

PERENCANAAN NORMALISASI SUNGAI BATANG TUIK DENGAN PEMODELAN HEC-RAS

Arif Maulana Iqbal¹

Universitas Bung Hatta

arifmaulanaiqbal1@gmail.com¹

Zuherna Mizwar²

Universitas Bung Hatta

zuhernamizwar@bunghatta.ac.id²

ABSTRAK

Sungai Batang Tuik di Kecamatan Batang Kapas, Kabupaten Pesisir Selatan mengalami permasalahan banjir berulang yang disebabkan oleh ketidakmampuan penampang sungai menampung debit banjir rencana. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan curah hujan rencana menggunakan data historis 15 tahun (2010-2024), menghitung debit banjir rencana, menganalisis kapasitas penampang sungai, dan merencanakan dimensi normalisasi yang optimal menggunakan pemodelan HEC-RAS 5.0.7. Metodologi penelitian meliputi analisis distribusi probabilitas curah hujan dengan metode Distribusi Normal, Distribusi Log Normal, Distribusi Gumbel, dan Distribusi Log Person III, perhitungan debit banjir menggunakan metode HSS Nakayasu, HSS Snyder, dan Hasper, serta simulasi hidrolik menggunakan HEC-RAS. Hasil penelitian menunjukkan curah hujan rencana periode ulang 50 tahun menggunakan distribusi Gumbel sebesar 208,25 mm, debit banjir rencana Q50 dengan metode HSS Nakayasu sebesar 151,09 m³/detik, kondisi eksisting mengalami limpasan hampir disemua penampang yang dianalisis, dan optimasi desain menggunakan HEC-RAS menghasilkan variasi tinggi penampang yang lebih rasional, mulai dari 2,2 m di STA 0 hingga 5,4 m di STA 9, dengan lebar dasar konsisten 53,6 m dan freeboard 0,6 m.

Kata Kunci: Normalisasi Sungai, HEC-RAS, Pengendalian Banjir, Hidrograf Satuan Sintetik

ABSTRACT

The Batang Tuik River in Batang Kapas District, Pesisir Selatan Regency experiences recurring flooding problems caused by the inability of the river cross-section to accommodate the planned flood discharge. This study aims to determine the planned rainfall using 15 years of historical data (2010-2024), calculate the planned flood discharge, analyze the capacity of the river cross- section, and plan the optimal normalization dimensions using HEC-RAS 5.0.7 modeling. The research methodology includes analysis of rainfall probability distribution using the Normal Distribution, Log Normal Distribution, Gumbel Distribution, and Log Person III Distribution methods, flood discharge calculations using the HSS Nakayasu, HSS Snyder, and Hasper methods, and hydraulic simulation using HEC-RAS. The results of the study showed that the planned rainfall for a 50-year return period using the Gumbel distribution was 208.25 mm, the planned flood discharge Q50 using the Nakayasu HSS method was 151.09 m³/second, the existing conditions

experienced runoff in almost all analyzed cross-sections, and design optimization using HEC-RAS resulted in a more rational variation in cross-section height, starting from 2.2 m at STA 0 to 5.4 m at STA 9, with a consistent base width of 53.6 m and a freeboard of 0.6 m.

Keywords: river normalization, HEC-RAS, flood control, synthetic unit hydrograph.

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan dengan iklim tropis memiliki karakteristik curah hujan tinggi yang bervariasi sepanjang tahun, menyebabkan negara ini rentan terhadap bencana banjir (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2023). Berdasarkan data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), frekuensi bencana banjir di Indonesia mencapai 35%-40% setiap tahunnya. Provinsi Sumatera Barat, khususnya Kabupaten Pesisir Selatan, menjadi salah satu daerah yang sering mengalami banjir akibat kondisi topografi perbukitan dan intensitas hujan yang tinggi (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, 2023).

Kecamatan Batang Kapas merupakan salah satu wilayah di Pesisir Selatan yang mengalami permasalahan banjir kronis, dengan Sungai Batang Tuik sebagai penyebab utama. Data BPBD Kabupaten Pesisir Selatan menunjukkan dalam lima tahun terakhir (2019-2023) telah terjadi 12 kali kejadian banjir dengan intensitas curah hujan bervariasi. Kejadian paling parah terjadi pada Januari 2022 dengan curah hujan 215 mm dalam 20 jam, menyebabkan 156 rumah terendam, 2 jembatan rusak, dan kerugian material mencapai Rp 2,4 miliar.

Permasalahan banjir di Sungai Batang Tuik disebabkan oleh kombinasi faktor hidrologis berupa intensitas curah hujan ekstrem mencapai 180-220 mm/hari dan faktor morfologis berupa penyempitan serta pendangkalan sungai akibat sedimentasi (Suripin, 2014). Kondisi ini mengindikasikan perlunya intervensi teknis melalui normalisasi sungai untuk meningkatkan kapasitas tumpung dan mengurangi risiko banjir (Wigati et al., 2016).

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menentukan curah hujan rencana berdasarkan analisis data historis dengan berbagai metode distribusi probabilitas, (2) menghitung debit banjir rencana menggunakan metode hidrograf satuan sintetik yang sesuai untuk karakteristik DAS Batang Tuik, (3) menganalisis kapasitas penampang sungai eksisting terhadap debit banjir rencana melalui simulasi hidrolik, dan (4) merencanakan dimensi normalisasi sungai yang optimal untuk menampung debit banjir rencana menggunakan pemodelan HEC-RAS.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kombinasi antara kajian pustaka dan analisis data empiris. Adapun tahapan metodologi yang diterapkan meliputi: (1) literature (2) pengumpulan data (3) observasi/pengamatan langsung (4) konsultasi data yang diperlukan.

