

Analisis Risiko Banjir Sungai Tukad Unda Berbasis Pemodelan Hidrologi dan Hidraulika sebagai Dasar Strategi Mitigasi

I Made Alit Widnyana⁽¹⁾, Husnayaen⁽²⁾, Suci Rahmawati⁽³⁾

^{1,2,3} Institut Sains dan Teknologi Nahdlatul Ulama Bali, Indonesia
Email: alitwidnyana1968@gmail.com, husnayaen.23@gmail.com,
aing.chie@gmail.com

Diterima:18-05-2026; Disetujui:26-06-2026; Dipublikasi:27-06-2026

ABSTRAK

Sungai Tukad Unda di Kabupaten Klungkung, Bali, memiliki peran penting dalam sistem irigasi dan ketahanan pangan lokal. Namun, perubahan tata guna lahan serta peningkatan curah hujan akibat perubahan iklim dan fenomena cuaca ekstrem meningkatkan risiko banjir yang berpotensi mengganggu produktivitas pertanian dan aksesibilitas masyarakat. Penelitian ini bertujuan menghasilkan peta spasial kerentanan banjir di DAS Tukad Unda menggunakan model hidrodinamika 2D HEC-RAS yang terintegrasi dengan data GIS. Simulasi dilakukan untuk skenario curah hujan ekstrem dan perubahan tata guna lahan, dengan output berupa tinggi muka air, elevasi muka air, kecepatan aliran, area terdampak, dan sebaran genangan yang tervalidasi melalui data lapangan. Hasil analisis menunjukkan debit banjir rencana periode ulang 50 tahun (Q50) sebesar 82,32 m³/s dan periode ulang 100 tahun (Q100) sebesar 83,44 m³/s. Tutupan lahan didominasi pertanian lahan kering campur semak (39%), sawah (20%), dan pertanian lahan kering (14%). Dari hasil simulasi HEC-RAS, selisih kedalaman dan TMA antara Q50 dan Q100 tergolong kecil (0,1–0,9 m), menunjukkan sistem hidraulik Tukad Unda masih stabil namun sudah mendekati kapasitas maksimum. Oleh karena itu, strategi mitigasi harus diarahkan pada: Konservasi hulu untuk pengendalian debit sumber, Optimalisasi kapasitas sungai di segmen tengah untuk mengurangi genangan dan penguatan sistem proteksi di hilir untuk menghadapi kombinasi debit sungai dan pasang laut.

Kata Kunci: Simulasi Hidrodinamika, Tukad Unda, HEC-RAS 2D, Mitigasi Banjir, Swasembada Pangan Berkelanjutan.

PENDAHULUAN

Banjir merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yang paling dominan terjadi di Indonesia. Intensitas dan frekuensi kejadian banjir dipengaruhi oleh variabilitas iklim, peningkatan kejadian cuaca ekstrem, serta perubahan tata guna lahan yang mempengaruhi respon hidrologi Daerah Aliran Sungai (DAS) (Ammar Rafiei Emam, Binaya Kumar Mishra, Pankaj Kumar, Yoshifumi Masago, 2016). Curah hujan dengan intensitas tinggi dalam durasi panjang meningkatkan debit aliran sungai secara signifikan, sehingga kapasitas tampung sungai sering kali terlampaui dan menyebabkan limpasan ke wilayah sekitarnya. Kondisi ini menunjukkan pentingnya analisis hidrologi dan hidraulika yang akurat dalam memahami karakteristik aliran banjir sebagai dasar perumusan langkah mitigasi yang berbasis data (Winggar & Hero, 2025).



Salah satu wilayah yang memiliki kerentanan terhadap banjir adalah Daerah Aliran Sungai (DAS) Tukad Unda di Provinsi Bali (Wijana IMS, Wijaya IMS, Asy-
syakur AR, Indrawan GS, Wiradana PA & Al, 2022). Sungai ini merupakan sungai
perennial dengan panjang sekitar 22,56 km dan melintasi Kabupaten Bangli,
Karangasem, serta Klungkung. Karakteristik morfologi sungai yang dipengaruhi
oleh aktivitas vulkanik Gunung Agung menyebabkan tingginya potensi sedimentasi
di bagian hilir (I Wayan Pasir, 2018). Endapan material vulkanik dan perubahan
alur sungai akibat sedimentasi masif berkontribusi terhadap penurunan kapasitas
tampung sungai. Pada saat terjadi hujan ekstrem, kondisi tersebut meningkatkan
risiko limpasan dan genangan di wilayah hilir (Kementerian Pekerjaan Umum.
Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2021).

