

Penerapan Struktur Parapet dan Tanggul Tanah dalam Pengendalian Banjir Kali Jeroan Hilir di Desa Balerejo, Kab. Madiun, Jawa Timur

Samuel Harjanto^{1*}, Muhammad Arief², Rifki Maulana¹,

Diwi Jelia Fitri³, Fanny Aliza Savitri¹

¹Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo, Kementerian PUPR

²Departemen Geoteknik dan Hidrologi, PT Berau Coal

³Balai Wilayah Sungai Sumatera V, Kementerian PUPR

*samuel.harjanto@pu.go.id;

ABSTRAK

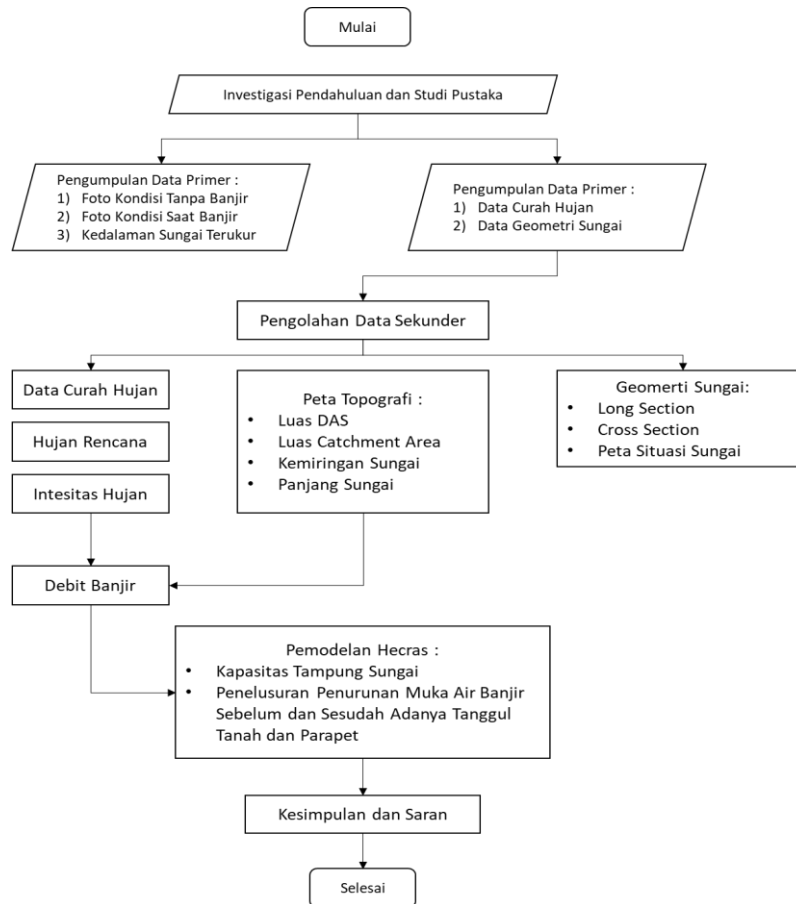
Kali Jeroan merupakan salah satu sungai yang hampir setiap tahunnya terjadi curah hujan yang tinggi sehingga mengakibatkan banjir dan ketidakmampuan sungai mengaliri debit air dari hulu yang begitu besar. Banjir yang menggenangi area pemukiman yang berada di sekitar sempadan sungai setinggi 0,5 – 1,50 m dan menutupi akses jalan antar desa di daerah Balerejo, Kab. Madiun mengakibatkan aktivitas warga menjadi terhenti selama banjir. Akibat dari tata ruang yang berahli fungsi paada daerah hulu serta ilegal dalam pemanfaatan sumber daya alam sehingga regim Kali Jeroan mejadi terpengaruh. Adanya ketidakmampuan penampang sungai kali jeroan adalah salah satu penyebab banjir di beberapa titik pemukiman di daerah Balerejo. Sehingga dilakukan pembangunan infrastruktur pengendalian banjir berupa Parapet dan Tanggul Tanah di beberapa titik meluapnya banjir tersebut. Penelitian bertujuan menganalisis efektifitas pembangunan pencegah banjir terhadap banjir yang dapat dikurangi, yang ditunjukkan dengan penurunan elevasi muka air di Kali Jeroan melalui pemodelan HEC-RAS. Simulasi HEC-RAS menunjukkan hasil untuk kondisi eksisting dengan rencana debit banjir siklus 100 tahun, bahwa muka air banjir meluap dengan ketinggian antara 0,5 m hingga 1,59 m. Setelah dilakukannya peningkatan parapet dan peningkatan tanggul tanah, didapatkan elevasi muka air banjir tidak mengalami *overtopping*, sehingga banjir dapat diantisipasi.

