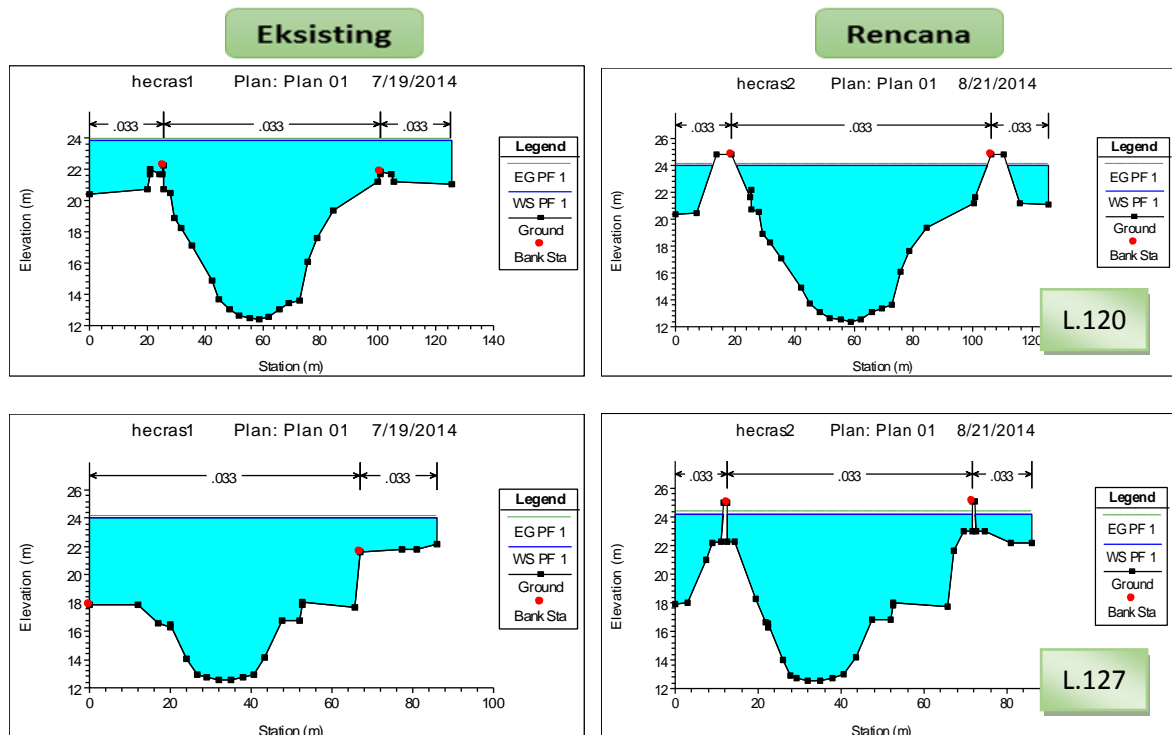
Periode Ulang (tahun)	<i>Melchior</i> (m <sup>3</sup> /dt)	FSR Jawa-Sumatera (m <sup>3</sup> /dt)	<i>Flood Markin</i> (m <sup>3</sup> /dt)g	<i>Passing Capacity</i> (m <sup>3</sup> /dt)
2	483,837	515,866		
5	706,852	628,711		
10	890,534	736,183		
25	1170,292	892,018	875	667
50	1416,808	1047,852		
100	1699,733	1219,807		

Dari beberapa metode di atas dipilih debit banjir yang mendekati dengan metode *Flood Marking*, yaitu metode FSR Jawa-Sumatera pada periode ulang 25 tahun ( $Q_{25}$ ) sebesar 892,018 m<sup>3</sup>/dtk. Maka untuk perencanaan, digunakan debit banjir rencana sebesar 900