Wilayah tengah dan sebagian hilir DAS Tukad Unda memiliki fungsi
strategis sebagai kawasan pertanian yang menopang sistem irigasi dan produksi
pangan lokal (Pola Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Bali Penida,
2017). Banjir yang terjadi secara berulang berpotensi merusak lahan pertanian,
mengganggu sistem irigasi, serta menurunkan produktivitas tanaman pangan (Orji
et al., 2025). Dalam jangka panjang, kondisi ini dapat mengancam keberlanjutan
produksi pertanian dan ketahanan pangan daerah. Oleh karena itu, analisis risiko
banjir tidak hanya penting dalam konteks pengurangan bencana, tetapi juga dalam
menjaga stabilitas sektor pertanian yang menjadi sumber penghidupan masyarakat
(Kim et al., 2023).

Sejumlah penelitian sebelumnya telah membahas kejadian banjir di
berbagai DAS menggunakan pendekatan hidrologi maupun pemodelan hidraulika
(Ansarifard et al., 2024). Namun, kajian yang secara komprehensif
mengintegrasikan analisis hidrologi (curah hujan rencana dan debit banjir rencana)
dengan simulasi hidraulika untuk mengidentifikasi tingkat risiko banjir di Sungai
Tukad Unda masih terbatas. Selain itu, keterkaitan antara hasil pemodelan teknis
dengan perumusan strategi mitigasi berbasis data pada kawasan pertanian belum
banyak dibahas secara kuantitatif (Shuaibu et al., 2023). Kesenjangan ini
menunjukkan perlunya penelitian yang menggabungkan analisis debit banjir
rencana dan pemodelan hidraulika sungai sebagai dasar dalam menentukan tingkat
risiko dan merumuskan strategi mitigasi yang lebih terarah (Renu et al., 2025).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk
menganalisis risiko banjir Sungai Tukad Unda berbasis pemodelan hidrologi dan
hidraulika, serta merumuskan strategi mitigasi yang didasarkan pada hasil analisis
teknis. Hasil penelitian diharapkan memberikan kontribusi ilmiah dalam
pengelolaan DAS serta menjadi dasar perencanaan mitigasi risiko banjir yang lebih
efektif dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Lokasi geografis penelitian ini dimulai dari aliran Sungai Telaga Waja,
Bendungan tirai air terjun sampai dengan aliran Sungai Tukad Unda di lokasi Pusat

Kebudayaan Bali. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dan spasial untuk menganalisis dampak hidrodinamika Sungai Tukad Unda terhadap ketahanan pangan dengan memanfaatkan pemodelan GIS dan HEC-RAS. Penelitian ini dibagi dalam empat tahapan utama, yaitu analisis curah hujan rencana, transformasi hujan debit, pemodelan hidraulika menggunakan HEC-RAS, serta analisis risiko banjir berdasarkan hasil simulasi. (Ingerawi Sekaring Bumi, 2023).

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini berupa (1) Data curah hujan. Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan maksimum tahunan dengan periode data 20 tahun yang diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah III Denpasar dan Balai Wilayah Sungai Bali Penida. (2) Data Topografi dan Geometri Sungai. Data Topografi berupa file SHP batas Daerah Aliran Sungai Tukad Unda, Data Sungai Tukad Unda dan data DEM (Digital Elevation Modeling) diperoleh dari Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BP DAS) Unda Anyar. (3) Data Tata Guna Lahan. Data luas tutupan lahan di wilayah DAS Tukad Unda dari Balai Pemantapan Kawasan Hutan (BPKH) Wilayah VIII UPT Ditjen Planologi Kehutanan Kementerian Kehutanan Bali - Nusa Tenggara Barat. (4) Perangkat Lunak Yang Digunakan. (a) Aplikasi HEC-RAS 6.6 untuk pemodelan hidrolika. (b) Aplikasi HEC-HMS 4.13 untuk analisis hidrologi. (c) Aplikasi QGIS untuk analisis spasial dan pengolahan data DEM. (d) ,Aplikasi Microsoft Excel untuk analisis statistik hidrologi.