Kata Kunci: Kali Jeroan, Parapet, Banjir, HEC-RAS, Pengendalian Banjir

1. PENDAHULUAN

Banjir dan longsor adalah bencana yang sulit diprediksi, yang terjadi akibat berbagai faktor dari alam dan aktivitas manusia yang berhubungan dengan pemakaian sumber daya alam, yang pada gilirannya mengurangi fungsi hidrologis ekosistem di suatu DAS. Hujan bukan menjadi satu satunya penyebab kebanjiran, melainkan adanya dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Sementara itu, tanah longsor sangat dipengaruhi oleh kerentanannya terhadap gerakan tanah (faktor geologi) dan curah hujan. Oleh karena itu, perlu dilakukan manajemen penanggulangan bencana banjir dan longsor yang mencakup pencegahan, kesiapsiagaan, mitigasi, tanggap darurat, rehabilitasi, dan rekonstruksi.

Salah satu sering terjadinya banjir di Kabupaten Madiun adalah meningkatnya debit air pada saat terjadi hujan sehingga kapasitas sungai tidak mampu menampung dan mengalirkan debit air yang ada. Dalam rangka mengatasi masalah tersebut perlu disusun



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Banjir dan Pengendaliannya

Banjir adalah bencana yang terjadi ketika air menggenang di area dengan dataran yang rendah dan bisa juga disebabkan oleh tingginya curah hujan. Banjir umumnya disebabkan oleh keadaan alam, namun aktivitas orang sekitar juga berperan, seperti pembangunan struktural suatu proyek, dan penyempitan sungai atau saluran drainase di perkotaan. Banjir terjadi saat air meluap karena saluran pembuangan tidak mampu menampungnya atau aliran air terhambat, sehingga menggenangi wilayah di sekitarnya (Suripin, 2004).

Secara garis besar, banjir dipicu oleh dua faktor utama: faktor alam dan aktivitas manusia. Faktor alam mencakup intensitas hujan, karakteristik fisiografi, proses erosi dan sedimentasi, kapasitas sungai, serta dampak pasang surut air laut. Di sisi lain, faktor yang berasal dari aktivitas manusia meliputi perubahan pada daerah aliran sungai, keberadaan permukiman kumuh, dan akumulasi sampah.

Salah satu upaya pengendalian banjir dengan metode non-struktural adalah dengan mengidentifikasi risiko banjir yang disebabkan oleh perubahan penggunaan lahan, seperti konversi kebun menjadi kawasan industri. Tujuan dari pendekatan ini adalah untuk mengelola risiko banjir dan menentukan apakah area tersebut masih aman untuk dijadikan

kawasan industri, serta untuk mengurangi potensi risiko banjir. Sebagai alternatif, penanganan banjir dengan pendekatan struktural dapat dilakukan melalui pembangunan tanggul di sepanjang sungai, yang berfungsi untuk mencegah air sungai meluap ke area daratan. Di sisi lain, masyarakat menerima informasi tentang lokasi-lokasi rawan banjir, sebagai antisipasi apabila terjadi banjir sehingga tidak ada lagi kerugian ataupun korban seperti peristiwa sebelumnya.

Pengendalian banjir dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu metode struktural dan non-struktural. Beberapa contoh metode struktural meliputi normalisasi alur sungai dan tanggul, pembuatan sudetan, pembangunan checkdam, serta pembuatan lapisan pelindung pada lereng.

Analisa Hidrologi

Dalam merancang bangunan untuk pengendalian banjir di suatu sungai, analisis hidrologi menjadi langkah yang sangat krusial. Tujuan dari analisis ini adalah untuk memprediksi kemungkinan kejadian banjir dengan menginterpretasikan data hidrologi yang berasal dari catatan historis (Zahrul Umar, 2021).