1. Data Curah Hujan Harian Maksimum

Untuk keperluan normalisasi Batang Tuik, data curah hujan diperoleh dari dua stasiun pengamatan yaitu Stasiun Batang Kapas, dan Stasiun Jalan Balantai, dengan periode pencatatan selama 15 tahun (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, 2023). Penentuan curah hujan daerah menggunakan pendekatan Koefisien Thiessen dengan formula (Suripin, 2014):

$$\alpha = \frac{A_i}{A_n}$$

α	=	Koefiesien Thiessen
A_i	=	Luas Masing-masing Polygon(Km^2)
A_n	=	Luas Total (Km^2)

2. Menghitung Curah Hujan Rencana

Curah hujan rencana didefinisikan sebagai nilai curah hujan tahunan maksimum dengan probabilitas periode ulang tertentu (Chow, 1959). Tujuan analisis ini adalah untuk memproyeksikan kejadian hidrologis di masa mendatang. Perhitungan dilakukan untuk berbagai periode ulang (2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun) menggunakan empat pendekatan distribusi:

a. Distribusi normal

Distribusi yang simetris terhadap sumbu vertikal dengan bentuk lonceng (distribusi Gauss) (Chow, 1959):

$$X_T = \bar{x} + K_T \times S$$

Dimana:

X_T	=	Curah hujan rencana (mm/hari)
\bar{x}	=	Curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari)
S_x	=	Standar deviasi
$= \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2}$		
z	=	Faktor frekuensi (tabel)

b. Distribusi Log Normal

Digunakan ketika nilai variabel acak tidak mengikuti distribusi normal, namun nilai logaritmanya memenuhi distribusi normal (Chow, 1959):

$$X_t = \bar{x} + K_t \cdot S_x$$

Dimana:

X_t	=	Besarnya curah hujan yang mungkin terjadi pada periode ulang T tahun (mm/hari)
\bar{x}	=	Curah hujan rata-rata (mm/hari)
S_x	=	Standar deviasi

$$= \sqrt{\frac{1}{1-n}} \sum (x_1 - \bar{x})^2$$

K_t = Standar variabel untuk periode ulang tahun (tabel)

c. Distribusi Gumbel

Metode yang umum digunakan untuk analisis data maksimum, khususnya untuk analisis frekuensi banjir (Suripin, 2014):

$$X_t = \bar{x} + \frac{(Y_t - Y_n)}{S_n} x \cdot S_x$$

Dimana:

X_t = Curah hujan rencana dalam periode T tahun (mm/hari)

\bar{x} = Curah hujan rata-rata hasil pengamatan (mm/hari)

S_x = Standar deviasi

$$= \sqrt{\frac{1}{1-n}} \sum (x_1 - \bar{x})^2$$

Y_t = Reduced variable, parameter Gumbel untuk periode T tahun

Y_n = Reduced mean

S_n = Reduced standar deviasi, merupakan fungsi dari banyak data (n)

x = Curah hujan maksimum (mm)

S_x = Lama pengamatan

d. Distribusi Log Pearson III

Model matematika yang dikembangkan Pearson untuk membuat persamaan empiris dari suatu distribusi (Chow, 1959):

$$\log \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log(X_i)}{n}$$

Dimana:

$\log \bar{X}$ = Harga rata-rata logaritmik

X_i = Nilai curah hujan tiap-tiap

n = Jumlah data

3. Uji Kesuaian Data

Pemilihan distribusi terbaik menggunakan uji kecocokan atau goodness of fit test (Suripin, 2014). Goodness of fit adalah distribusi frekuensi hujan untuk menguji kecocokan data frekuensi hujan yang diamati. Adapun beberapa metode yang digunakan diantaranya Uji Chi Kuadrat dan Uji Smirnov Kolmogorov (Chow, 1959).

4. Menghitung Debit Banjir Rencana

Analisis debit banjir dilakukan untuk periode ulang 2, 5, 10, 20, 50, dan 100 tahun. Proses perhitungan dimulai dari pengumpulan data hujan dan topografi, kemudian dilanjutkan dengan perhitungan debit menggunakan beberapa metode:

a. Hidrograf Satuan Sintentik Synder

Waktu puncak hidrograf satuan dalam metode Snyder dihitung menggunakan hubungan empiris yang mengintegrasikan karakteristik morfometri DAS (Chow, 1959). Formula dasar yang digunakan adalah:

$$t_p = 0,75 C_t (L \cdot L_c)^{0,3}$$

Dimana:

t_p = Time lag (*jam*)

L = Panjang sungai (Km)

L_c = Panjang sungai dari cek point sampai titik di sungai yang terdekat dengan titik berat daerah pengairan (Km)