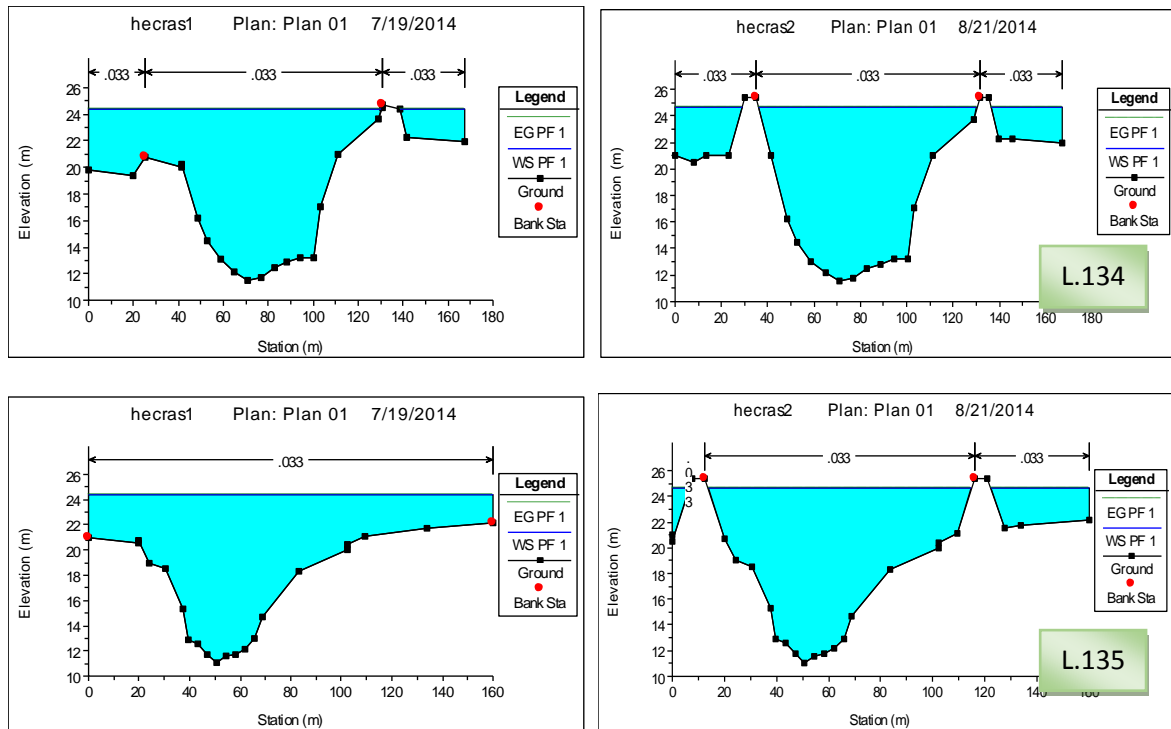
$m^3/dtk$ , didapat dari hasil pembulatan debit banjir metode FSR Jawa-Sumatera pada periode ulang 25 tahun ( $Q_{25}$ ).

### ANALISIS HIDROLIKA

Analisis hidrolika bertujuan untuk mengetahui kemampuan penampang dalam menampung debit banjir rencana. Setelah dilakukan running program *HEC-RAS* dengan debit rencana  $900 m^3/dt$  ternyata penampang eksisting sungai tidak dapat menampung debit banjir yang ada, maka direncanakan perbaikan sungai. Adapun perbaikan sungai yang dilakukan dengan perbaikan alur yang mengalami luapan. Dari hasil *running* hanya satu penampang yang mampu menampung air, yaitu Sta 105+9 pada lokasi Jembatan Besi. Sedangkan penampang lain memerlukan penanganan dengan cara memperbaiki tanggul, merencanakan tanggul baru, merencanakan parapet beton dan perkuatan pada lereng. Pada penampang yang memiliki sedimentasi tinggi memerlukan penanganan dengan cara normalisasi. Penampang yang memerlukan normalisasi yaitu Sta L101, Sta L113, Sta L126 dan Sta L127. Namun, setelah normalisasi dan di *running* menggunakan program *HEC-RAS*, pengaruh penurunan muka air banjir sangat sedikit yaitu kurang dari 20 cm. Sehingga normalisasi tidak dijadikan sebagai salah satu perbaikan penampang Sungai Lusi. Penampang Sungai Lusi diperbaiki dengan enam jenis perbaikan penampang melintang. *Output HEC-RAS* dan kondisi *eksisting* dapat dilihat pada Gambar 3. Yang ditampilkan hanya pada Sta 120, Sta 127, Sta 134 dan Sta 135. Sedangkan untuk jenis perbaikan seluruh Sta dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini.



Gambar 3. Kondisi *Eksisting* dan Perbaikan Penampang Sta 120, Sta 127, Sta 134 dan Sta135.