Curah hujan rencana merupakan nilai kedalaman hujan yang dijadikan referensi dalam perencanaan infrastruktur air. Data ini diperoleh dari stasiun pengamatan hujan yang memengaruhi Daerah Aliran Sungai (DAS) terkait. Selanjutnya, data tersebut dianalisis secara statistik untuk mengidentifikasi jenis distribusinya (C.D. Soemarto, 1999). Dari jenis distribusi yang telah ditentukan, curah hujan untuk periode ulang tertentu dihitung dan diuji validitasnya menggunakan metode Chi Kuadrat dan Kolmogorov-Smirnov untuk memastikan kesesuaiannya. Selanjutnya, intensitas hujan dihitung dengan metode Mononobe, yang merupakan modifikasi dari formula untuk curah hujan dalam durasi pendek (Loebis, 1987).

Debit banjir rencana dihitung menggunakan metode hidrograf satuan sintetis (HSS) Nakayasu, yang didasarkan pada data curah hujan rencana. Metode ini menghubungkan distribusi curah hujan selama durasi 5 jam untuk berbagai periode ulang, yaitu 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun (Zahrul Umar, 2021).

Pemodelan Genangan dengan Program HECRAS 6.2

HEC-RAS adalah perangkat lunak untuk pemodelan aliran sungai yang dikembangkan oleh Hydrologic Engineering Center (HEC), sebuah divisi dari Institute for Water Resources (IWR) yang berada di bawah US Army Corps of Engineers (USACE). HEC-RAS digunakan untuk pemodelan aliran sungai secara satu dimensi (1D) dan dua dimensi (2D), baik dalam kondisi aliran permanen (steady) maupun non-permanen (unsteady). Versi terbaru, yaitu HEC-RAS 4.1, dirilis pada Januari 2010. Beberapa komponen utama dalam HEC-RAS 2D antara lain:

1. Untuk menghitung profil pada muka aliran dalam kondisi permanen;
2. Untuk simulasi aliran non permanen

3. Untuk menghitung transportasi sedimen
4. Untuk menghitung kualitas pada air

Komponen-komponen ini sangat krusial dalam HEC-RAS, yang mengandalkan data geometri dan prosedur perhitungan hidraulika yang serupa. Setelah perhitungan tinggi muka air selesai, fitur desain dapat diterapkan. HEC-RAS juga dilengkapi dengan antarmuka pengguna grafis (GUI) yang memfasilitasi analisis hidraulik, pengelolaan data, serta penyimpanan data, grafik, dan laporan.

Data yang kemudian dibutuhkan untuk pengolahan permodelan banjir dikawasan ini yaitu data hasil pengukuran di area tersebut dan *boundary condition* hulu dan hilir. Output dari data hasil pengukuran yaitu berupa penampang melintang sungai, profil memanjang sungai serta peta situasi / layout sungai, sedangkan *boundary condition* di hulu adalah hidrograf dan di hilir adalah normal *depth* (normal slope). Data hasil pengukuran lapangan adalah data yang diperlukan untuk permodelan 1 dimensi. Melalui Hec-Ras bisa memunculkan 2 kondisi, yaitu:

1. Hasil dari permodelan Hec-Ras dapat mensimulasi area genangan banjir dengan siklus ulang 25 tahun.
2. Simulasi kedalaman air pada wilayah banjir dengan kala ulang 25 tahun.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a) Perhitungan curah hujan rata-rata dengan Metode Aljabar

Data yang telah dihimpun adalah data hujan maksimum tahunan dari 14 stasiun hujan. Kemudian diambil rerata dari ke semua stasiun hujan tersebut, untuk di analisa hujan rencananya dari rerata hujan yang diperoleh maka diambil data hujan maksimum pada setiap tahunnya sebagaimana yang disajikan berikut.

Tabel 1. Curah Hujan Maksimum Tahunan

No	Tahun	Hujan Maksimum Harian Rata-rata
		(mm)
1	2010	76.140
2	2011	56.140
3	2012	57.000
4	2013	68.140
5	2014	77.860
6	2015	82.710
7	2016	83.710
8	2017	56.140
9	2018	71.710
10	2019	112.860
11	2020	93.000

12	2021	93.710
13	2022	62.000

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2024)

b) Analisis Hidrologi

Berdasarkan data curah hujan guna menghitung debit banjir, analisis terlebih dahulu diperlukan. Analisis statistik distribusi curah hujan harian maksimum adalah analisis yang digunakan. Metode Distribusi Normal, Log Normal, Gumbel, dan Log Pearson Type III adalah metode yang sering digunakan untuk mencari curah hujan rencana. Setelah itu, melakukan uji kesesuaian memakai Metode Chi Kuadrat dan Metode Kolmogorov-Smirnov untuk memastikan apakah hasil perhitungan curah hujan rencana dapat diterima atau tidak.