C_t = Koefisien antara 1,1 – 1,4

$$Q_p = 2,75 \cdot \frac{C_p}{t_p} A$$

b. Hidrograf Satuan Sintentik Nakayasu

Metode Nakayasu ini dikembangkan oleh Dr. Nakayasu pada tahun 1940 di Jepang (Purbasari et al., 2022). Metode ini merupakan salah satu metode yang sering digunakan pada DAS di Indonesia. Adapun persamaan yang digunakan dalam analisis hidrologi menggunakan metode HSS Nakayasu adalah sebagai berikut:

$$Q_P = \frac{1}{3,6} \left(\frac{A \cdot R_e}{0,3 \cdot T_{P+T_{0,3}}} \right)$$

$$T_P = t_g + 0,8T_P$$

$$t_g = 0,4 + 0,58L \quad \text{untuk } L > 15 \text{ Km}$$

$$t_g = 0,21L^{0,7} \quad \text{untuk } L > 15 \text{ Km}$$

$$T_{0,3} = \alpha \cdot t_g \quad \text{sampai } t_g$$

$$t_r = 0,5t_g$$

Dimana:

- Q_P = Debit puncak banjir (m^3/detik).
 R_e = Hujan satuan (mm).
 T_P = Tenggang waktu dari permukaan hujan sampai puncak banjir (jam).
 t_r = Satuan waktu dari curah hujan (jam).
 t_g = Waktu konsentrasi (jam).
 $T_{0,3}$ = Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari puncak sampai 30% dari debit puncak (jam).
 A = Luas daerah pengaliran sampai outlet (Km^2).
 α = Koefisien karakteristik DAS, biasanya diambil nilai dua (2).
 L = Panjang sungai utama (Km).

c. Hasper

Perhitungan berdasarkan tinggi curah hujan pada titik pengamatan (Umar, 2022):

$$Q_{max} = \alpha \times \beta \times I \times A$$

Dimana:

- Q_{max} = Debit maksimum (m^3/detik)
 α = Koefisien pengaliran
 β = Koefisien reduksi
 I = Intensitas hujan (mm/jam)
 A = Luas daerah pengaliran (Km^2)

5. Menghitung Kapasitas Penampang

Kapasitas tampung saluran mengacu pada debit maksimum yang dapat dialirkan oleh suatu penampang saluran pada kondisi tertentu (Pradnyawati & Putra, 2022).

Dengan menambah luas penampang basah dari pemanfaatan bantaran sungai, maka diperlukan penambahan kapasitas pengaliran pada waktu banjir.

$$Q = A \times V$$

Dimana:

- Q = Debit (m^3 /detik)
- A = Luas penampang saluran (m^2)
- V = Kecepatan aliran (m/detik)

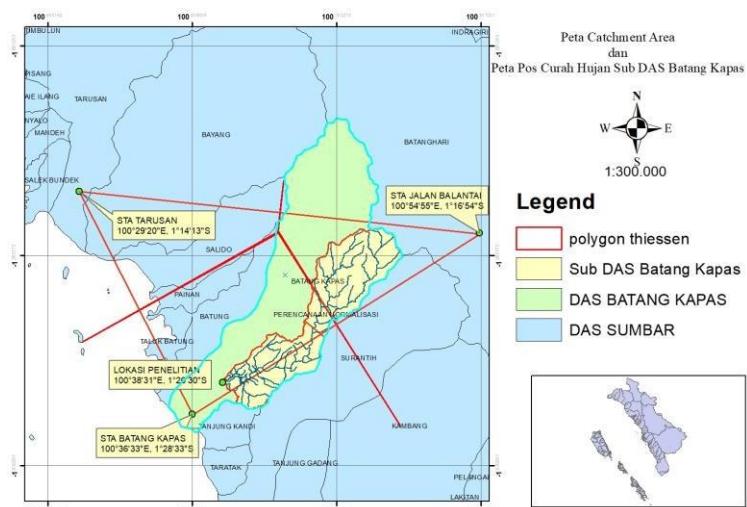
6. Analisa hasil model HEC-RAS

Untuk menganalisis elevasi muka air dan menentukan lokasi luapan sungai, digunakan program HEC-RAS 5.0.7 yang dikembangkan oleh U.S Army Corps of Engineers (Sudirman, 2023). Tahapan pemodelan dengan HEC-RAS meliputi: (1) Inisiasi proyek baru, (2) Input data geometri, (3) Input data aliran dan kondisi batas, (4) Perhitungan hidraulika, (5) Visualisasi dan pencetakan hasil (Yulistiyanto & Rusdi, 2020).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisis Curah Hujan Rencana

Analisis hujan rencana merupakan salah satu tahapan yang sangat penting dalam kajian hidrologi, karena hasil dari perhitungan ini akan menjadi dasar dalam menentukan besarnya debit banjir rencana. Pada penelitian ini, data yang digunakan adalah data curah hujan maksimum harian selama periode pengamatan sepuluh tahun terakhir yang diperoleh dari beberapa stasiun hujan Batang Kapas dan stasiun hujan Jalan Balantai. Data tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan nilai curah hujan rencana dengan menggunakan beberapa pendekatan distribusi probabilitas, yaitu distribusi Normal, Gumbel, Log Normal, dan Log Pearson III.



Gambar 1. Peta Catchment Area

(Sumber: pengolahan data Arc-gis)

Setiap metode distribusi probabilitas memberikan hasil yang berbeda-beda karena memiliki asumsi dasar yang tidak sama dalam menggambarkan karakteristik data

curah hujan. Oleh karena itu, untuk menentukan distribusi mana yang paling sesuai, dilakukan uji kecocokan data menggunakan metode Chi-Kuadrat dan Smirnov-Kolmogorov. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa distribusi Gumbel merupakan distribusi yang paling cocok digunakan pada lokasi penelitian, karena memberikan nilai penyimpangan yang paling kecil dibandingkan dengan nilai kritis yang disyaratkan. Dengan demikian, distribusi Log Pearson III dipilih sebagai acuan dalam penentuan hujan rencana di Sub DAS Batang Tuik.

