

Evaluasi Efektivitas Normalisasi dalam Mereduksi Banjir Sungai Sadia Menggunakan HEC-RAS

Evaluation of River Normalization Effectiveness in Reducing Flooding in the Sadia River Using HEC-RAS

I Putu Hartawan^{1*} Dhemi Harlan² I Nyoman Yogi Mertawiasa¹ Deddy Irwansyah¹ Arief Yudho Wicaksono¹

¹⁾ Magister Pengelolaan Sumber Daya Air Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa No. 10. Coblong, Bandung City, West Java, Indonesia 40132

²⁾ Kelompok Keahlian Teknik Sumber Daya Air, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa No. 10. Coblong, Bandung City, West Java, Indonesia 40132

*Corresponding author: iputuhartawan@pu.go.id

Diterima: 08 Januari 2026; Direvisi: 09 Maret 2026; Disetujui: 10 Juni 2026

Abstract

Bima City is an area with a relatively high risk of flooding and experiences flooding almost every year. One of the main causes of flooding is the limited capacity of the Sadia River to accommodate the flow from the upper reaches of the Sadia Watershed (DAS), especially during periods of high-intensity and long-duration rainfall. As a flood control measure, the BBWS NT I has carried out structural measures in the form of normalizing the Sadia River along a length of ± 4.5 km. This study aims to assess the performance of river normalization in reducing the area and depth of flooding around the Sadia River. The novelty of this study lies in the use of long-term satellite rainfall data for flood analysis. The study was conducted on a ± 4.5 km segment of the Sadia River. The hydrological analysis began with a study of the watershed characteristics to determine the input flood discharge using HEC-HMS. Rainfall data were obtained from the Global Precipitation Measurement (GPM) satellite for the period 2001–2024, which was calibrated and tested for correlation with rainfall data from the Rainfall Observation Station (PCH Kumbe). The 25-year return period flood discharge (Q_{25}) was determined using the Nakayasu Synthetic Unit Hydrograph method, calibrated using the bankfull discharge (Q_2). Hydraulic analysis was performed using HEC-RAS 1D to obtain water surface profiles and HEC-RAS 2D to map flood inundation patterns, calibrated against the 2016 flood event. Simulations were conducted for two conditions: existing conditions and post-river normalization conditions. The analysis results show that under existing conditions, the Sadia River is unable to accommodate a Q_{25} flood discharge of $167 \text{ m}^3/\text{sec}$, with a flood area of 89.87 ha and a depth of 0.1–4.0 m. After normalization, the flood area can be reduced by 40.74%.

Keywords: Sadia River, flood, HEC-RAS, river normalization, flood inundation

Abstrak

Kota Bima merupakan wilayah dengan tingkat kerawanan banjir yang relatif tinggi dan hampir setiap tahun mengalami kejadian banjir. Salah satu penyebab utama banjir adalah keterbatasan kapasitas Sungai Sadia dalam menampung debit aliran dari hulu Daerah Aliran Sungai (DAS) Sadia, terutama saat hujan berintensitas dan berdurasi tinggi. Sebagai upaya pengendalian banjir, Balai Besar Wilayah Sungai Nusa Tenggara I (BBWS NT I) telah melaksanakan penanganan struktural berupa normalisasi Sungai Sadia sepanjang $\pm 4,5$ km. Penelitian ini bertujuan untuk menilai kinerja normalisasi sungai dalam mereduksi luas dan kedalaman genangan banjir di sekitar Sungai Sadia. Keterbaruan penelitian ini terletak pada pemanfaatan data hujan satelit periode panjang untuk analisis banjir. Kajian dilakukan pada segmen Sungai Sadia sepanjang $\pm 4,5$ km. Analisis hidrologi diawali dengan kajian karakteristik DAS untuk menentukan debit banjir masukan menggunakan HEC-HMS. Data curah hujan berasal dari satelit Global Precipitation Measurement (GPM) periode 2001–2024 yang dikalibrasi dan diuji korelasinya dengan data pos curah hujan (PCH) Kumbe. Debit banjir rencana kala ulang 25 tahun (Q_{25}) ditentukan menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu yang dikalibrasi dengan debit bankfull (Q_2). Analisis hidraulika dilakukan menggunakan HEC-RAS 1D untuk memperoleh profil muka air dan HEC-RAS 2D untuk memetakan sebaran genangan banjir yang dikalibrasi dengan kejadian banjir tahun 2016. Simulasi dilakukan pada dua kondisi, yaitu kondisi eksisting dan kondisi pasca-normalisasi sungai. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada kondisi eksisting Sungai Sadia belum mampu menampung debit banjir Q_{25} sebesar $167 \text{ m}^3/\text{detik}$, dengan luas genangan mencapai 89,87 ha dan kedalaman 0,1–4,0 m. Setelah dilakukan normalisasi, luas genangan banjir dapat direduksi sebesar 40,74%.

Kata Kunci: Sungai Sadia, banjir, HEC-RAS, normalisasi sungai, genangan banjir

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan curah hujan yang tinggi dan kondisi geografis yang kompleks. Kombinasi antara faktor alami dan aktivitas manusia menjadikan Indonesia sangat rentan terhadap bencana banjir, terutama pada musim hujan (Juliana et al., 2017). Berbagai wilayah di Indonesia mengalami banjir setiap tahunnya, baik dalam skala kecil maupun besar, yang berdampak signifikan terhadap kerugian sosial, ekonomi, dan lingkungan (Farid et al., 2020; Formánek et al., 2013; Juliana et al., 2017; Kardhana et al., 2022; Kuntoro et al., 2017; Rizaldi et al., 2022; Yosua et al., 2023).

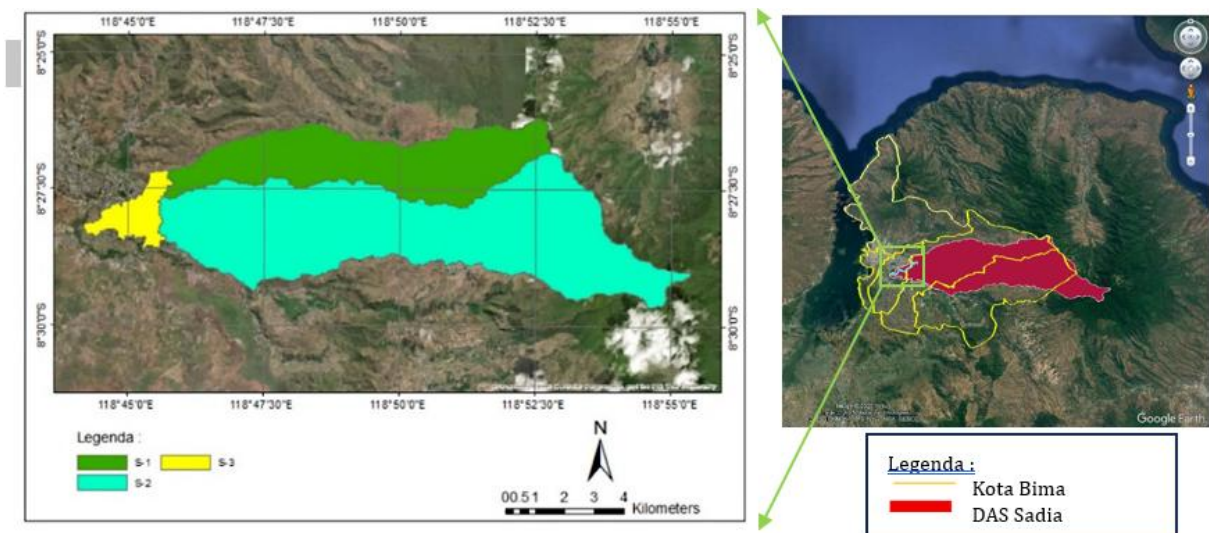
Kota Bima merupakan wilayah yang secara konsisten mengalami kejadian banjir hampir setiap tahun. Salah satu peristiwa terbesar terjadi pada tahun 2016, yang dikategorikan sebagai bencana hidrometeorologi signifikan karena menimbulkan kerusakan luas pada infrastruktur, permukiman, serta mengganggu aktivitas sosial dan ekonomi masyarakat. Salah satu faktor utama pemicu banjir tersebut adalah keterbatasan kapasitas Sungai Sadia dalam menampung debit aliran dari hulu DAS Sadia, sehingga mengakibatkan limpasan yang meluap ke wilayah sekitarnya (Oriandra et al., 2024; Permatasari et al., 2022; Son & Carlson, 2015).

Secara umum, terdapat beberapa faktor yang berkontribusi terhadap tingginya risiko banjir di Kota Bima, antara lain intensitas curah hujan yang tinggi, kondisi topografi kota yang berbentuk cekungan, alih fungsi sempadan sungai menjadi kawasan permukiman, pendangkalan sungai pada bagian hilir, sistem drainase kota yang belum optimal, serta penurunan tutupan vegetasi di

wilayah hulu (Adi & Muladi, 2022; Anugrahadi et al., 2021; Vilímek et al., 2021; Yuniartanti, 2018). Sebagai upaya pengendalian banjir, Balai Besar Wilayah Sungai Nusa Tenggara I (BBWS NT I) melaksanakan penanganan struktural berupa normalisasi Sungai Sadia sepanjang $\pm 4,5$ km. Normalisasi sungai dapat meningkatkan kapasitas tampungan sungai dan menunjukkan efektivitas dalam mereduksi potensi banjir (Tunas & Herman, 2019).