Gambar 3. Kondisi Eksisting dan Perbaikan Penampang Sta 120, Sta 127, Sta 134 dan Sta135. (lanjutan)

Tabel 4. Jenis Perbaikan Penampang Melintang Sungai Lusi

No	Penampang Eksisting	Jenis Perbaikan	Sta	Rencana Penampang Melintang
1	Tidak memiliki tanggul	Merencanakan tanggul	L57, L66, L67, L74, L83, L100, L102, L104, L105, L106, L125, L128, L130, L131, L135	
2	Memiliki tanggul di sisi kanan	Meninggikan tanggul disisi kanan dan merencanakan tanggul di sisi kiri	L70, L134	
3	Memiliki tanggul di sisi kiri	Meninggikan tanggul disisi kiri dan merencanakan tanggul di sisi kanan	L59, L61, L62, L65, L71, L72, L73, L75, L79, L80, L81, L82, L84, L85, L86, L87, L88, L89, L90, L92, L93, L94, L95, L96, L97, L98, L99, L107, L110, L111, L112, L114, L116	
4	Memiliki tanggul disisi kanan dan kiri	Meninggikan tanggul disisi kanan dan kiri	L58, L60, L63, L64, L68, L69, L76, L77, L78, L91, L115, L117, L118, L120	

Tabel 4. Jenis Perbaikan Penampang Melintang Sungai Lusi (lanjutan)

5	Dekat dengan rumah warga dan jalan lingkungan	Merencanakan parapet beton	L101, L108, L103, L113, L122, L123, L124, L126, L127, L132, L133	
6	Terdapat perkuatan lereng eksisting	Merencanakan tanggul dan memperbaiki perkuatan lereng	L119, L120, L121	

**PERENCANAAN TEKNIS**

**Stabilitas Dasar Sungai**

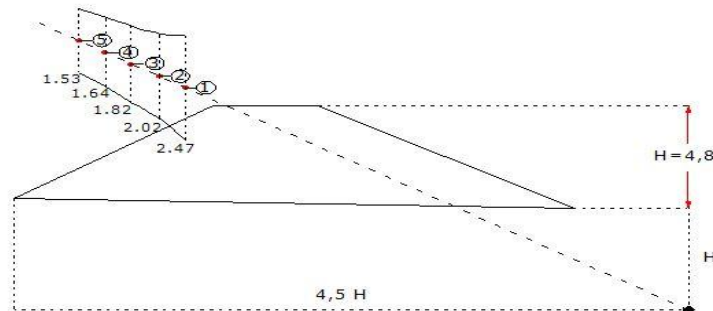
Perhitungan stabilitas dasar sungai diambil pada titik penampang paling kritis yaitu pada Sta L135. Dari data pengujian ukuran butiran (*Grand Size*) diketahui ukuran butiran dasar sungai sebesar 2,66 mm. Dengan menggunakan Grafik *Shield* didapatkan  $\tau_{cr,b} = 1,8 \text{ N/m}^2$ . Nilai gaya geser kritis digunakan untuk perhitungan kemiringan dasar alur sungai sehingga didapat kemiringan alur sungai (*I<sub>b</sub>*) sebesar 0,001295. Setelah didapat kemiringan alur maka kecepatan kritis dasar sungai (*V<sub>cr,b</sub>*) dapat di tentukan yaitu sebesar 5,57 m/s. Nilai terbesar kecepatan aliran (*V*) pada Sungai Lusi hasil perhitungan *HEC-RAS* yaitu sebesar 2,04 m/s.

**Stabilitas Lereng**

Perhitungan diambil pada penampang yang paling kritis yaitu L135 dan L125. Stabilitas lereng dihitung pada kondisi *after construction*, muka air banjir dan *sudden drawdown*. Titik ①, ②, ③, ④ dan ⑤ pada Gambar 4 adalah titik pusat busur lingkaran Fellenius. Angka keamanan dapat dilihat pada Tabel 5 dan diplot pada Gambar 4 di bawah ini.

Tabel 5. Angka Keamanan Stabilitas Lereng

Kondisi	Angka Keamanan L.135	Angka Keamanan L.125
<i>After Construction</i>	Titik ①, FS = 2,47	Titik ②, FS = 2,53
Muka air banjir	Titik ①, FS = 3,16	Titik ①, FS = 2,24
<i>Sudden Draw Down</i>	-	Titik ①, FS = 1,54

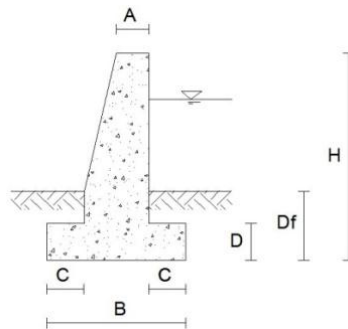


Gambar 4. Contoh Plotting Angka Keamanan L135 Kondisi *After Construction*



### Parapet Beton

Dimensi dan hasil perhitungan parapet beton dapat dilihat pada Gambar 5 dan Tabel 6.