Tabel 2. Prakiraan Curah Hujan Rencana

No.	Periode Ulang (T)	Curah Hujan Rencana			
		Metode Distribusi Frekuensi			
		Normal	Log Normal	Gumbel	Log Pearson Type III
1	2	76.24	74.55	73.84	71.92
2	5	90.57	89.62	93.23	88.02
3	10	98.08	98.69	106.07	99.99
4	25	105.42	108.44	122.30	116.65
5	50	111.22	116.83	134.34	130.13
6	100	116.00	124.22	146.29	144.56
7	1000	128.97	146.73	185.77	160.14

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2024)

Tabel 3. Rekapitulasi Perhitungan pada Uji Distribusi Probabilitas

Hasil	Uji Chi Kuadrat			
	Normal	Log Normal	Gumbel	Log Pearson Tipe III
Chi-Kuadrat Hitung (χ^2)	0.46	2.00	0.46	2.00
Chi-Kuadrat Kritis (χ^2_{cr})	5.991	5.991	5.991	5.991

Hipotesa	Oke	Oke	Oke	Oke
Uji Smirnov Kolmogorov				
Hasil	Normal	Log Normal	Gumbel	Log Pearson Type III
Smirnov Hitung (ΔP max)	0.11	0.04	-0.03	0.91
Smirnov Kritis (ΔP kritis)	0.338	0.361	0.361	0.361
Hipotesa	Oke	Oke	Oke	Oke

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2024)

Berdasarkan hasil perhitungan uji chi kuadrat dan Kolmogorov-Smirnov, semua distribusi probabilitas dapat diterima karena nilai chi kuadrat hitung dan delta P hitung lebih kecil daripada nilai chi kuadrat kritis dan delta P kritis. Oleh karena itu, distribusi probabilitas yang digunakan untuk curah hujan rencana adalah distribusi Gumbel, karena nilai chi kuadrat hitung dan delta P hitungnya paling kecil.

Tabel 4. Rekapitulasi Curah Hujan Rencana dan Debit Rencana

No	Periode Ulang (tahun)	Curah Hujan (mm)	Debit Rencana (m^3/dt)
1	2	73.84	349.678
2	5	93.23	440.719
3	10	106.07	482.637
4	25	122.30	577.156
5	50	134.34	633.656
6	100	146.29	689.7392

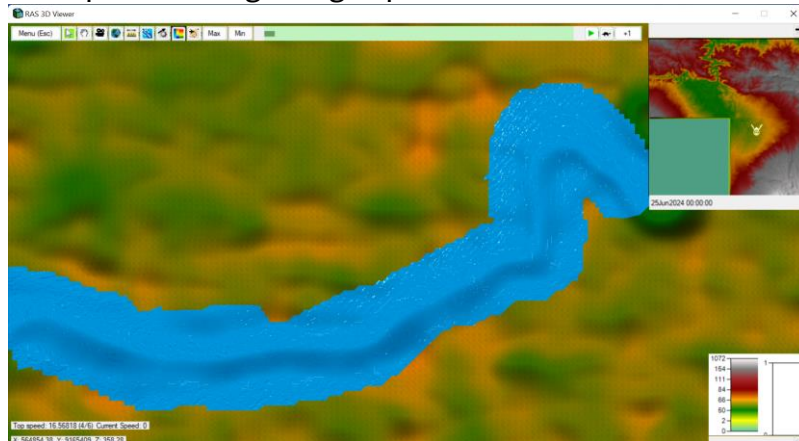
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2024)

Dalam penelitian ini, analisis debit banjir rencana dilakukan menggunakan metode HSS Nakayasu dan metode rasional. Namun, untuk simulasi selanjutnya, debit banjir yang digunakan adalah debit dengan metode HSS Nakayasu, karena nilai Q₂₅ dari metode tersebut lebih mendekati debit banjir yang terukur di lapangan.