Tabel 1. Resume Hasil Perhitungan Curah Hujan Rencana

Periode Ulang (Tahun)	Normal (mm)	Gumbel (mm)	Log Normal (mm)	Log Pearson III (mm)
2	89,88	82,67	83,91	81,84
5	119,89	124,36	115,36	114,24
10	135,58	150,57	136,24	138,06
25	152,30	181,14	162,67	170,80
50	163,10	208,25	182,41	197,26
100	172,80	232,68	202,17	225,51

Sumber: Pengolahan data (2025)

Berdasarkan analisis distribusi probabilitas, diperoleh bahwa Gumbel merupakan distribusi yang paling sesuai dengan karakteristik data curah hujan di DAS Batang Tuik. Nilai curah hujan rencana menunjukkan tren peningkatan seiring bertambahnya periode ulang, yaitu mulai dari 82,67 mm pada periode ulang 2 tahun hingga mencapai 232,68 mm pada periode ulang 100 tahun. Hasil ini menjadi dasar penting dalam perhitungan debit banjir rencana serta perencanaan normalisasi Sungai Batang Tuik.

2. Debit Banjir Rencana

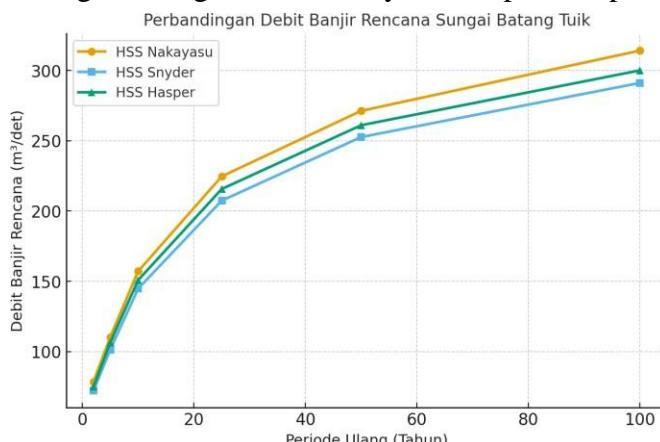
Setelah diperoleh nilai curah hujan rencana pada berbagai periode ulang, tahap berikutnya adalah menghitung debit banjir rencana. Perhitungan dilakukan dengan metode *Hidrograf Satuan Sintetis* (HSS), yaitu HSS Nakayasu, Snyder, dan Hasper. Setiap metode menghasilkan nilai debit yang berbeda, karena memiliki asumsi dasar serta karakteristik respon hidrologi yang tidak sama. Untuk menentukan debit banjir yang paling representatif, ketiga hasil dibandingkan, kemudian dipilih nilai yang paling sesuai dengan kondisi hidrologi dan morfologi Sungai Batang Tuik.

Tabel 2. Rekapitulasi Debit Banjir Rencana Sungai Batang Tuik

Periode Ulang (Tahun)	HSS Nakayasu (m ³ /det)	HSS Snyder (m ³ /det)	Hasper (m ³ /det)
2	61,78	66.29	54.43
5	91,39	98.16	81.88
10	110,00	118.20	99.13
25	131,71	141.57	119.26
50	151,09	166.10	137.11
100	168,32	180.99	153.20

Sumber: Pengolahan data (2025)

Hasil perhitungan debit banjir rencana ditampilkan pada Tabel 2. Terlihat bahwa nilai debit banjir meningkat seiring dengan bertambahnya periode ulang. Pada metode Nakayasu, debit banjir rencana sebesar $61,78 \text{ m}^3/\text{det}$ untuk $T=2$ tahun, kemudian meningkat menjadi $110 \text{ m}^3/\text{det}$ untuk $T=10$ tahun, dan mencapai $151,09 \text{ m}^3/\text{det}$ untuk $T=50$ tahun. Nilai yang dihasilkan metode Nakayasu umumnya sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan metode Snyder maupun Hasper.



Gambar 2. Perbandingan Debit Banjir Rencana Sungai Batang Tuik dengan Metode HSS Nakayasu, Snyder, dan Hasper

Sumber: Pengolahan data (2025)

Berikut grafik Perbandingan Debit Banjir Rencana Sungai Batang Tuik berdasarkan tiga metode HSS (Nakayasu, Snyder, dan Hasper). Grafik ini memperlihatkan tren kenaikan debit seiring bertambahnya periode ulang, dengan metode Nakayasu cenderung menghasilkan nilai tertinggi.

3. Kapasitas Penampang Sungai

Analisis penampang sungai dilakukan untuk mengetahui kapasitas aliran Sungai Batang Tuik dalam menampung debit banjir rencana. Data yang digunakan diperoleh dari hasil survei lapangan berupa pengukuran geometri sungai, antara lain lebar dasar sungai, kedalaman, kemiringan talud, dan kondisi alur sungai. Parameter hidraulika lain seperti koefisien kekasaran Manning (n) serta kemiringan dasar sungai juga diperhitungkan untuk mendukung analisis.