Gambar 5. Dimensi Penampang Parapet Beton

Keterangan :

H : Tinggi parapet beton, didapat dari kebutuhan elevasi rencana (m)

A : 0,167 H sampai dengan 0,0834 H (m)

B : 0,5 H sampai dengan 0,7 H (m)

D : 0,167 H sampai dengan 0,125 H (m)

C : 0,5 D sampai dengan D (m)

Df : Disesuaikan dengan kondisi setempat (m)

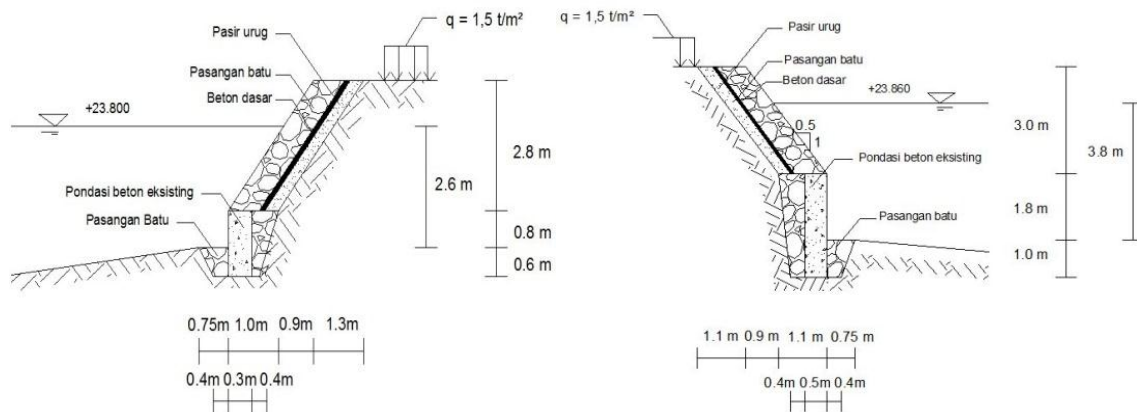
Tabel 6. Hasil Perhitungan Dimensi Parapet Beton

Sta	H	A	B	C	D	Df
L.101 sisi kanan	3	0.5	2	0.5	0.5	1.25
L.103 sisi kanan	3	0.5	2	0.5	0.5	1.25
L.108 sisi kiri	3	0.5	2	0.5	0.5	1.25
L.113 sisi kanan	3	0.5	2	0.5	0.5	1.25
L.122 sisi kiri	3	0.5	2	0.5	0.5	1.25
L.123 sisi kanan	3	0.5	2	0.5	0.5	1.25
L.124 sisi kiri	3	0.5	2	0.5	0.5	1.25
L.126 sisi kanan	4.5	0.7	3	0.8	0.8	1.75
L.127 sisi kiri	4.5	0.7	3	0.8	0.8	1.5
L.127 sisi kanan	3	0.5	2	0.5	0.5	1
L.132 sisi kiri	3	0.5	2	0.5	0.5	1.25
L.133 sisi kiri	3	0.5	2	0.5	0.5	1.25

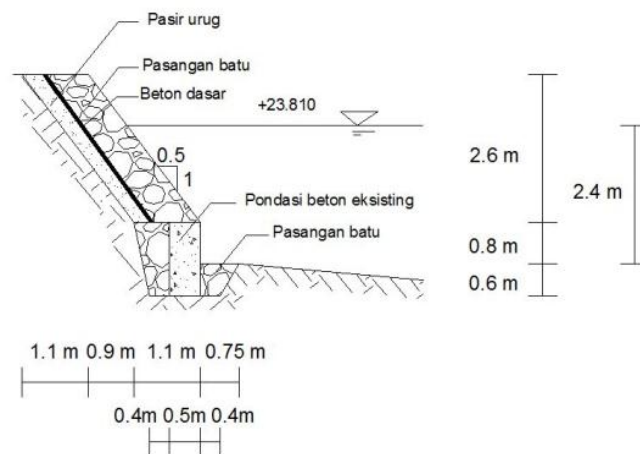
Desain rencana parapet beton tersebut dicek stabilitasnya terhadap geser, guling, daya dukung tanah serta tekanan *uplift*. Hasil perhitungan memenuhi persyaratan stabilitas maka dinyatakan aman.