Namun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada analisis hidrologi DAS atau kapasitas sungai secara umum, sehingga evaluasi kuantitatif mengenai efektivitas normalisasi sungai dalam mereduksi luapan banjir, khususnya pada Sungai Sadia di Kota Bima, masih terbatas. Selain itu, pemanfaatan data curah hujan satelit periode panjang yang telah dikalibrasi untuk analisis banjir di DAS Sadia juga belum banyak dilakukan. Hal ini menunjukkan adanya *research gap* berupa belum tersedianya kajian yang menganalisis perubahan luas genangan dan potensi luapan banjir sebelum dan sesudah normalisasi sungai.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengetahui efektivitas normalisasi Sungai Sadia dalam menurunkan potensi banjir melalui pemodelan hidrologi menggunakan HEC-HMS dengan pendekatan Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) serta pemodelan hidraulika menggunakan HEC-RAS. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan dasar analisis yang lebih komprehensif bagi evaluasi penanganan struktural pengendalian banjir serta menjadi referensi dalam perencanaan pengelolaan sungai di wilayah perkotaan dengan karakteristik serupa.

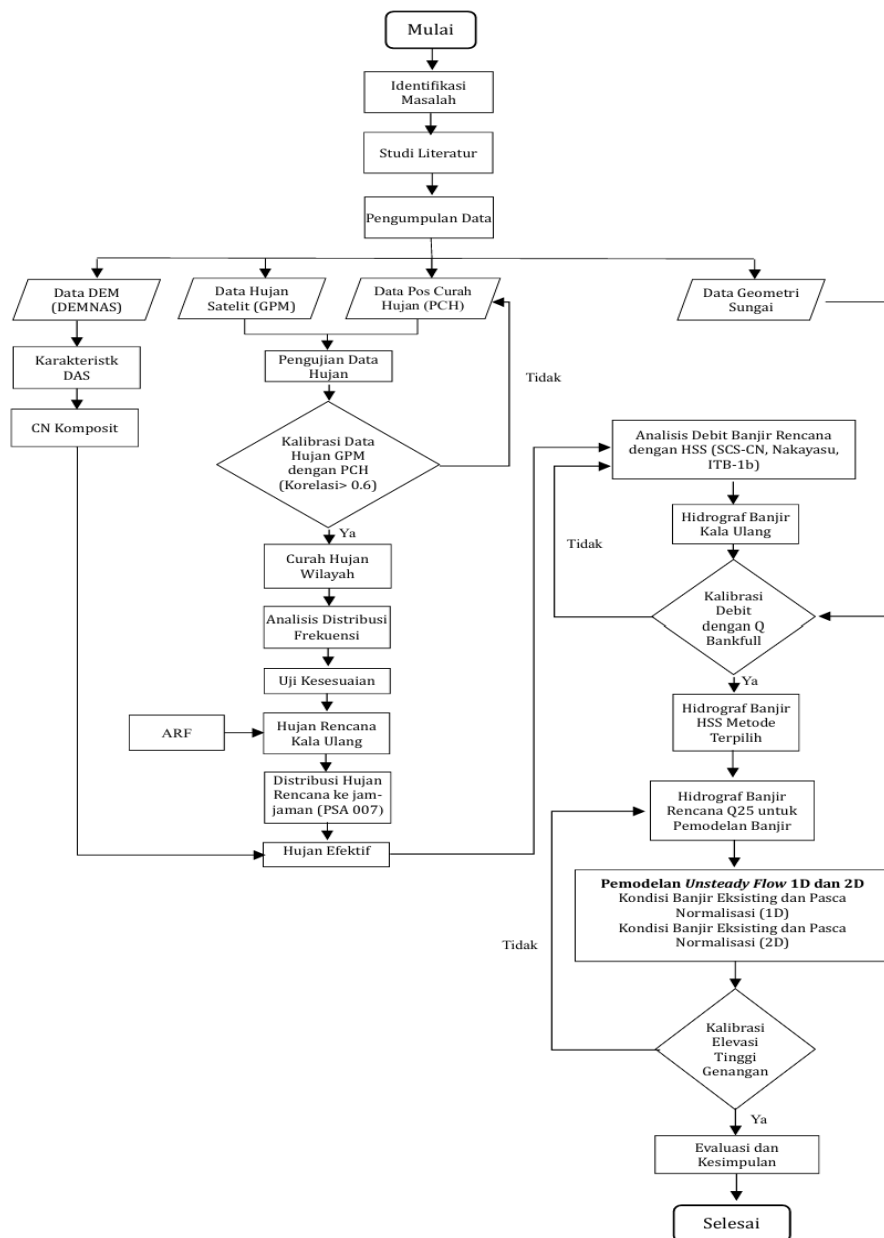


Gambar 1 Lokasi Kajian Sungai Sadia, Kota Bima (Google Earth, 2024)

METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan, meliputi studi literatur, pengumpulan data, pengolahan dan analisis data, serta penarikan kesimpulan yang ditunjukkan pada Gambar 2. Seluruh tahapan analisis dilakukan sesuai dengan ruang lingkup dan tujuan penelitian. Tahap awal penelitian diawali dengan delineasi Daerah Aliran Sungai (DAS) Sadia untuk menentukan batas wilayah tangkapan air. Selanjutnya dilakukan analisis karakteristik DAS yang mencakup kondisi topografi, kemiringan lereng, pola aliran, serta karakteristik fisik lainnya yang memengaruhi respons hidrologi wilayah studi. Data curah hujan

kemudian diolah sebagai dasar perhitungan hidrologi dan digunakan sebagai parameter masukan dalam pemodelan hidrologi. Analisis hidrologi dilakukan untuk memperoleh debit banjir rencana menggunakan perangkat lunak HEC-HMS versi 4.12. Hasil analisis hidrologi selanjutnya digunakan sebagai input pada analisis hidraulika. Analisis hidraulika dilakukan dengan pemodelan aliran sungai menggunakan perangkat lunak HEC-RAS versi 6.6, yang mencakup proses pemodelan, kalibrasi, dan validasi model (U.S. Army Corps of Engineers, 2024). Pemodelan hidraulika dilakukan untuk memperoleh profil muka air serta sebaran genangan banjir pada kondisi eksisting dan skenario normalisasi.



Gambar 2 Bagan alir penelitian

Analisis Hidrologi

Keterbatasan ketersediaan data hujan menyebabkan analisis hidrologi dalam penelitian ini dilakukan menggunakan data curah hujan satelit Global Precipitation Measurement (GPM) (Balai Teknik Bendungan, 2022). Data tersebut dikalibrasi menggunakan data hujan dari Pos Pencatatan Curah Hujan (PCH) Kumbé yang diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Nusa Tenggara I (BBWS NT I), guna meningkatkan akurasi representasi hujan lokal. Curah hujan efektif didefinisikan sebagai bagian dari curah hujan total yang langsung berkontribusi terhadap limpasan permukaan. Proses perhitungan ini dilakukan melalui pemodelan menggunakan perangkat lunak HEC-HMS (Hartyan, 2024; Merwade, 2022; Taufik et al., 2022). Data *Digital Elevation Model* (DEM) yang digunakan berasal dari DEM Nasional (DEMNAS), sedangkan data tutupan lahan tahun 2022 diperoleh dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Data jenis tanah diperoleh dari *Harmonized World Soil Database* (HWSD). Seluruh data tersebut digunakan dalam proses parameterisasi DAS pada pemodelan hidrologi HEC-HMS.

DAS Sadia yang terletak di Kota Bima merupakan kawasan ibu kota kabupaten/kota, sehingga penentuan debit rencana umumnya mengacu pada standar debit banjir rancangan dengan periode ulang Q_{10} – Q_{20} (PUPR, 2021). Namun, dalam penelitian ini digunakan periode ulang Q_{25} untuk memperoleh debit rencana yang lebih konservatif dalam konteks perencanaan pengendalian banjir. Perhitungan debit banjir dilakukan menggunakan beberapa metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS), yaitu metode Nakayasu, SCS-CN, dan ITB-1b. Selanjutnya, hasil perhitungan tersebut dikalibrasi terhadap debit *bankfull* berdasarkan data geometri sungai tahun 2025 yang diperoleh dari BBWS Nusa Tenggara I. Metode HSS yang menghasilkan debit paling mendekati nilai $Q_{bankfull}$ dipilih untuk digunakan pada tahap analisis selanjutnya (Sherwood & Huitger, 2005).

Analisis Hidraulika

Analisis hidraulika dalam penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak HEC-RAS versi 6.6. Pemodelan aliran dan genangan banjir disimulasikan dengan pendekatan satu dimensi (1D) dan dua dimensi (2D) menggunakan skema aliran tak tunak (*unsteady flow*) untuk merepresentasikan dinamika aliran serta pola sebaran genangan pada wilayah kajian. Perhitungan aliran tak tunak pada HEC-RAS didasarkan pada penerapan persamaan kekekalan massa dan momentum (persamaan Saint-Venant) sebagai dasar analisis hidraulika (Brunner, 2023). Proses ini

direpresentasikan melalui persamaan matematis yang dikenal sebagai Persamaan Saint-Venant (Mihu-Pintilie et al., 2019).