Tabel 3. Ringkasan Analisis Penampang Kapasitas Penampang Sungai Batang Tuik

Parameter	Nilai
Lebar dasar sungai (b)	53,6 m
Kedalaman muka air terukur (h)	3,5 m
Kemiringan talud	1 : 1,5
Manning's n	0,040
Panjang reach	721,4 m
Elevasi hulu	15,754 m
Elevasi hilir	10,8935 m
Kemiringan dasar (S)	0,007486
Luas aliran (A)	205,97 m^2
Jari-jari hidraulis (R)	3,1105 m
Kecepatan aliran (v)	0,3018 m/s

Debit kapasitas (Q)	62,1623 m ³ /s
Debit banjir rencana Q2 (HEC-RAS)	61,78 m ³ /s (genangan)
Debit banjir rencana Q50 (HEC-RAS)	151,09 m ³ /s (genangan)

Sumber: Pengolahan data (2025)

Hasil pengukuran di lapangan menunjukkan bahwa Sungai Batang Tuik memiliki lebar dasar rata-rata sekitar 53,6 m, dengan kedalaman muka air saat survei sebesar 3,5 m. Kemiringan talud penampang tercatat 1 : 1,5, sedangkan nilai koefisien kekasaran Manning yang digunakan adalah 0,040, sesuai dengan kondisi fisik sungai yang relatif bervegetasi. Panjang reach survei yang dianalisis adalah 721,4 m, dengan elevasi hulu sebesar 15,754 m dan elevasi hilir sebesar 10,8935 m, sehingga diperoleh kemiringan dasar saluran rata-rata sebesar 0,007486.

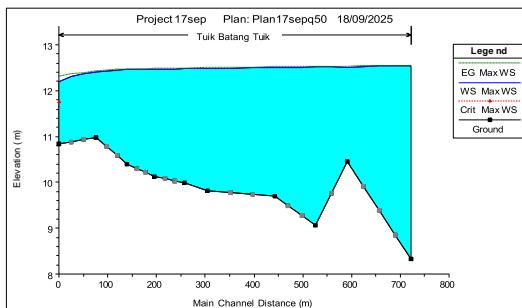
Berdasarkan parameter tersebut, perhitungan hidraulik secara manual dilakukan untuk memperoleh luas aliran (A), keliling basah (P), jari-jari hidraulik (R), kecepatan aliran (v), dan debit kapasitas (Q). Hasil analisis menunjukkan bahwa penampang eksisting memiliki luas basah sebesar 205,97 m², jari-jari hidraulik sebesar 3,1105 m, dengan kecepatan rata-rata aliran 0,3018 m/s, sehingga kapasitas debit penampang sungai mencapai 62,1623 m³/s.

Nilai kapasitas ini jika dibandingkan dengan debit banjir rencana menunjukkan bahwa penampang eksisting hanya mampu menampung debit dengan periode ulang tertentu. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan lebar penampang 53,6 m dengan tinggi penampang 4,8 m dengan tinggi jagaan 0,6 m. Penampang sungai mampu mengalirkan debit dengan periode ulang 50 tahun.

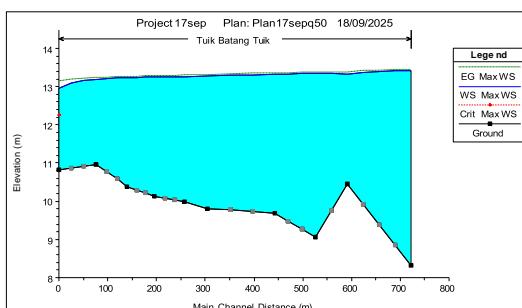
4. Analisa Model HEC-RAS

Pemodelan HEC-RAS versi 5.0.7 dilakukan untuk mengevaluasi kapasitas tumpang Sungai Batang Tuik menggunakan 10 penampang melintang (STA 0 hingga STA 9) dengan panjang reach 721,4 m. Analisis dilakukan untuk debit periode ulang 2 tahun (61,78 m³/detik) dan 50 tahun (151,09 m³/detik) pada kondisi eksisting dan rencana normalisasi.

Simulasi kondisi eksisting menunjukkan ketidakmampuan total penampang sungai dalam menampung debit banjir rencana. Profil longitudinal memperlihatkan bahwa elevasi muka air banjir melampaui tinggi tebing pada hampir seluruh segmen sungai, baik untuk debit Q2 maupun Q50. Pada debit Q2, limpasan terjadi pada penampang 8 dari 10 cross section dengan tinggi genangan bervariasi 1,355 m hingga 4,21 m. Kondisi paling kritis terjadi di STA 9 dengan tinggi genangan 4,21 m akibat elevasi dasar sungai terendah (8,33 m) dan keterbatasan tinggi tangkul. Sementara itu, pada debit Q50, seluruh penampang (100%) mengalami limpasan bilateral dengan tinggi genangan meningkat signifikan menjadi 2,125 m hingga 5,11 m. Peningkatan muka air dari Q2 ke Q50 rata-rata 0,77 m menunjukkan sensitivitas tinggi terhadap peningkatan debit, mengindikasikan karakteristik hidrolik sungai yang responsif terhadap perubahan intensitas curah hujan.