c) Pemodelan Genangan dengan HECRAS

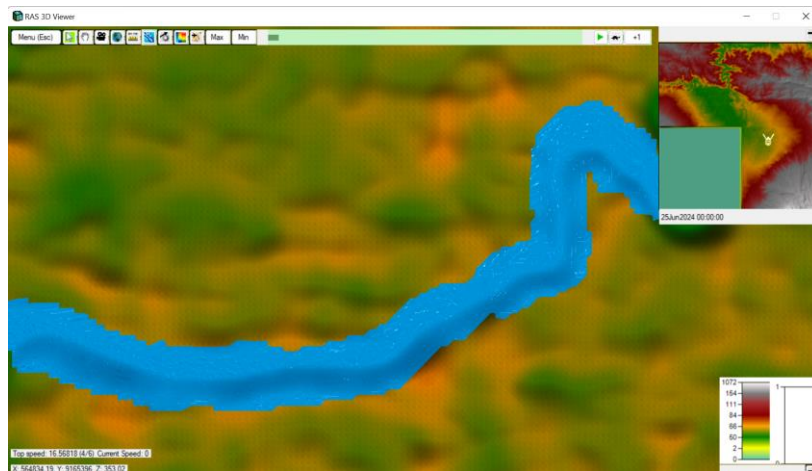
Pemodelan genangan dilakukan menggunakan perangkat lunak Ras Mapper HECRAS 5.0.7. Simulasi yang digunakan adalah analisis aliran tidak stabil (unsteady flow analysis) karena aliran sungai dianggap berubah seiring waktu. Data aliran dimasukkan berdasarkan debit rencana per jam yang dihitung menggunakan metode Nakayasu dengan periode ulang 25 tahun. Pemilihan periode ulang 25 tahun ini didasarkan pada pendekatan genangan banjir dengan kondisi saat ini.

Geometri sungai juga menjadi pertimbangan dalam permodelan ini, yang telah tersedia dalam peta kontur yang dimasukkan pada awal proses pemodelan. Berikut ini adalah hasil simulasi pemodelan genangan pada Kali Jeroan.



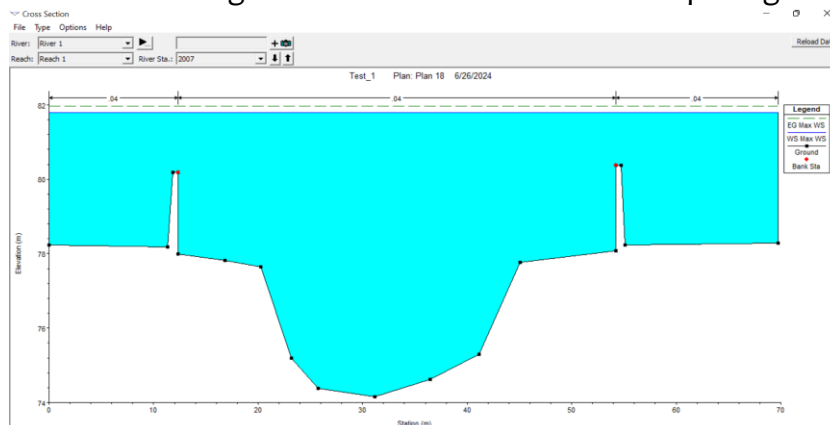
(Sumber : Hasil Running Hec-RAS 6.3.1, 2024)

Gambar 3. Pemodelan Genangan Kali Jeroan pada Kondisi Eksisting



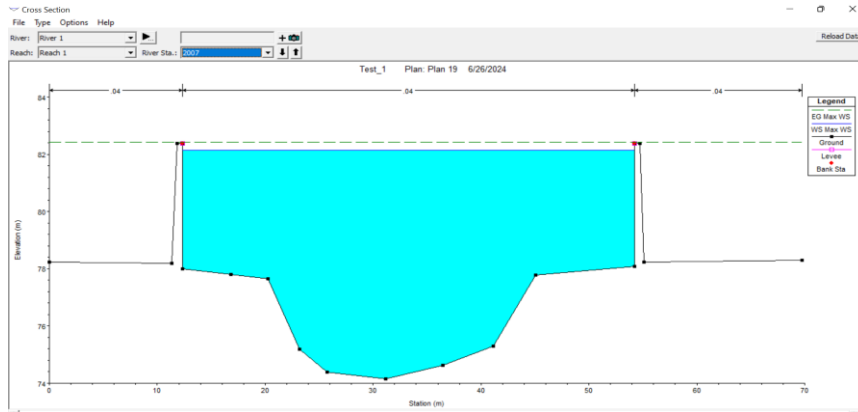
(Sumber : Hasil Running Hec-RAS 6.3.1, 2024)