- a. Persamaan kekekalan massa (kontinuitas)

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

- b. Persamaan kekekalan momentum

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

dimana:

A : luas total tampang aliran (jumlah luas tampang aliran di *main channel* dan *over bank channel*)

Q : debit aliran

q_l : debit lateral per satuan panjang

V : kecepatan aliran

g : percepatan gravitasi

x : jarak, diukur searah aliran

z : elevasi muka air

t : waktu

S_f : kemiringan garis energi (*friction slope*), dihitung dengan persamaan Manning

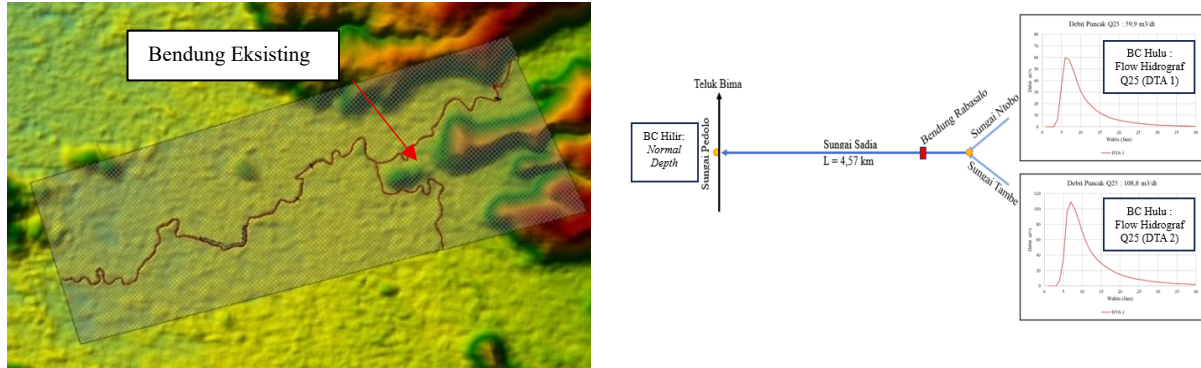
Tahap awal pemodelan hidraulika diawali dengan penyusunan data geometri sungai dan dataran banjir yang diperoleh dari data topografi. Pada penelitian ini, geometri sungai disusun berdasarkan hasil pengukuran MC-0 serta dokumen rencana penanganan pekerjaan pengendalian banjir Sungai Sadia tahun 2025. Adapun data topografi dataran banjir diperoleh dari *Digital Elevation Model* (DEM) yang bersumber dari DEM Nasional (DEMNAS).

Penentuan nilai koefisien kekasaran Manning (n) mengacu pada SNI 2830:2008 tentang Tata Cara Perhitungan Tinggi Muka Air dengan Cara Pias, dengan nilai yang dianggap paling representatif untuk kondisi eksisting sungai dan dataran banjir sebesar 0,040. Skema pemodelan hidraulika disajikan pada Gambar 3. Sementara itu, penentuan nilai koefisien Manning untuk dinding revetmen beton mengacu pada Ven Te Chow, dengan nilai n sebesar 0,012 yang mencerminkan kondisi permukaan saluran yang relatif halus.

Pada pemodelan 2D, area kajian dibatasi menggunakan perimeter untuk menentukan batas wilayah genangan yang dianalisis seperti pada Gambar 3. Penetapan batas area pemodelan mempertimbangkan kondisi topografi dan kondisi lapangan yang memengaruhi aliran banjir agar hasil simulasi dapat merepresentasikan kondisi eksisting secara akurat. Ketidaksesuaian batas model dengan

kondisi lapangan dapat menyebabkan penyimpangan hasil genangan. Kondisi batas pada pemodelan banjir Sungai Sadia menggunakan HEC-RAS terdiri atas debit banjir rencana (*flow hydrograph*) periode ulang 25 tahun sebagai kondisi batas hulu (*upstream boundary condition*) serta normal depth sebagai kondisi batas hilir

(*downstream boundary condition*). Skema pengaturan kondisi batas tersebut dapat dilihat pada Gambar 3. Pada studi ini, pemodelan utama dilakukan menggunakan pendekatan 2D untuk aliran sungai dan genangan banjir. Sementara itu, pemodelan 1D digunakan untuk kalibrasi tinggi muka air sungai dan debit *bankfull* (*Q bankfull*).



Gambar 3 Skema kondisi batas pemodelan HEC-RAS 2D (Hasil Analisis, 2024)

HASIL DAN PEMBAHASAN

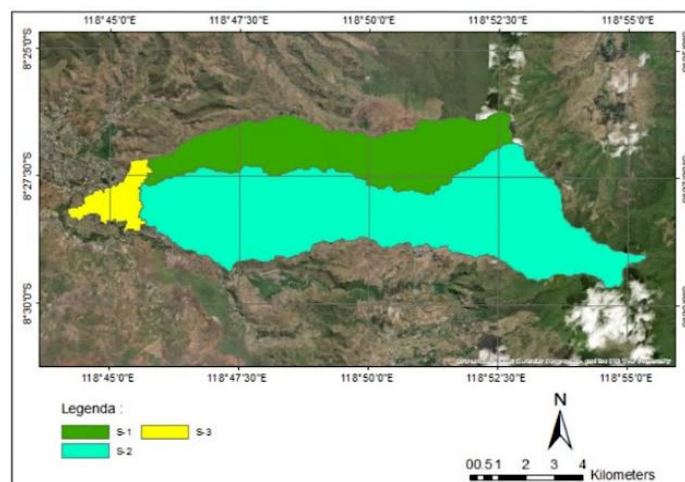
Delineasi DAS

Tahap delineasi DAS Sadia dilakukan dengan penentuan satu titik kontrol (*break point*) yang diletakkan pada bagian hilir DAS Sadia sebagai outlet. Berdasarkan hasil delineasi, luas DAS Sadia

diketahui sebesar 71,68 km² dan terbagi menjadi 3 sub-DAS yang diberi kode S-1 hingga S-3. Tabel 1 menyajikan detail karakteristik masing-masing sub-DAS. Selain itu, hasil pemetaan batas DAS Sadia divisualisasikan menggunakan perangkat lunak ArcGIS Pro versi 3.5 dan ditampilkan pada Gambar 4.

Tabel 1 Hasil delineasi DAS Sadia

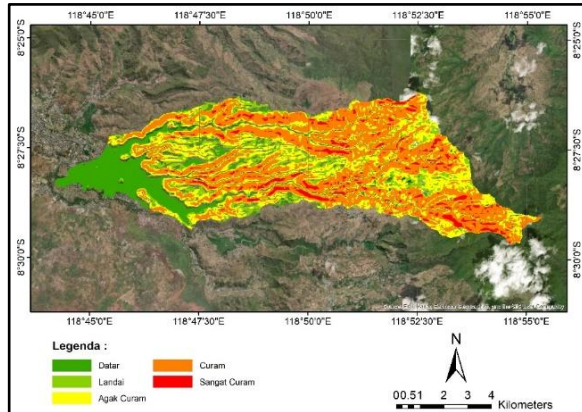
Sub-Basin	Luas (km ²)	Panjang Saluran Utama (km)	Slope Saluran Utama (m/m)	Panjang Saluran Utama dari Titik Berat (Lc) (km)	Basin Slope (m/m)
S-1	21,64	17,69	0,06	10,05	0,43
S-2	46,65	24,13	0,06	12,20	0,39
S-3	3,39	4,79	0,02	2,57	0,06
Jumlah	71,68	46,61			



Gambar 4 Pembagian Sub DAS Sadia

Kondisi Topografi

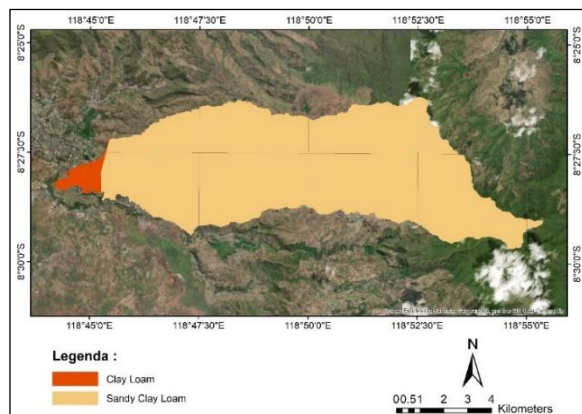
Berdasarkan analisis topografi, DAS Sadia didominasi oleh kelas lereng curam (25-40%) hingga sangat curam (>45%), dengan kemiringan 25-40% dan >45% (ditandai warna coklat dan merah pada peta) tersebar luas di bagian tengah hingga hulu DAS, sedangkan wilayah dengan kemiringan landai (0-8%) hanya terbatas pada bagian hilir DAS (lokasi Sungai Sadia). Peta topografi DAS Sadia dapat dilihat pada Gambar 5



Gambar 5 Peta topografi DAS Sadia

Kondisi Jenis Tanah

Hasil analisis jenis tanah DAS Sadia terdiri dari dua klasifikasi tekstur tanah dan HSG yaitu klasifikasi clay loam dengan HSG D dan klasifikasi *sandy clay loam* dengan HSG C seperti yang disajikan pada Gambar 6.