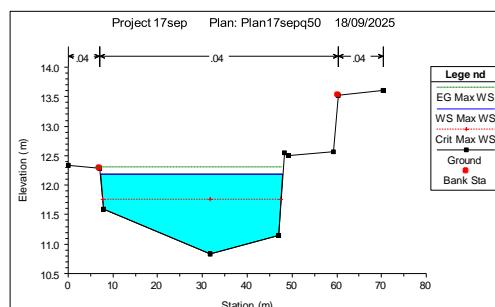
**Gambar 3. Profil Memanjang Kondisi Eksisting Pada Q2**

Sumber: Pengolahan data (2025)

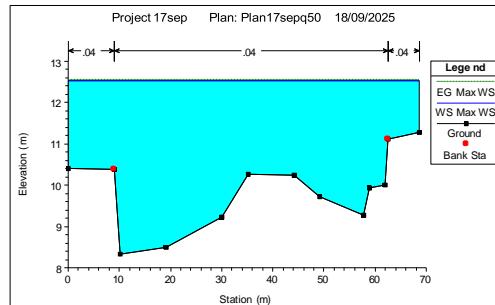
**Gambar 4. Profil Memanjang Kondisi Eksisting Pada Q50**

Sumber: Pengolahan data (2025)

Analisis detail penampang melintang menunjukkan variasi kondisi banjir yang signifikan pada setiap cross section. STA 0 mengalami kondisi kritis dengan tinggi genangan 1,355 m, dimana muka air mencapai 12,19 m mendekati batas tanggul kiri (12,291 m) dan kanan (12,555 m). STA 1 menunjukkan tinggi genangan 1,45 m dengan muka air 12,42 m dan margin keamanan yang minimal. Kondisi semakin memburuk pada STA 2-5 yang mengalami limpasan bilateral dengan genangan 2,07-2,674 m, menunjukkan ketidakcukupan kapasitas penampang secara konsisten. STA 7 mengalami kondisi paling ekstrem dengan genangan 3,463 m akibat elevasi dasar terendah (9,057 m), sementara STA 9 mencatat genangan tertinggi 4,21 m dengan overflow masif pada kedua tebing

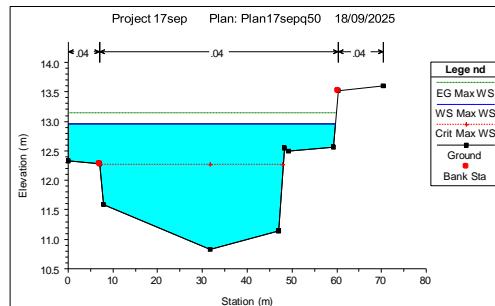
**Gambar 5. Profil Melintang Kondisi Eksisting Pada Q2 STA 0**

Sumber: Pengolahan data (2025)

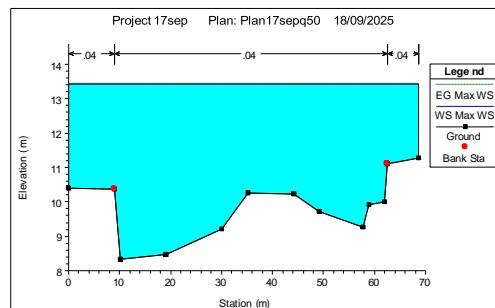
**Gambar 6. Profil Melintang Kondisi Eksisting Pada Q2 STA 9**

Sumber: Pengolahan data (2025)

Peningkatan debit menjadi Q50 (151,09 m³/detik) menyebabkan deteriorasi kondisi secara menyeluruh, dimana seluruh cross section mengalami limpasan bilateral dengan tinggi genangan meningkat 60-70% dibandingkan kondisi Q2. STA 9 mencapai kondisi paling ekstrem dengan genangan 5,11 m dan muka air tertinggi 13,44 m di hilir sungai, mengkonfirmasi karakteristik sungai yang semakin kritis menuju outlet. Kondisi ini memperlihatkan bahwa penampang eksisting tidak hanya gagal menampung debit periode ulang yang lebih tinggi, tetapi juga menunjukkan keterbatasan fundamental dalam desain geometri yang ada. Visualisasi profil melintang pada kondisi Q50 memperlihatkan luapan yang masif dengan sebaran bilateral yang mengancam infrastruktur dan pemukiman di sekitar sungai.

**Gambar 7. Profil Melintang Kondisi Eksisting Pada Q50 STA 0**

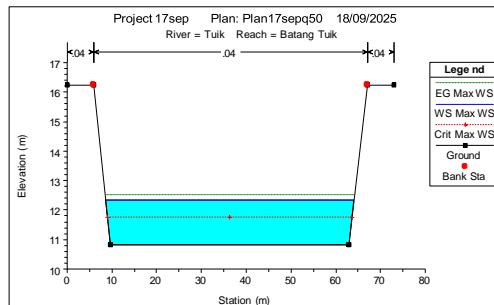
Sumber: Pengolahan data (2025)

**Gambar 8. Profil Melintang Kondisi Eksisting Pada Q50 STA 9**

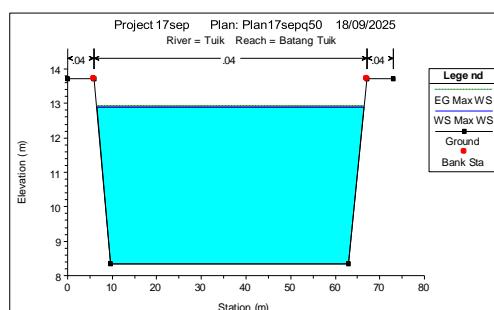
Sumber: Pengolahan data (2025)