Gambar 4. Pemodelan Genangan Kali Keroan setelah dilakukan peningkatan tanggul



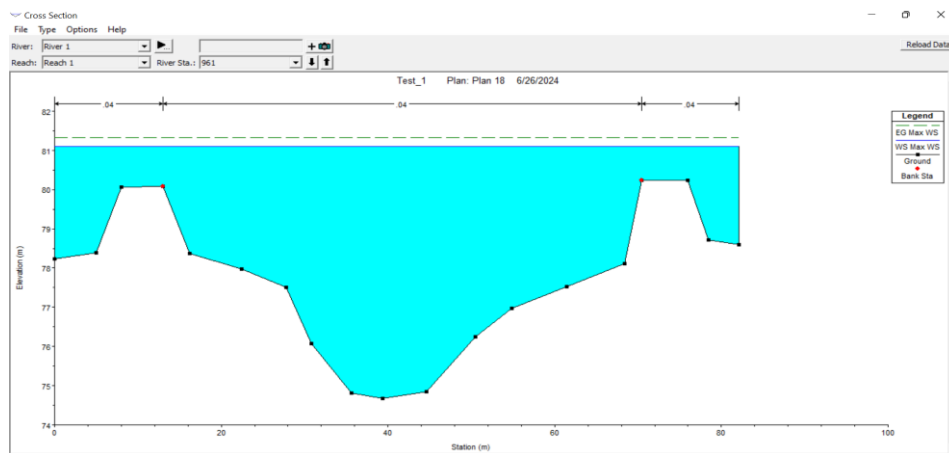
(Sumber : Hasil Running Hec-RAS 6.3.1, 2024)

Gambar 5. Penampang Melintang P.196 Kondisi Eksisting



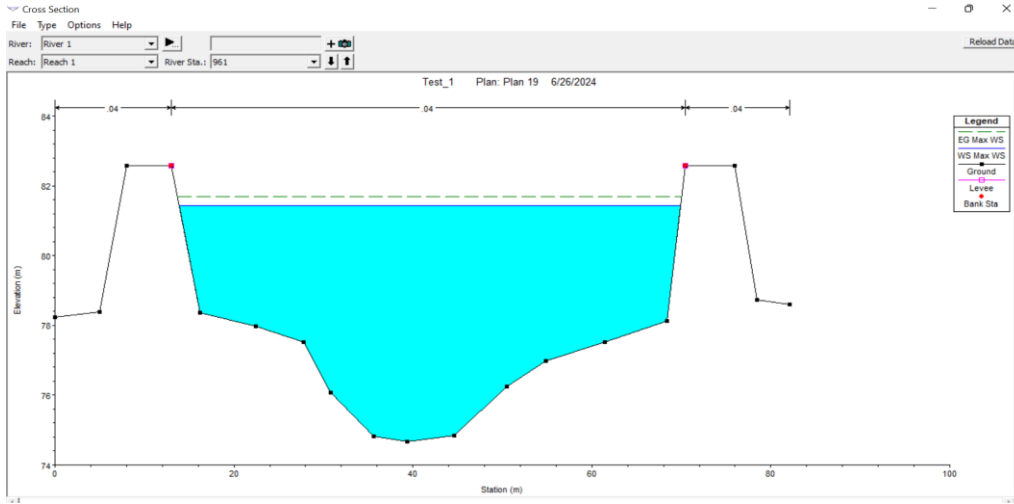
(Sumber : Hasil Running Hec-RAS 6.3.1, 2024)

Gambar 6. Penampang Melintang P.196 Setelah Peningkatan Tanggul



(Sumber : Hasil Running Hec-RAS 6.3.1, 2024)