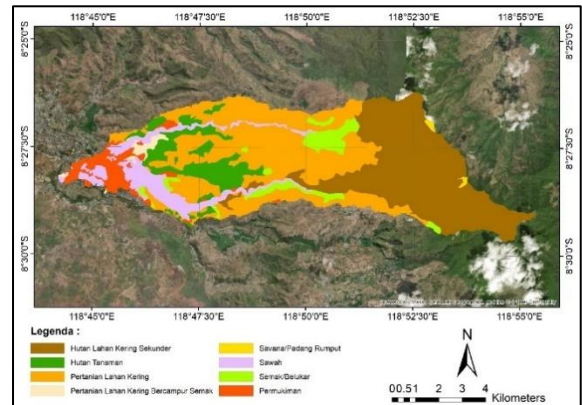


Gambar 6 Peta jenis tanah DAS Sadia

Kondisi Penggunaan Lahan

Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2022, jenis penggunaan lahan yang paling dominan adalah hutan lahan kering sebesar 34,01% (24,38 km²), diikuti oleh pertanian lahan kering

sebesar 26,43% (26,43 km²), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7. Adapun peta tutupan lahan disajikan pada Gambar 7.

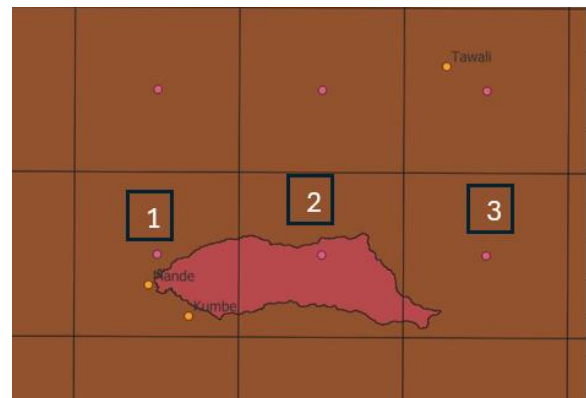


Gambar 7 Peta penggunaan lahan DAS Sadia

Analisis Hidrologi

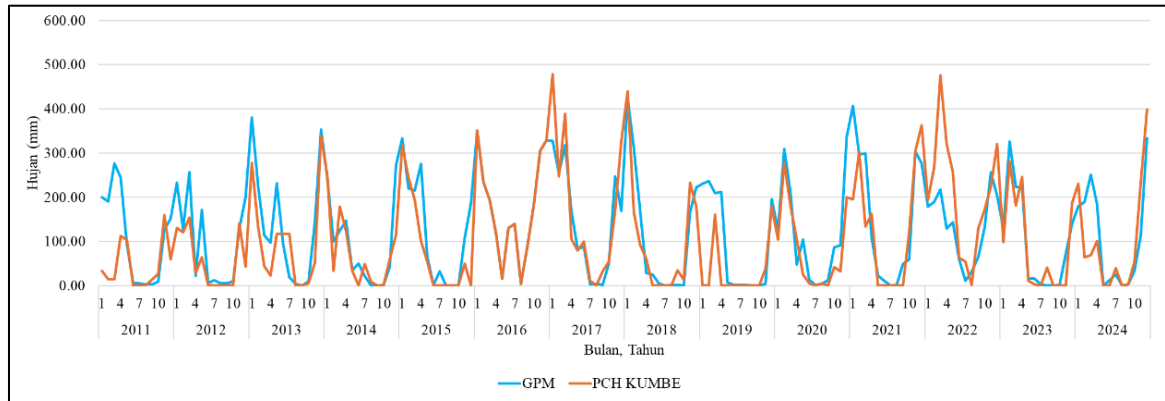
Uji Data Hujan

Pengujian data meliputi uji outlier, uji tren, uji stabilitas, dan uji independensi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data hujan Pos Curah Hujan (PCH) Kumbe memenuhi seluruh kriteria pengujian tersebut. Sedangkan data hujan satelit yang digunakan adalah Global Precipitation Measurement (GPM) yang diunduh melalui laman <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/> dengan rentang waktu 24 tahun (2001–2024).



Gambar 8 Grid polygon GPM

Korelasi hujan bulanan antara data curah hujan satelit GPM dan data dari PCH Kumbe dilakukan untuk mengetahui kesesuaian pola curah hujan antara kedua sumber data tersebut. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai korelasi bulanan antara data curah hujan satelit GPM dan data PCH Kumbe pada periode 2011–2024 sebesar 0,77 (kategori kuat). Grafik perbandingan curah hujan bulanan antara data satelit GPM dan data PCH Kumbe ditampilkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Perbandingan hujan bulanan GPM dan PCH Kumbe

Selanjutnya dilakukan koreksi bias untuk menyesuaikan nilai curah hujan hasil estimasi satelit dengan data observasi di lapangan. Hasil koreksi bias, menunjukkan bahwa distribusi probabilitas data GPM telah mendekati data curah hujan harian PCH Kumbe dengan nilai RMSE sebesar 0,67. Selain melakukan uji koreksi terhadap data curah hujan harian, dilakukan pula uji koreksi terhadap data Hujan Harian Maksimum Tahunan (HHMT) untuk membandingkan kesesuaian antara data curah hujan satelit GPM dan data observasi PCH Kumbe. Rentang waktu data yang digunakan adalah tahun 2011–2024. Hasil analisis menunjukkan bahwa sebelum dilakukan koreksi, nilai RMSE antara data GPM dan PCH Kumbe sebesar 0,14. Setelah dilakukan proses koreksi, nilai error menurun menjadi 0,04, yang mengindikasikan peningkatan akurasi estimasi data satelit terhadap data observasi. Nilai RMSE dinyatakan dengan rumus di bawah ini:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (Y_i - X_i)^2}$$

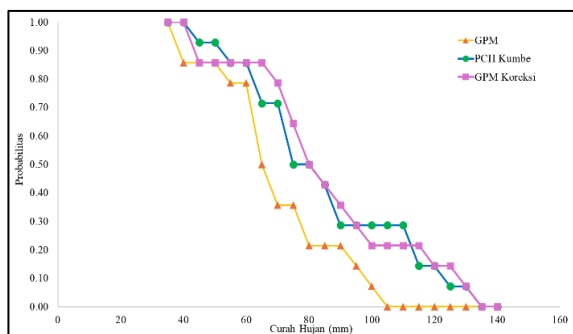
dimana:

Y_i : nilai hasil observasi

X_i : nilai hasil prediksi

i : urutan data pada database

n : jumlah data



Gambar 10 Lengkung probabilitas HHMT hasil koreksi menggunakan data PCH Kumbe

Penentuan curah hujan wilayah dilakukan dengan mempertimbangkan luas kontribusi masing-masing grid GPM sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8 yang berada di dalam batas Daerah Aliran Sungai (DAS) Sadia.

Analisis Hujan Rencana

Analisis frekuensi untuk menentukan curah hujan rencana dengan periode ulang tertentu dilakukan menggunakan berbagai distribusi, antara lain Distribusi Normal, Distribusi Log Normal, Distribusi Gumbel, dan Distribusi Log Pearson III seperti yang disajikan pada Tabel 3. Analisis frekuensi dilakukan pada data Hujan Harian Maksimum Tahunan (HHMT) wilayah yang telah dihitung. Pengujian kecocokan distribusi dilakukan dengan menggunakan uji Chi-square dan uji Smirnov-Kolmogorov. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh bahwa metode distribusi frekuensi yang paling sesuai dan memenuhi kriteria adalah Distribusi Log Pearson III, sehingga metode ini dipilih untuk menentukan curah hujan rencana pada DAS Sadia.

Analisis Debit Banjir Rencana

Berdasarkan hasil analisis hidrograf satuan sintetis (HSS) menggunakan metode SCS-CN, Nakayasu, dan ITB-1b, diperoleh nilai debit banjir rencana yang masuk ke Sungai Sadia pada titik J1 sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 11.