Implementasi desain normalisasi memerlukan pendekatan optimasi yang berbeda dari perhitungan manual konvensional. Perhitungan manual yang diterapkan sebelumnya menghasilkan dimensi seragam dengan tinggi penampang 5,4 m

(termasuk freeboard 0,6 m) dan lebar dasar 53,6 m untuk seluruh segmen sungai. Namun, penerapan dimensi uniform ini pada model HEC-RAS menunjukkan ketidakefisienan yang signifikan karena perhitungan manual hanya meninjau kondisi pada STA 9 sebagai titik kritis, sementara kondisi hidrolik bervariasi di setiap cross section dan menyebabkan over-design pada section hulu yang sebenarnya tidak memerlukan dimensi maksimal. Pendekatan ini menghasilkan pemborosan material konstruksi yang tidak ekonomis dan berpotensi menimbulkan dampak lingkungan yang tidak perlu.

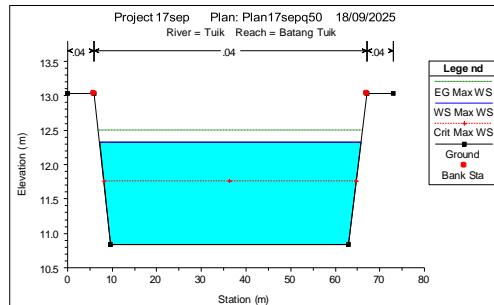


Gambar 9. Profil Melintang Kondisi Setelah Normalisasi
Sumber: Pengolahan data (2025)

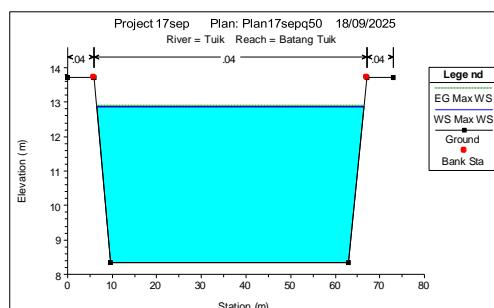


Gambar 10. Profil Melintang Kondisi Setelah Normalisasi
Sumber: Pengolahan data (2025)

Optimasi desain menggunakan HEC-RAS menghasilkan variasi tinggi penampang yang disesuaikan dengan kondisi spesifik setiap lokasi, mulai dari 2,2 m di STA 0 hingga 5,4 m di STA 9, dengan lebar dasar konsisten 53,6 m dan freeboard 0,6 m. Variasi ini disesuaikan dengan kondisi hidrolik spesifik, elevasi dasar eksisting, dan karakteristik aliran di setiap cross section. STA 0 dengan elevasi dasar 10,835 m hanya memerlukan tinggi efektif 1,6 m, sementara STA 9 dengan elevasi dasar terendah 8,33 m memerlukan tinggi efektif maksimal 4,8 m untuk menampung muka air tertinggi. Gradiasi bertahap dari hulu ke hilir ini mencerminkan peningkatan debit akumulatif dan penurunan elevasi natural sungai, menghasilkan profil hidrolik yang optimal tanpa turbulensi berlebihan.

**Gambar 11. Profil Melintang Optimasi Desain**

Sumber: Pengolahan data (2025)

**Gambar 12. Profil Melintang Optimasi Desain**

Sumber: Pengolahan data (2025)

Efisiensi desain optimasi menunjukkan keunggulan yang signifikan dibandingkan pendekatan manual uniform. Desain optimasi HEC-RAS menghasilkan penghematan volume galian sebesar 67% dengan tetap mempertahankan kapasitas penampungan yang memadai untuk debit Q50. Setiap penampang disesuaikan dengan kondisi aliran spesifik, menghasilkan rasio lebar-kedalaman yang optimal dan meminimalkan potensi sedimentasi melalui kecepatan aliran yang seragam. Penghindaran over-design pada section yang tidak memerlukan dimensi besar memberikan keuntungan ekonomis substantial tanpa mengurangi tingkat keamanan, dimana biaya konstruksi dapat dikurangi secara proporsional sesuai dengan efisiensi material yang dicapai.

Tabel 4. Ringkasan Optimasi Desain Penampang

Cross Section	Jarak (m)	E. LOB (m)	E. ROB (m)	E. Dasar (m)	L.saluran (m)	T.Muka Air (m)	freeboard	T. Penampang
P 0	0	13.035	13.035	10.835	53.6	1.6	0.6	2.2
P 1	76	13.200	13.200	10.6	53.6	2.0	0.6	2.6
P 2	140.4	13.390	13.390	10.39	53.6	2.4	0.6	3.0
P 3	196.8	13.430	13.430	10.13	53.6	2.7	0.6	3.3
P 4	257.2	13.482	13.482	9.982	53.6	2.9	0.6	3.5
P 5	305.2	13.416	13.416	9.816	53.6	3.0	0.6	3.6
P 6	443.2	13.601	13.601	9.701	53.6	3.3	0.6	3.9
P 7	525.4	13.657	13.657	9.057	53.6	4.0	0.6	4.6
P 8	591.4	13.650	13.650	8.95	53.6	4.1	0.6	4.7
P 9	721.4	13.730	13.730	8.33	53.6	4.8	0.6	5.4