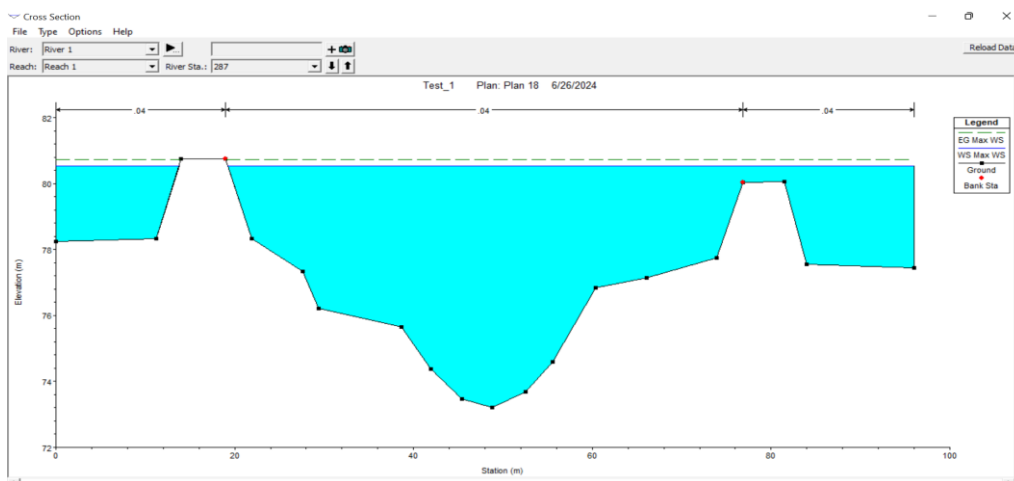
Gambar 7. Penampang Melintang P. 179 Kondisi Eksisting



(Sumber : Hasil

Running Hec-RAS 6.3.1, 2024)

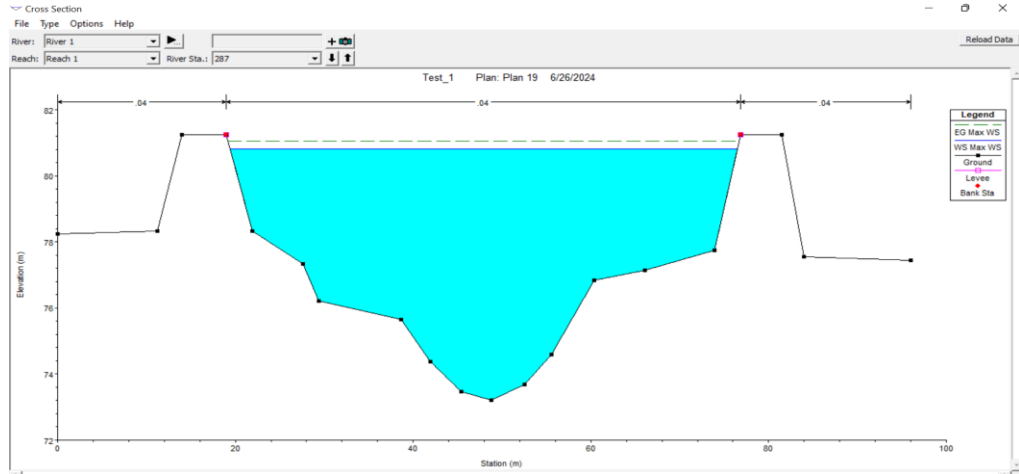
Gambar 8. Penampang Melintang P.179 Setelah Peningkatan Tanggul



(Sumber : Hasil

Running Hec-RAS 6.3.1, 2024)

Gambar 9. Penampang Melintang P.167 Kondisi Eksisting



(Sumber :

Hasil Running Hec-RAS 6.3.1, 2024)

Gambar 10. Penampang Melintang P.167 Setelah Peningkatan Tanggul

Tabel 5. Hasil Simulasi HECRAS

Lokasi	Periode Ulang (tahun)	Q_{25} (m^3/dt)	Kondisi	Elevasi (m)	MAB Meluap (m)	Keterangan
P.196	Q_{25}	577.156	Eksisting	53.216	1.59 m	Banjir
P.196	Q_{25}	577.156	Normalisasi	55.612	-	Aman
P.179	Q_{25}	577.156	Eksisting	54.943	1.00 m	Banjir
P.179	Q_{25}	577.156	Normalisasi	57.280	-	Aman
P.167	Q_{25}	577.156	Eksisting	56.626	0.50 m	Banjir
P.167	Q_{25}	577.156	Normalisasi	57.130	-	Aman

(Sumber : Hasil Perhitungan dan Running Hec-RAS 6.3.1, 2024)

Pada simulasi pemodelan genangan menggunakan HECRAS, titik kontrol ditentukan pada cross P.196, P.179, dan P.167 karena lokasi tersebut berada di sekitar area pemukiman warga. Tujuan dari penentuan titik kontrol ini adalah untuk mengamati reduksi genangan yang terjadi. Hasil simulasi HEC-RAS menunjukkan bahwa pada kondisi eksisting, muka air banjir meluap dengan ketinggian antara 0,50 m hingga 1,59 m untuk debit banjir rencana dengan periode ulang 25 tahun. Dengan dilakukannya peningkatan parapet dan peningkatan tanggul tanah, didapatkan elevasi muka air banjir tidak mengalami *overtopping*, sehingga dapat mengantisipasi banjir yang terjadi.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari analisis adalah:

1. Besarnya hujan rencana Kali Jeroan pada periode $X_2=73.84$ mm $X_5=93.23$ mm, $X_{10}=106.07$ mm $X_{25}=122.30$ mm, $X_{50}=134.34$ mm $X_{100}=146.29$ mm. Hujan rencana ini

didapatkan dari perhitungan Distribusi Probabilitas Log Pearson Tipe III yang telah diuji dengan Metode Chi Kuadrat dan Metode Smirnov Kolmogorof.

2. Besarnya debit banjir rencana Kali Jeroan pada periode $Q_2=349.678 \text{ m}^3/\text{dt}$, $Q_5=440.719 \text{ m}^3/\text{dt}$, $Q_{10}=482.637 \text{ m}^3/\text{dt}$, $Q_{25}=577.156 \text{ m}^3/\text{dt}$, $Q_{50}=633.556 \text{ m}^3/\text{dt}$, $Q_{100}=689.739 \text{ m}^3/\text{dt}$. Didapatkan dari perhitungan metode HSS Nakayasu yang telah disesuaikan dengan debit yang terjadi di lapangan.
3. Ada 2 Alternatif yang dilakukan dalam penanganan banjir di sekitar kali jeroan yaitu peningkatan infrastruktur parapet dan peningkatan tanggul tanah existing
4. Berdasarkan hasil simulasi pemodelan genangan dengan HECRAS, titik kontrol berada di cross P.196, P. 179, dan P. 167 karena pada cross tersebut berada di sekitar rumah warga. Hal ini bertujuan untuk melihat reduksi genangan yang terjadi. Berdasarkan hasil simulasi HEC-RAS yang telah dilakukan, didapatkan muka air banjir meluap setinggi 0.50 m s/d 1.59 m pada kondisi eksisting untuk debit banjir rencana periode ulang 25 tahun. Dengan dilakukannya peningkatan parapet dan peningkatan tanggul tanah, didapatkan elevasi muka air banjir tidak mengalami *overtopping*, sehingga dapat mengantisipasi banjir yang terjadi.

Saran

Peneliti menyarankan berdasarkan hasil yang telah didapat, guna merekomendasi dalam optimalisasi dalam penelitian selanjutnya:

- a. Pemerintah harus melakukan pemeliharaan dan operasi secara rutin supaya bangunan normalisasi sungai bisa berfungsi dengan baik
- b. Agar sarana dan prasarana terjaga dengan baik, masyarakat diharapkan juga ikut menjaga.
- c. Pemerintah diharapkan melakukan restorasi hutan sangat diperlukan guna mengurangi debit banjir.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan nikmatNya hingga saat ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo dan pihak terkait yang telah membantu kami dalam menyelesaikan penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Istiarto, 2014. Simulasi Aliran 1-Dimensi dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika HEC-RAS, Istiarto, Yogyakarta.
- Kamiana, I Made, 2011. Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air, Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Kodoatie, Robert J., 2013. Rekayasa dan Manajemen Banjir Kota Andi, Yogyakarta.

Philip B. Bedient, Wayne C. Huber, and Baxter E, 2012. Hydrology and Floodplain Analysis, Prentice Hall.

Ponce, V.M, 1988. Engineering Hydrology, Principles and Practices, Prentice-Hall, Inc, NJ.

Ray K. Linsley JR., Max A. Kohler, and Joseph L, 1982. Hydrology for Engineers, McGraw-Hill, E & FN Spon.

Sosrodarsono dan Tominaga, Masateru; Penerjemah Gayo, M Yusuf dkk, 1994. Perbaikan dan Pengaturan Sungai, Pradnya Paramita, Jakarta.

Triatmodjo, B, 2006. Hidrologi Terapan, Beta Offset Yogyakarta, Yogyakarta.

Umar, Zahrul. 2021. Perhitungan Debit Banjir Rencana untuk Tanggul Banjir, Bangunan Klep (Pintu Otomatis) dan Bangunan Sungai. Padang: Politeknik Negeri Padang.