Tabel 2 Debit puncak DAS Sadia

Periode Ulang (T)	Debit Puncak (Qp) HSS (m ³ /detik)		
	Hidrograf Satuan Sintetis (HSS)		
	Nakayasu	SCS	ITB-1b
2	76.40	85.80	88.70
5	111.20	123.00	129.00
10	135.40	148.60	157.00
25	167.00	181.80	193.60

Tabel 3 Analisis Frekuensi Curah Hujan Rencana

Periode Ulang (Tahun)	Curah Hujan Rencana (mm)			
	Normal	Log Normal	Log Pearson III	Gumbel
2	82,04	78,92	79,58	78,23
5	101,54	100,47	100,67	98,72
10	111,75	113,99	113,34	112,29
25	122,63	130,42	128,16	129,44
Uji Kolmogorov-Smirnov				
D_{max}	0,051	0,038	0,036	0,039
D_{kritis}	0,270	0,270	0,270	0,270
Keterangan	Diterima	Diterima	Diterima	Diterima
Uji Chi-Kuadrat				
χ^2_b	2,50	4,50	3,50	5,50
χ^2_c	7,82	7,82	7,82	7,82
Keterangan	Diterima	Diterima	Diterima	Diterima

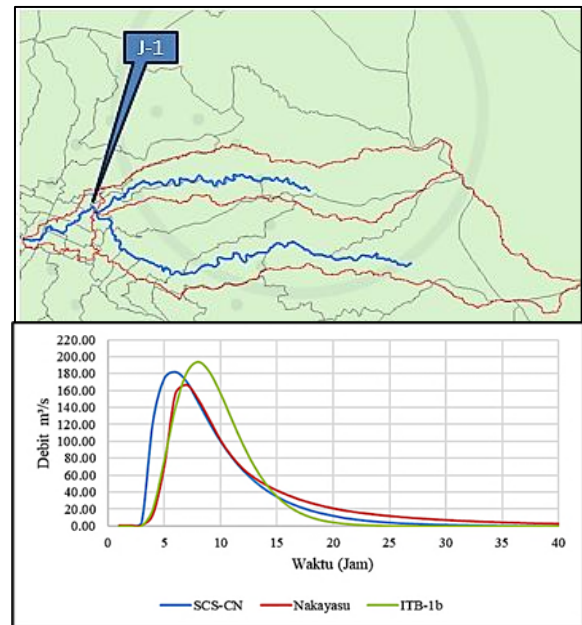
Kalibrasi Debit Rencana

Penentuan debit banjir rencana dilakukan menggunakan Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) sebagai masukan pada pemodelan HEC-RAS melalui perbandingan antara debit periode ulang 2 tahun (Q_2) dan debit *bankfull* hasil simulasi hidraulika. Debit puncak Q_2 yang paling mendekati debit *bankfull* ditetapkan sebagai debit rencana untuk analisis selanjutnya. Pemodelan dilakukan menggunakan pendekatan satu dimensi (1D) pada Sungai Sadia dalam kondisi eksisting (alami), dengan lokasi pemodelan berada di bagian hulu sungai pada sta 4+350 (titik 198).

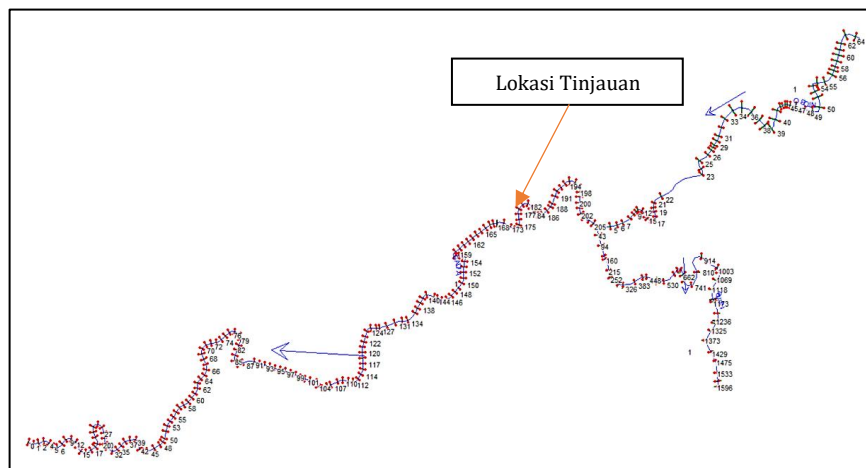
Kalibrasi model dilakukan secara *trial and error* untuk memperoleh hidrograf banjir yang mendekati Q_2 , kemudian divalidasi melalui analisis hidraulika yang menghasilkan debit *bankfull* sebesar $68,56 \text{ m}^3/\text{detik}$. Berdasarkan hasil tersebut, debit banjir rencana ditentukan menggunakan metode HSS Nakayasu, sebagaimana disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Debit *bankfull* Sungai Sadia

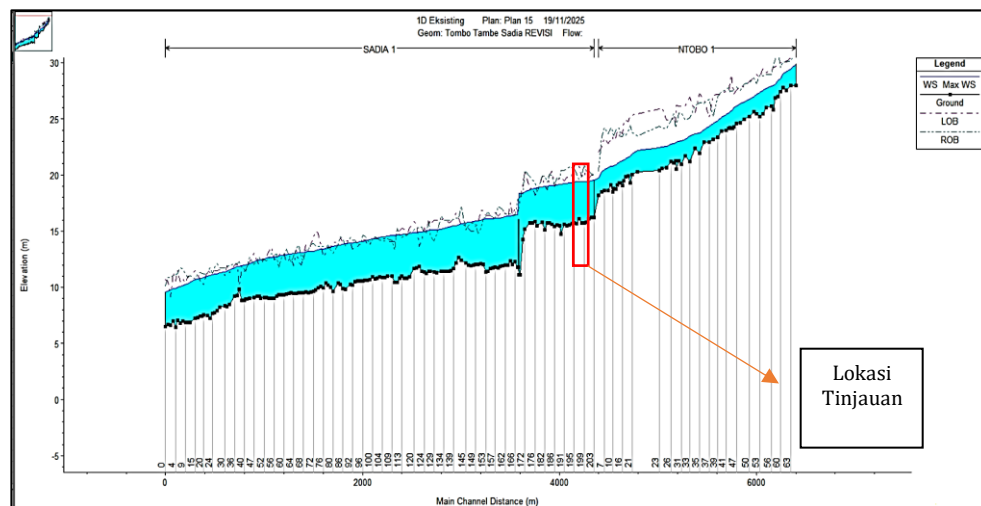
Titik	Debit <i>Bankfull</i> (Q_2) (m^3/detik)	HSS Q_2 dan Q_p (m^3/detik)		ΔQ_p
198/Sta 4+350	68,56	SCS-CN	85,80	17,21
		Nakayasu	76,40	7,84
		ITB-1b	88,70	20,14



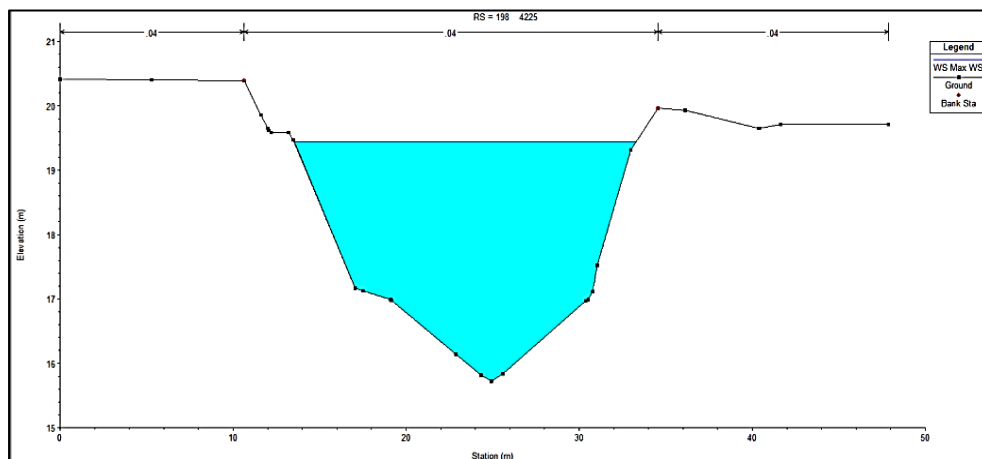
Gambar 11 Hidrograf banjir di titik J-1



(a)



(b)



(c)

Gambar 12 (a) Layout stasioning sungai (b) profil memanjang dan (c) profil melintang debit *bankfull* HEC-RAS 1D Sungai Sadia

Tabel 5 Hasil pemodelan HEC-RAS 1D untuk debit bankfull pada titik tinjau Sta 198

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
1	200	Max WS	68,56	15,81	19,44	-	19,52	0,001008	1,25	54,76	26,16	0,28
1	199	Max WS	68,56	15,73	19,44	-	19,49	0,000561	1,05	65,24	25,70	0,21
1	198	Max WS	68,56	15,72	19,44	-	19,54	0,001185	1,45	47,34	19,74	0,30

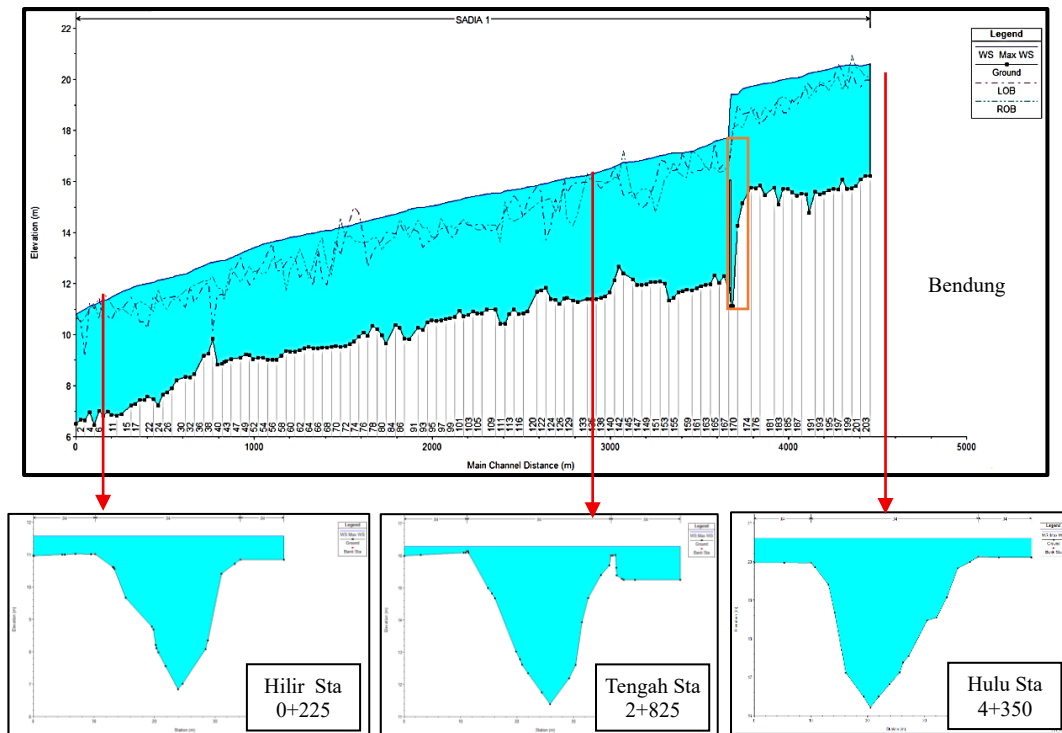
Hasil Pemodelan

Pemodelan 1D Kondisi Eksisting

Berdasarkan hasil pemodelan, diketahui bahwa Sungai Sadia tidak mampu menampung debit banjir dengan periode ulang 25 tahun,