Sumber: Pengolahan data (2025)

Validasi hasil optimasi membuktikan superioritas pendekatan HEC-RAS dibandingkan perhitungan manual dalam perencanaan normalisasi sungai. Perbandingan antara kondisi eksisting dan rencana normalisasi menunjukkan transformasi total sistem hidrolik sungai, dimana ketidakmampuan penampang eksisting yang mengalami limpasan masif berubah menjadi sistem yang mampu mengendalikan banjir dengan efisien. Pengurangan tinggi penampang rata-rata 3,2 m dari perhitungan manual ke optimasi HEC-RAS memberikan keuntungan ekonomis tanpa mengurangi tingkat keamanan, sementara variasi geometri yang mengikuti kontur natural sungai meminimalkan dampak lingkungan dan mempertahankan karakteristik hidrolik alami. Model HEC-RAS membuktikan kemampuannya sebagai tool optimasi yang essential dalam menghasilkan desain normalisasi yang efisien secara teknis dan ekonomis untuk pengendalian banjir Sungai Batang Tuik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa distribusi Gumbel merupakan metode yang paling representatif dalam menentukan curah hujan rencana di Sub DAS Batang Tuik, di mana nilai curah hujan meningkat seiring dengan bertambahnya periode ulang dan menjadi dasar perhitungan debit banjir rencana. Hasil analisis debit banjir rencana menunjukkan bahwa untuk periode ulang 2 tahun debit yang diperoleh adalah $62,1623 \text{ m}^3/\text{detik}$ melampaui debit banjir rencana pada metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu. Berdasarkan pertimbangan perencanaan debit banjir rencana yang digunakan adalah debit periode ulang 50 tahun metode HSS Nakayasu, yaitu sebesar $151,09 \text{ m}^3/\text{detik}$. Dimensi normalisasi sungai berbentuk trapesium dengan tinggi muka air 4,8 m, tinggi jagaan 0,6 m, lebar sungai 53,6 m dan kemiringan talud 1. optimasi desain menggunakan HEC-RAS menghasilkan variasi tinggi penampang yang lebih rasional, mulai dari 2,2 m di STA 0 hingga 5,4 m di STA 9, dengan lebar dasar konsisten 53,6 m dan freeboard 0,6 m.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2023). *Data curah hujan Stasiun Painan periode 2019–2023*. BMKG.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2023). *Data kejadian bencana Indonesia tahun 2023*. BNPB. <https://bnpb.go.id>.
- Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Pesisir Selatan. (2023). *Laporan kejadian banjir Batang Kapas 2019–2023*. BPBD Pesisir Selatan.
- Umar, Z. (2022). *Analisa Pemilihan Hujan Kawasan, Pemilihan Tipe Mercu Bendung dan Pemilihan Peredam Energi/Kolam Olak*. Padang
- Chow, V. T. (1959). *Open-channel hydraulics*. McGraw-Hill.
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). SAGE Publications

- Hart, C. (2018). *Doing a literature review: Releasing the research imagination* (2nd ed.). SAGE Publications.
- Nazir, M. (2014). *Metode penelitian*. Ghalia Indonesia.
- Neuman, W. L. (2014). *Social research methods: Qualitative and quantitative approaches* (7th ed.). Pearson Education.
- Pradnyawati, N. W., & Putra, I. M. R. A. (2022). Analisis kapasitas saluran irigasi dengan metode Manning (Studi Kasus: Saluran Irigasi Subak Umakayu, Desa Pekutatan, Jembrana). *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, 7(1), 1–8. <https://doi.org/10.24843/JRSL.2022.v07.i01.p01>
- Purbasari, R., Suryanto, A., & Pujiastuti, S. (2022). Analisis dan pemodelan Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu untuk prediksi debit banjir di DAS Code, Yogyakarta. *Jurnal Teknik Hidro*, 1(2), 11–18. <https://doi.org/10.21831/jthidro.v1i2.54219>
- Sugiyono. (2019). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D* (2nd ed.). Alfabeta.
- Suripin. (2014). *Sistem drainase perkotaan yang berkelanjutan*. ANDI.
- Sudirman. (2023). Analisis banjir menggunakan program HEC-RAS 5.0.7 (Studi kasus hilir Sungai Amassangan Kotamadya Palopo). *Jurnal Ilmiah Ecosystem*, 23(2), 277–289. <https://doi.org/10.35965/eco.v23i2.2023>
- Wigati, R., Soedarsono, S., & Ananda, Y. (2018). Analisis banjir menggunakan software HEC-RAS 4.1 (Studi kasus sub DAS Ciujung Hulu HM 0+00 sampai dengan HM 45+00). *Jurnal Fondasi*, 7(1), 11–20. <https://doi.org/10.36055/fondasi.v7i1.4780>
- Wigati, R., et al. (2016). Normalisasi Sungai Ciliwung menggunakan program HEC-RAS 4.1 (Studi kasus Cililitan–Bidara Cina). *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, 5(2), 77–86. <https://doi.org/10.36055/fondasi.v5i2.360>
- Yulistiyanto, B., & Rusdi, R. (2020). Pemodelan banjir menggunakan perangkat lunak HEC-RAS untuk analisis kapasitas sungai. *Jurnal Teknik Sipil*, 27(1), 45–56. <https://doi.org/10.5614/jts.2020.27.1.5>