### Perkuatan Lereng

Berikut ini adalah gambar dimensi penampang perkuatan lereng :



Gambar 6. Rencana Perkuatan Lereng I pada Sta L.119 dan II pada Sta L.121



Gambar 7. Rencana Perkuatan Lereng III pada Sta L.120

Desain rencana perkuatan lereng pada Gambar 6 dan 7 memenuhi persyaratan stabilitas, maka dinyatakan aman terhadap geser dan guling.

### RENCANA ANGGARAN BIAYA

Setelah perencanaan teknis maka dihitung anggaran biaya. Biaya keseluruhan untuk perencanaan tanggul banjir Sungai Lusi adalah sebesar Rp 82.995.060.000,00 (*Delapan Puluh Dua Milyar Sembilan Ratus Sembilan Puluh Lima Juta Enam Puluh Ribu Rupiah*) dengan waktu pekerjaan selama 25 minggu.

### KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dalam perencanaan tanggul banjir Sungai Lusi hilir, adalah sebagai berikut:

1. Debit banjir rencana didapat dari hasil pembulatan debit banjir metode FSR Jawa-Sumatra pada periode ulang 25 tahun ( $Q_{25}$ ) sebesar  $900 \text{ m}^3/\text{dtk}$ .
2. Analisis kondisi eksisting alur Sungai Lusi dengan program *HEC-RAS* menunjukkan bahwa Sungai Lusi tidak mampu menampung debit banjir rencana.
3. Kondisi eksisting alur Sungai Lusi memerlukan perbaikan dengan cara perbaikan tanggul, perencanaan tanggul, perencanaan parapet beton dan perkuatan lereng

4. Biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan Tanggul Banjir Sungai Lusi Hilir adalah sebesar Rp 82.995.060.000,00 (*Delapan Puluh Dua Milyar Sembilan Ratus Sembilan Puluh Lima Juta Enam Puluh Ribu Rupiah*), dengan durasi pekerjaan selama 25 minggu.

## **SARAN**

Berikut saran dari perencanaan tanggul banjir Sungai Lusi hilir:

1. Perlu adanya perbaikan fungsi DAS yang berada di hulu Sungai Lusi sebagai upaya penanganan banjir di hilir Sungai Lusi.
2. Perlu adanya *monitoring* yang terkoordinasi dengan baik dan pemeliharaan yang menerus dalam mengatasi banjir Sungai Lusi tersebut.
3. Partisipasi masyarakat dalam pembinaan, pengendalian dan penanggulangan terhadap banjir secara intensif dan terkoordinasi secara terpadu dengan meningkatkan kesadaran masyarakat misalnya dengan mengadakan penghijauan dan pemeliharaan tata guna lahan yang ada sehingga dapat mengatasi permasalahan banjir di masa mendatang.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Bowles, Joseph E., 1993. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknik Tanah (Mekanika Tanah)*, Erlangga, Jakarta.
- Br., Sri Harto, 1993. *Analisis Hidrologi*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Bradja, M. Das, 1996. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid 2, Erlangga, Jakarta.
- Chow, Ven Te, 1985. *Hidrolika Saluran Terbuka*, Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, Christady, 2007. *Mekanika Tanah II*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hydraulic Reference Manual HEC-RAS version 4.1.0 River, Analysis System, US.*
- Kodoatie, R.J, dan Sjarief, R., 2005. *Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu*, Andi, Yogyakarta.
- Kodoatie, R.J, dan Sugiyanto, 2002. *Banjir (Beberapa Penyebab dan Metode Pengendalian Banjir dalam Perspektif Lingkungan)*, Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Laporan Akhir Studi Pengembangan dan Pengelolaan SDA di Sub DAS Lusi*, April 2013.
- Loebis, Joesron, 1987. *Banjir Rencana untuk Bangunan Air*, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Bandung.
- Maryono, Agus., Nobert Eisenhauer dan W. Muth, 2003. *Hidrolika Terapan*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Soemarto, CD., 1999. *Hidrologi Teknik Edisi Dua*, Erlangga, Jakarta.
- Soewarno, 1995. *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data*, Nova, Bandung.
- Sosrodarsono, Suyono, 1977. *Perbaikan dan Pengaturan Sungai*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Subarkah, Iman, 1980. *Bangunan Air*, Idea Darma, Bandung.
- Suripin, 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Suryolelono, K. Basah, 1993. *Teknik Fondasi bagian 1 Fondasi Telapak dan Dinding Penahan Tanah*, NAPIRI, Yogyakarta.
- Triatmodjo, Bambang, 2009. *Hidrologi Terapan*, Beta Offset, Yogyakarta.