sehingga terjadi luapan pada beberapa segmen sungai.

Tinggi genangan yang dihasilkan bervariasi antara 0,3 hingga 2,5 meter dengan rata-rata luapan ruas Sungai Sadia adalah 0,9 meter.



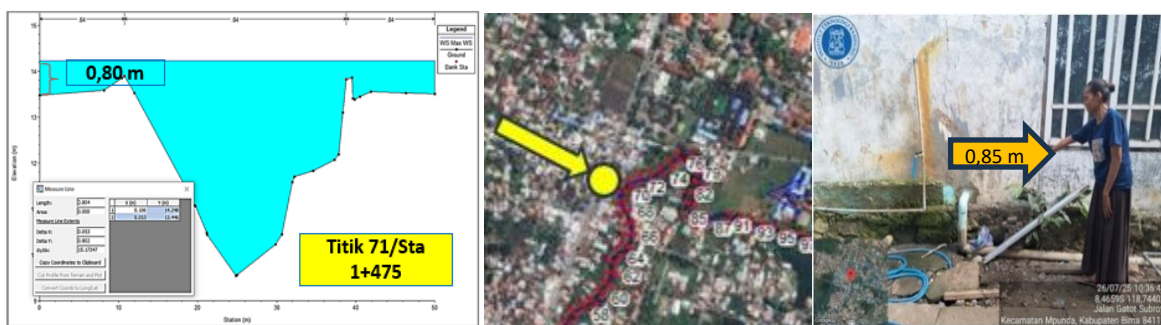
Gambar 13 Hasil pemodelan banjir 1D Sungai Sadia kondisi eksisting

Sebelum dilakukan tahapan pemodelan lanjutan, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi terhadap hasil pemodelan 1D pada kondisi eksisting. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan tinggi genangan hasil pemodelan dengan data observasi lapangan pada tiga titik acuan, yaitu titik 40/Sta 0+800, titik 71/Sta 1+475,

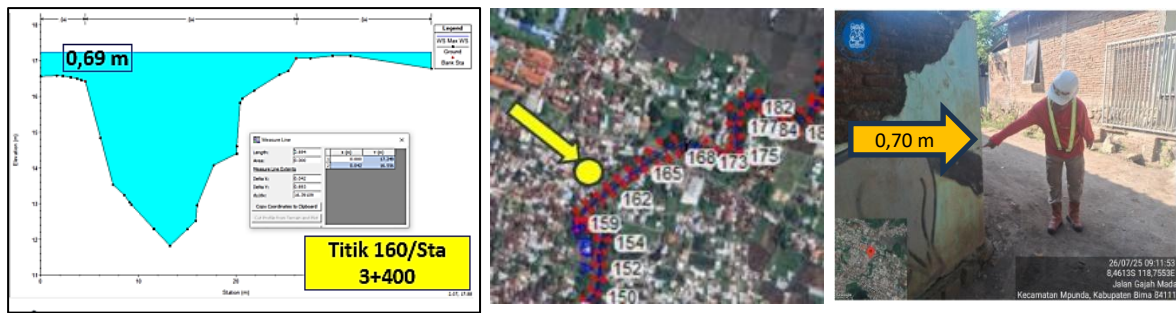
dan titik 160/Sta 3+400. Perbandingan tinggi genangan antara hasil pemodelan dan hasil survei ditunjukkan pada Gambar 14. Berdasarkan hasil perbandingan tersebut terlihat bahwa tinggi luapan banjir yang dihasilkan oleh model 1D menunjukkan kesesuaian yang baik dengan tinggi luapan aktual pada kejadian banjir tahun 2016.



(a)



(b)



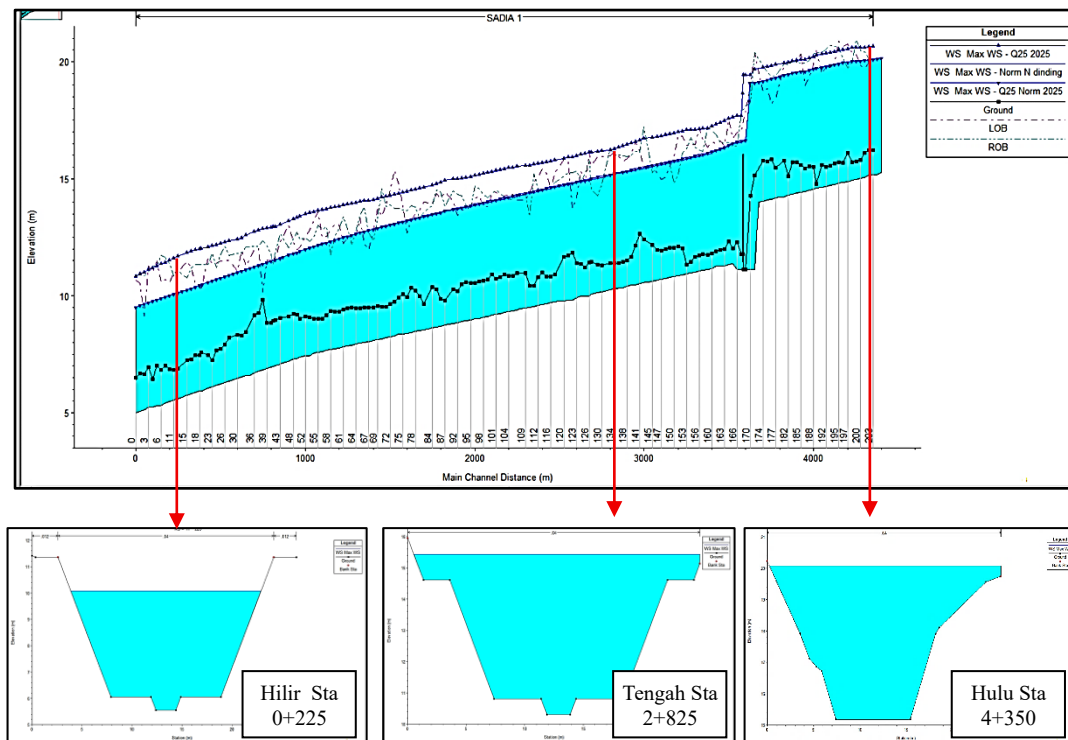
(c)

Gambar 14 Perbandingan tinggi luapan di titik (a) 40/sta 0+800, (b) titik 71/sta 1+475 dan (c) titik 160/sta 3+400

Pemodelan 1D Kondisi Normalisasi

Normalisasi dilakukan dengan mengubah penampang sungai menjadi bentuk trapesium dengan lebar dasar 11 meter, kemiringan talud 1:1, dan kemiringan dasar rata-rata 0,0018. Debit banjir rencana yang digunakan adalah Q_{25} dengan kondisi aliran tidak tunak (*unsteady flow*). Kondisi batas (*boundary condition*) pada bagian hulu dan hilir dipertahankan sama seperti pada skenario eksisting. Nilai kekasaran (n) Manning untuk kondisi alami tetap sebesar 0,040 (dasar sungai),

sedangkan untuk dinding *revetment* beton menggunakan 0,012. Berdasarkan hasil pemodelan, normalisasi terbukti efektif dalam mereduksi luapan banjir Q_{25} , dengan penurunan elevasi muka air rata-rata sebesar 0,55 m di hulu bendung dan 1,35 m di hilir bendung pada ruas Sungai Sadia. Tinggi genangan khususnya di bagian tengah Sungai Sadia hampir tidak terlihat lagi. Namun demikian, masih terdapat beberapa lokasi dengan elevasi rendah di sekitar Sungai Sadia, baik di bagian hulu maupun hilir, yang tetap mengalami genangan.