Tahapan analisis data meliputi: (1) Uji Konsistensi Data. Konsistensi data curah hujan diuji menggunakan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*) (Pratama, Bayu Yoga, Raden Roro Rintis Hadiani, 2019). Metode RAPS digunakan untuk mengetahui apakah suatu deret data (misalnya curah hujan tahunan atau bulanan) konsisten secara statistik atau terjadi perubahan signifikan (*break, shift*) dalam pola data akibat faktor non-klimatis, misalnya perpindahan alat ukur,

pergantian petugas pencatat, Perubahan lingkungan sekitar stasiun (vegetasi, urbanisasi) dan gangguan instrumen. Uji konsistensi dengan metode RAPS sebagai berikut:

$$Sk^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - Y)^2 \dots\dots\dots(1)$$

Dengan $k=1,2,3\dots n$

$$Dy^2 = \frac{Sk^*}{n} \dots\dots\dots(2)$$

$$Sk^{**} = \frac{Sk^*}{Dy} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

$Y_1 =$ Data hujan ke 1

$Y =$ Data hujan rerata – i

$Dy =$ Simpangan rata – rata

$n =$ jumlah data

(2) Uji Ketiadaan Trend (*Trend Test*). Uji ini lebih difokuskan untuk memastikan apakah deret waktu (misalnya curah hujan tahunan) murni stasioner atau justru memiliki tren naik/turun yang signifikan secara statistik. Dalam analisis hidrologi, sangat penting dilakukan karena data yang bertren biasanya dipengaruhi faktor iklim global seperti ENSO (*El Niño-Southern Oscillation*), perubahan iklim atau faktor lokal seperti urbanisasi, deforestasi. Untuk analisis frekuensi (hujan/debit rencana) disyaratkan data tanpa tren agar asumsi keajegan (*stationarity*) terpenuhi.

(3) Uji Inlier dan Outlier. Dalam analisis hidrologi, pengujian ini penting karena data ekstrem bisa mempengaruhi hasil analisis frekuensi. Uji Inlier Adalah nilai ekstrem yang terlalu kecil dibandingkan pola umum data. Hal ini dapat membuat hasil analisis menjadi terlalu rendah. Sedangkan Outlier adalah nilai ekstrem yang terlalu besar dibandingkan pola umum data. Hal ini dapat menggelembungkan hasil perhitungan hujan/debit rencana. Keduanya perlu diuji agar tidak salah memasukkan data anomali yang sebetulnya tidak representatif. (4) Analisis Frekuensi. Setelah dilakukan uji konsistensi dan uji ketiadaan tren, langkah selanjutnya adalah menganalisis bentuk distribusi data hujan dengan menghitung *Coefisien skewness* (Cs) dan *Coefisien kurtosis* (Ck) (Zevri, 2025). *Coefisien skewness* (Cs) digunakan untuk menggambarkan tingkat asimetri dari distribusi data curah hujan. Nilai Cs mendekati nol menunjukkan bahwa data terdistribusi relatif simetris. Apabila nilai Cs bernilai positif, distribusi data condong ke kanan yang berarti terdapat kecenderungan munculnya data ekstrem dengan nilai besar. Sebaliknya, apabila nilai Cs bernilai negatif, distribusi data condong ke kiri yang mengindikasikan adanya dominasi nilai kecil. Sementara itu, *Coefisien kurtosis* (Ck) digunakan untuk menilai tingkat keruncingan distribusi data. Nilai Ck yang mendekati 3 menunjukkan bahwa distribusi data mendekati distribusi normal. Apabila $Ck > 3$, maka distribusi dikatakan leptokurtic atau lebih runcing, yang menunjukkan kecenderungan munculnya nilai ekstrem lebih sering. Sedangkan Ck

< 3 menunjukkan distribusi platykurtic atau lebih datar, yang mengindikasikan nilai ekstrem jarang muncul.

Coefisien variasi (Cv).

$$Cv = \frac{Sx}{x} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

Cv : *Coefisien variasi*

Sx : *Standar deviasi*

x : *Rata-Rata*

Coefisien kurtosis (Ck).

$$Ck = \frac{x \sum_{i=1}^n (Xi - x)^4}{(n - 1)(n - 2)S^4} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana:

Ck = *Coefisien kurtosis*

Xi = *Nilai tengah*

X = *Rata-Rata*

n = *Jumlah data*

Coefisien skewness (Cs).

$$Cs = \frac{N}{(n - 1)(n - 2)Sx^3} \sum (Xi - X)^3 \dots\dots\dots(6)$$

Dimana:

Cs = *Koefisien skewness*

Xi = *Nilai tengah*

X = *Rata-Rata*

Sx = *Standar deviasi*

n = *Jumlah data*

(5) Analisis Frekuensi dan Pemilihan Distribusi Curah Hujan Rancangan. Berdasarkan hasil analisis frekuensi curah hujan rancangan dengan tiga metode distribusi, yaitu Gumbel, Normal, dan Log Pearson Type III, diperoleh nilai hujan rancangan untuk berbagai periode ulang antara 2 hingga 1000 tahun. Untuk memastikan kesesuaian distribusi frekuensi yang dipilih mana dilakukan dua uji yaitu uji Chi Square dan Smirnov-Kolmogorov. Uji Chi Square menentukan parameter x kuadrat yang dicari untuk pengambilan keputusan yang ditentukan dengan rumus Uji Smirnov-Kolmogorov (Sihotang, Rico, Miftah Hazmi, 2011).

$$X_{h^2} = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana

X_{h2} = *Parameter chi kuadrat terhitung*

G = *jumlah sub kelompok*

O_i = *jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok i*

E_i = *jumlah nilai teoritis pada sub kelompok i*

Persamaan jumlah kelas:

$$K=1+3.32\log n \dots\dots\dots(8)$$

Dengan:

K = jumlah kelas

N = jumlah data

Derajat bebas

$$V=K-h-1 \dots\dots\dots(9)$$

Dimana:

h = jumlah parameter

Pengujian menggunakan uji smirnov-kolmogorov tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu, maka dari itu uji smirnov-kolmogorov sering disebut uji non-parametrik parametrik (Upomo, Togani Cahyadi, 2016)

Analisis frekuensi dilakukan untuk menentukan jenis distribusi yang paling sesuai dalam menggambarkan peluang terjadinya curah hujan harian maksimum tahunan. Pada penelitian ini digunakan tiga jenis distribusi probabilitas, yaitu Normal, Gumbel, dan Log Pearson III.

Setelah dilakukan analisis distribusi frekuensi langkah berikutnya adalah menentukan intensitas hujan. Intensitas hujan dihitung menggunakan rumus Mononobe, yaitu:

$$I = \frac{R_{24}}{24} x \left(\frac{24}{t}\right)^{2/2} \dots\dots\dots(10)$$

Dimana:

I = Intensitas curah hujan

R₂₄ = Curah hujan maksimal dalam 24 jam (mm)

t = lamanya curah hujan

Simulasi hidrodinamik pada penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak HEC-RAS yang terintegrasi dengan RAS Mapper untuk keperluan pemodelan aliran dan pemetaan genangan banjir. Tahapan ini bertujuan untuk menggambarkan perilaku aliran pada Tukad Unda di bawah kondisi debit banjir rencana, serta untuk menghasilkan peta luasan genangan yang relevan dengan kebutuhan mitigasi risiko banjir (Kalra, A., Joshi, N., Baral, S., Pradhan, S. N., Mambepa, M., Paudel, S., ... Gupta, 2021). Tahapan yang dilakukan dijelaskan sebagai berikut: (1) Pembuatan Geometri Sungai. Tahap awal adalah pembuatan geometri sungai. Proses ini dimulai dengan digitasi centerline Tukad Unda, bank line, serta cross section sungai menggunakan perangkat lunak QGIS berdasarkan data peta topografi dan citra DEM (Digital Elevation Model). Data hasil digitasi kemudian diekspor dalam format GIS yang sesuai, dan diimpor ke dalam HEC-RAS untuk membangun model geometri jaringan sungai. (2) Input Data Hidrologi. Data debit banjir rencana ($Q_2, Q_5, Q_{10}, Q_{25}, Q_{50}, Q_{100}$) yang diperoleh dari hasil analisis hidrologi digunakan sebagai boundary condition dalam model. Debit-debit ini dimasukkan pada titik hulu (upstream boundary) sungai, sedangkan kondisi hilir (downstream boundary) ditentukan dengan pendekatan normal depth atau stage–

discharge relationship sesuai kondisi lapangan. (3) Simulasi Model 2D. Pemodelan aliran dilakukan dalam mode 2D unsteady flow untuk memperoleh gambaran distribusi aliran pada saluran utama maupun luapan ke daerah dataran banjir (floodplain). Simulasi dijalankan untuk beberapa skenario, antara lain skenario debit puncak berdasarkan periode ulang hujan ekstrem, sehingga dapat ditinjau variasi respon hidrodinamik sistem sungai pada berbagai tingkat kejadian banjir. (4) Output Simulasi. Hasil akhir simulasi hidrodinamik berupa peta spasial yang dihasilkan melalui RAS Mapper. Peta tersebut menunjukkan luasan genangan banjir, kedalaman genangan, serta kecepatan aliran pada berbagai skenario debit banjir rencana. Informasi spasial ini kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi area terdampak, khususnya lahan pertanian dan permukiman di sepanjang bantaran Tukad Unda, sehingga dapat menjadi dasar dalam perumusan strategi mitigasi risiko banjir.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Hidrologi.