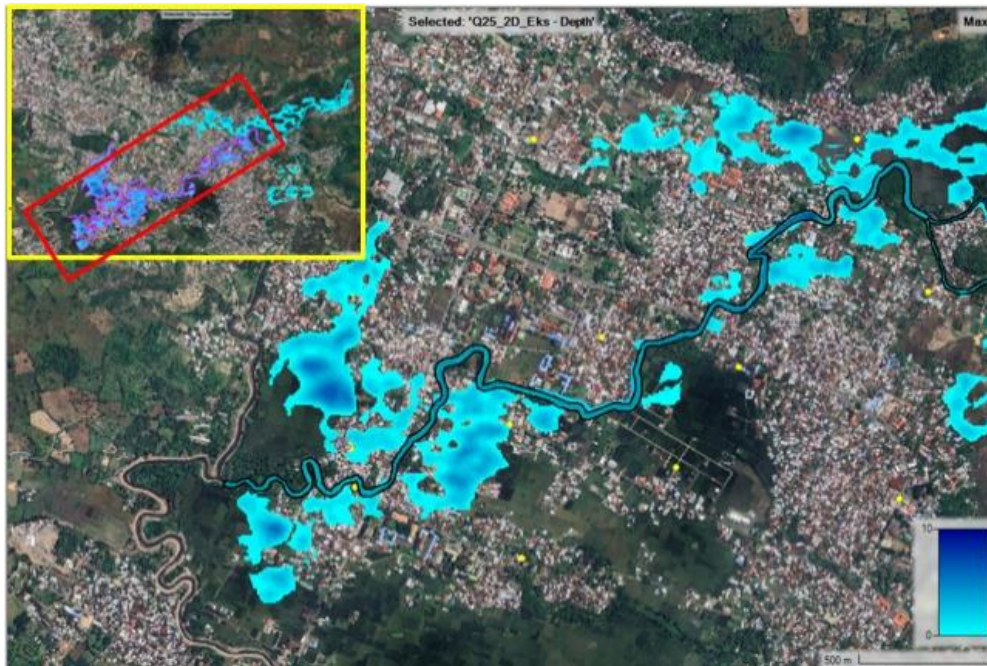


Gambar 15 Hasil pemodelan banjir 1D kondisi normalisasi

Pemodelan 2D Kondisi Eksisting

Berdasarkan hasil pemodelan kondisi eksisting ditunjukkan pada Gambar 16, diperoleh luas genangan sebesar 89,87 ha dengan tinggi genangan yang bervariasi antara 0,1 hingga 4 meter, sesuai

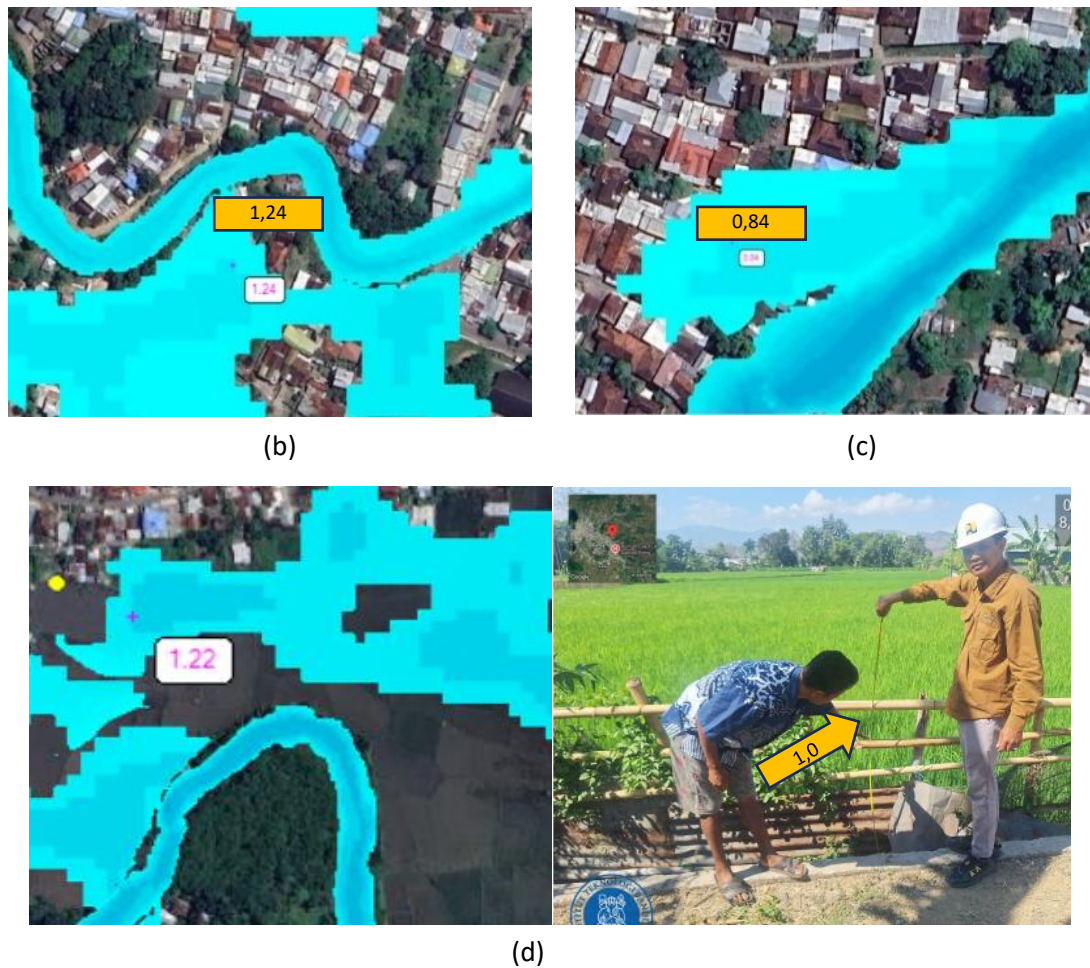
dengan berita kejadian banjir pada tahun 2016. Pemodelan kondisi eksisting selanjutnya dikalibrasi dengan data survei lapangan yang merujuk pada kejadian banjir tahun 2016 (Gambar 14) dengan tambahan lokasi kalibrasi yang ditunjukkan pada Gambar 17 (d).



Gambar 16 Hasil pemodelan 2D kondisi eksisting



(a)

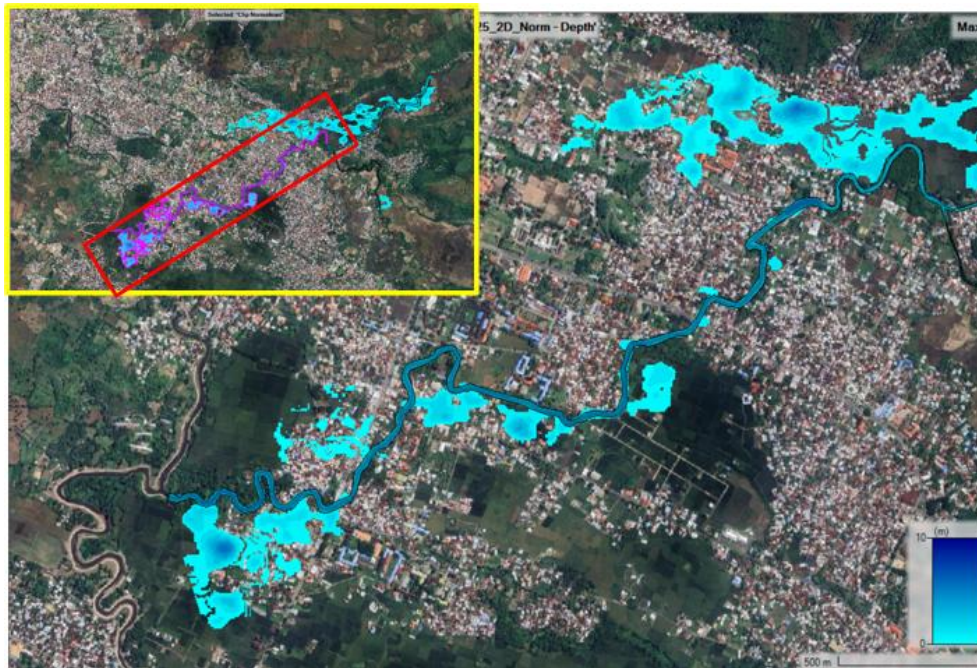


Gambar 17 Perbandingan tinggi genangan model dan lapangan di (b) titik 1, (c) titik 2 dan (d) titik 3

Pemodelan 2D Kondisi Pasca Normalisasi

Hasil pemodelan pada Gambar 18 menunjukkan bahwa luas genangan berkurang dari 89,87 ha menjadi 53,26 ha atau menurun sebesar 40,74% setelah normalisasi Sungai Sadia. Selain itu, tinggi genangan di bagian tengah sungai tidak lagi teridentifikasi secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kapasitas penampang sungai melalui normalisasi efektif dalam meningkatkan kemampuan alur sungai menampung debit banjir dan mengurangi potensi luapan. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa peningkatan kapasitas sungai dapat menurunkan luas dan tinggi genangan banjir (Farid et al., 2020; Tunas & Herman, 2019)

Namun demikian, genangan masih terjadi pada beberapa lokasi dengan elevasi rendah di sekitar sungai, baik di bagian hulu maupun hilir. Di bagian hulu, genangan dipengaruhi oleh luapan Sungai Ntobo yang menambah debit aliran menuju Sungai Sadia, sehingga diperlukan penanganan tambahan seperti normalisasi sungai atau pembangunan tanggul. Sementara itu, genangan di bagian hilir dipengaruhi oleh kondisi topografi yang rendah dan keterbatasan kapasitas tebing sungai, sehingga direkomendasikan pemasangan parapet. Temuan ini menunjukkan bahwa normalisasi sungai efektif mengurangi genangan, namun pengendalian banjir yang optimal tetap memerlukan kombinasi peningkatan kapasitas sungai dan pembangunan struktur pengendali tambahan (Alfajar et al., 2026; Formánek et al., 2013; Rizaldi et al., 2022).



Gambar 18 Hasil pemodelan 2D kondisi pasca normalisasi

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis hidrologi, debit banjir rencana dengan kala ulang 25 tahun (Q_{25}) pada DAS Sadia diperoleh sebesar $167,00 \text{ m}^3/\text{detik}$ menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu. Hasil pemodelan hidraulika dengan HEC-RAS menunjukkan bahwa kapasitas aliran Sungai Sadia pada kondisi eksisting belum memadai untuk mengalirkan debit tersebut, sehingga terjadi limpasan yang mengakibatkan genangan dengan kedalaman antara 0,1–4,0 m dan luas genangan mencapai 89,87 ha.

Simulasi kondisi pasca-normalisasi menunjukkan adanya peningkatan kapasitas hidraulik sungai yang ditandai dengan penurunan elevasi muka air banjir rata-rata sebesar 0,55 m pada bagian hulu bendung dan 1,35 m pada bagian hilir bendung. Selain itu, hasil pemodelan dua dimensi menunjukkan bahwa luas genangan berkurang menjadi 53,26 ha atau mengalami penurunan sebesar 40,74% dibandingkan kondisi eksisting.

Meskipun normalisasi sungai terbukti mampu meningkatkan kapasitas aliran dan mengurangi dampak banjir secara signifikan, genangan masih ditemukan pada beberapa area dengan elevasi relatif rendah, terutama yang dipengaruhi oleh kontribusi aliran dari Sungai Ntobo dan keterbatasan kapasitas tebing sungai. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengendalian tambahan,

seperti peningkatan kapasitas saluran pada anak sungai serta pembangunan tanggul atau parapet, untuk meningkatkan efektivitas pengendalian banjir di kawasan Sungai Sadia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Program Magister Pengelolaan Sumber Daya Air Institut Teknologi Bandung, BPSDM Kementerian PU, dan BBWS NT I Kementerian PU yang telah mendukung penyusunan jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, W. B., & Muladi, A. (2022). Alih Fungsi Kawasan Hutan dan Dampaknya Terhadap Bencana Banjir Yang Ada di Kabupaten Bima. *Jurnal Agrienvi*, 16(1), 75–82.
- Alfajar, G., Adi, A., Eka, K., Nugroho, O., & Rosyidi, I. (2026). Strategi Pengendalian Banjir Sungai Banger Kota Pekalongan terhadap Penurunan Muka Tanah dan Kenaikan Muka Laut Flood Control Strategy of The Banger River in Pekalongan City Considering Land Subsidence and Sea Level Rise. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 16(2), 97–112.
- Anugrahadi, A., Sumarto, U., & Purwiyono, T. T. (2021). The Palu Earthquake Formed a New Geological Structure. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 819(1), 1–5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/819/1/012027>

- Balai Teknik Bendungan. (2022). *Modul 1 Analisis Curah Hujan: Bimbingan Teknis Analisis Debit Banjir Desain dengan Menggunakan Data Hujan Satelit*. 61.
- Brunner, G. W. (2023). HEC-RAS HEC-RAS 2D User 's Manual. *U.S. Army Corps of Engineers*, 6.5(May), 1–272.
<https://www.hec.usace.army.mil/confluence/ras-docs/r2dum/latest>
- Farid, M., Gunawan, B., Badri Kusuma, M. S., Habibi, S. A., & Yahya, A. (2020). Assessment of flood risk reduction in Bengawan Solo River: A case study of Sragen Regency. *International Journal of GEOMATE*, 18(70), 229–234.
<https://doi.org/10.21660/2020.70.18010>
- Google. 2024. *Google Earth Pro*.
<https://earth.google.com/>. Diakses pada 3 Desember 2024.
- Formánek, A., Silasari, R., Kusuma, M. S. B., & Kardhana, H. (2013). Two-dimensional model of ciliwung river flood in DKI Jakarta for development of the regional flood index map. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 45 B(3), 307–325.
<https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2013.45.3.7>
- Hartyan, S. (2024). *Pemodelan Debit Banjir Rencana Berbasis Data Hujan Satelit pada Daerah Tangkapan Air Bendungan Meninting*. 30(1), 1–8.
<https://doi.org/10.14710/mkts.v30i1.59024>
- Juliana, I. C., Kusuma, M. S. B., Cahyono, M., Martokusumo, W., & Kuntoro, A. A. (2017). The effect of differences rainfall data duration and time period in the assessment of rainwater harvesting system performance for domestic water use. *AIP Conference Proceedings*, 1903(September).
<https://doi.org/10.1063/1.5011616>
- Kardhana, H., Valerian, J. R., Rohmat, F. I. W., & Kusuma, M. S. B. (2022). Improving Jakarta's Katulampa Barrage Extreme Water Level Prediction Using Satellite-Based Long Short-Term Memory (LSTM) Neural Networks. *Water (Switzerland)*, 14(9).
<https://doi.org/10.3390/w14091469>
- Kuntoro, A. A., Putro, A. W., Kusuma, M. S. B., & Natasaputra, S. (2017). The effect of land use change to maximum and minimum discharge in Cikapundung River Basin. *AIP Conference Proceedings*, 1903(July).
<https://doi.org/10.1063/1.5011621>
- Merwade, V. (2022). *Hydrologic Modeling using HEC-HMS Opening / creating a HEC-HMS project*. 1–27.
- Mihu-pintilie, A., Cîmpianu, I., Stoleriu, C. C., & Paveluc, L. E. (2019). Using High-Density LiDAR Data and 2D Streamflow Hydraulic Modeling to Improve Urban Flood Hazard Maps: A HEC-RAS Multi-scenario approach. *MDPI Journals, Water* 2019, 11(9), 1832;
<https://doi.org/10.3390/w11091832>.
- Oriandra, R. D., Kusuma, M. S. B., Farid, M., Nugroho, E. O., Soekarno, I., & Andrean, R. (2024). Risk analysis of debris and non-debris flow in the Cisokan river flood event. *E3S Web of Conferences*, 479.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447903004>
- Permatasari, N., Harlan, D., & Soentoro, E. A. (2022). *Study of the Impact of Sediment Rate on River Morphology Changes and Floods in the Sadar River, Mojokerto Regency Basin River Organization of Sumatera V Padang, Ministry of Public Works and Housing Republic of Indonesia*. 150–162.
- PUPR, K. (2021). PERMEN PUPR Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2021. *Petunjuk Operasional Pengelolaan Dana Alokasi Khusus Infrastruktur Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Tahun Anggaran 2021*, 3, 95–140.
- Rizaldi, A., Kusuma, M. S. B., Kuntoro, A. A., & Kardhana, H. (2022). Trend Analysis of Rainfall, Land Cover, and Flow Discharge in the Citarum Hulu–Majalaya Basin. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 12(4), 1469–1477.
<https://doi.org/10.18517/ijaseit.12.4.15225>
- Sherwood, J. M., & Huitger, C. A. (2005). Bankfull Characteristics of Ohio Streams and Their Relation to Peak Streamflows. In *United States Geological Survey, Scientific Investigations Report* 5153.
- Son, J. H., & Carlson, K. H. (2015). Real-time surrogate analysis for potential oil and gas contamination of drinking water resources. *Applied Water Science*, 5(3), 283–289.
<https://doi.org/10.1007/s13201-014-0190-x>
- Taufik, S. R., Yatrib, M., Harman, A. N., Kesuma, T. N. A., Saputra, D., & Kusuma, M. S. B. (2022). Assasment of flood hazard reduction in DKI Jakarta: Bendungan Hilir Village. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 989(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/989/1/012018>

- Tunas, I. G., & Herman, R. (2019). The Effectiveness of River Bank Normalization on Flood Risk Reduction. *MATEC Web of Conferences*, 280, 01009.
<https://doi.org/10.1051/mateconf/201928001009>
- U.S. Army Corps of Engineers. (2024). *HEC-RAS River Analysis System HEC-RAS 2D User's Manual*.
- Vilímek, V., Wang, F., Strom, A., Sassa, K., Bobrowsky, P. T., & Takara, K. (2021). *Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk*. 5, 1–427.
- Yosua, H., Kusuma, M. S. B., & Nugroho, J. (2023). An assessment of pluvial hazard in South Jakarta based on land-use/cover change from 2016 to 2022. *Frontiers in Built Environment*, 9(January), 1–8.
<https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1345894>
- Yuniartanti, R. K. (2018). Mitigasi Banjir Struktural Dan Non-Struktural Untuk Daerah Aliran Sungai Rontu Di Kota Bima. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, 2(2), 137–150. <http://ejournal.forda-mof.org/ejournal-litbang/index.php/JPPDAS/article/view/4600>