Analisis hidrologi digunakan karena ketidakpastian curah hujan yang akan turun pada selang waktu tertentu (Bambang Triatmojo, 2008). Dalam kajian secara teoritis ilmu statistik, telah diketahui jenis sebaran ataupun distribusi analisa frekuensi (selanjutnya disebut distribusi) yang acapkali digunakan untuk menentukan tinggi curah hujan rancangan dalam suatu titik pengukuran (D. S. E. Kurniyaningrum, L. M. Limantara, 2019). Tahapan analisis yang dilakukan dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Inventarisasi dan Penataan Data.

Tahap ini mencakup penyaringan awal terhadap data yang tidak logis, seperti adanya duplikasi tanggal atau pencatatan nilai curah hujan ekstrem yang tidak sesuai dengan kondisi klimatologi setempat. Data curah hujan maksimum tahunan di DAS Unda dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Curah Hujan Maksimum DAS Unda

No.	Tahun	Stasiun Penakar Hujan		Rata-rata
		SCH Bangli	SCH Karangasem	
1	2000	114.32	81.52	98
2	2001	97.25	98.4	98
3	2002	92.6	72.7	83
4	2003	109.1	131.8	120
5	2004	70.2	97.1	84
6	2005	103.0	78.3	91
7	2006	84.0	91.5	88
8	2007	111.3	164.6	138
9	2008	93.7	88.1	91
10	2009	75.2	82.3	79
11	2010	84.9	92.8	89

12	2011	94.4	90.7	93
13	2012	88.6	83.6	86
14	2013	113.93	87.08	101
15	2014	88.97	105.74	97
16	2015	68.43	90.23	79
17	2016	96.68	107.9	102
18	2017	119.05	130.41	125
19	2018	128.86	145.58	137
20	2019	69.03	80.04	75

2. Uji Konsistensi Data.

Konsistensi data curah hujan diuji menggunakan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*). Hasil uji konsistensi data curah hujan untuk SCH Bangli dan SCH Karangasem konsisten dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. Hasil Uji Konsistensi SCH Bangli dan SCH Karangasem

Tahun	Hujan (mm)	Sk*	Sk**	Sk**	Hujan (mm)	Sk*	Sk**	Sk**
2000	114.3	19	1.11	1.11	81.5	-19	-0.75	0.75
2001	97.3	2	0.12	0.12	98.4	-2	-0.07	0.07
2002	92.6	-3	-0.15	0.15	72.7	-27	-1.11	1.11
2003	109.1	14	0.81	0.81	131.8	32	1.29	1.29
2004	70.2	-25	-1.44	1.44	97.1	-3	-0.12	0.12
2005	103.0	8	0.45	0.45	78.3	-22	-0.89	0.89
2006	84.0	-11	-0.65	0.65	91.5	-9	-0.35	0.35
2007	111.3	16	0.93	0.93	164.6	65	2.63	2.63
2008	93.7	-1	-0.08	0.08	88.1	-12	-0.49	0.49
2009	75.2	-20	-1.16	1.16	82.3	-18	-0.72	0.72
2010	84.9	-10	-0.60	0.60	92.8	-7	-0.29	0.29
2011	94.4	-1	-0.04	0.04	90.7	-9	-0.38	0.38
2012	88.6	-7	-0.38	0.38	83.6	-16	-0.67	0.67
2013	113.9	19	1.08	1.08	87.1	-13	-0.53	0.53
2014	89.0	-6	-0.36	0.36	105.7	6	0.23	0.23
2015	68.4	-27	-1.55	1.55	90.2	-10	-0.40	0.40
2016	96.7	2	0.09	0.09	107.9	8	0.32	0.32
2017	119.1	24	1.38	1.38	130.4	30	1.24	1.24
2018	128.9	34	1.95	1.95	145.6	46	1.86	1.86
2019	69.0	-26	-1.51	1.51	80.0	-20	-0.81	0.81
Jumlah Rata-Rata	1903.39	Sk** min	-1.55		Jumlah Rata-Rata	2000.50	Sk** min	-1.11
	95	Sk** maks	1.95			100	Sk** maks	2.63
N	20	R	3.49		n	20	R	3.74
S	17.30	Q	1.95		S	24.54	Q	2.63

Tahun	Hujan (mm)	Sk*	Sk**	Sk**	Hujan (mm)	Sk*	Sk**	Sk**
Kontrol 95 %								
Q/n ^{0.5}	0.435	<	1.22	DITERIMA	0.588	<	1.22	DITERIMA
R/n ^{0.5}	0.781	<	1.43	DITERIMA	0.837	<	1.43	DITERIMA

3. Uji Ketiadaan Tren (Trend Test).

Untuk analisis frekuensi (hujan/debit rencana) disyaratkan data tanpa tren agar asumsi keajegan (stationarity) terpenuhi. Hasil uji ketiadaan tren dari kedua stasiun curah hujan data tidak ada trend seperti terlihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Hasil Uji Ketiadaan Trend SCH Bangli.

Tahun	CH Maks	Ran k	Peringkat		dt	dt ²
			CH	Rt		
2000	114.3	1	128.9	19	18	324
2001	97.3	2	119.1	18	16	256
2002	92.6	3	114.3	1	-2	4
2003	109.1	4	113.9	14	10	100
2004	70.2	5	111.3	8	3	9
2005	103.0	6	109.1	4	-2	4
2006	84.0	7	103.0	6	-1	1
2007	111.3	8	97.3	2	-6	36
2008	93.7	9	96.7	17	8	64
2009	75.2	10	94.4	12	2	4
2010	84.9	11	93.7	9	-2	4
2011	94.4	12	92.6	3	-9	81
2012	88.6	13	89.0	15	2	4
2013	113.9	14	88.6	13	-1	1
2014	89.0	15	84.9	11	-4	16
2015	68.4	16	84.0	7	-9	81
2016	96.7	17	75.2	10	-7	49
2017	119.1	18	70.2	5	-13	169
2018	128.9	19	69.0	20	1	1
2019	69.0	20	68.4	16	-4	16
Jumlah						1224.00
N						20
Kp						0.080
T						0.34
Hipotesa						
Hipotesa diterima jika nilai $t < t_c \rightarrow$			tidak ada trend (Rt dan Tt independen, tidak saling tergantung)			

Tahun	CH Maks	Rank	Peringkat		dt	dt ²
			CH	Rt		
Hipotesa ditolak jika nilai $t > t_c \rightarrow$			Ada trend			
Analisa			Kesimpulan			
$\pm a/2$	2.50%		0.34	<	2.101	
uji dua sisi	$t_{0.975}$	2.10	Diterima, data tidak ada trend			
dk	18	1				

Tabel 4. Hasil Uji Ketiadaan Trend SCH Karangasem.

Tahun	CH Maks	Rank	Peringkat		Dt	dt ²
			CH	Rt		
2000	81.5	1	164.6	8	7	49
2001	98.4	2	145.6	19	17	289
2002	72.7	3	131.8	4	1	1
2003	131.8	4	130.4	18	14	196
2004	97.1	5	107.9	17	12	144
2005	78.3	6	105.7	15	9	81
2006	91.5	7	98.4	2	-5	25
2007	164.6	8	97.1	5	-3	9
2008	88.1	9	92.8	11	2	4
2009	82.3	10	91.5	7	-3	9
2010	92.8	11	90.7	12	1	1
2011	90.7	12	90.2	16	4	16
2012	83.6	13	88.1	9	-4	16
2013	87.1	14	87.1	14	0	0
2014	105.7	15	83.6	13	-2	4
2015	90.2	16	82.3	10	-6	36
2016	107.9	17	81.5	1	-16	256
2017	130.4	18	80.0	20	2	4
2018	145.6	19	78.3	6	-13	169
2019	80.0	20	72.7	3	-17	289
Jumlah						1598.00
N						20
Kp						-0.202
T						-0.87
Hipotesa						

Tahun	CH Maks	Rank	Peringkat CH	Dt Rt	dt ²
Hipotesa diterima jika nilai $t < t_c \rightarrow$			tidak ada trend (Rt dan Tt independen, tidak saling tergantung)		
Hipotesa ditolak jika nilai $t > t_c \rightarrow$			Ada trend		
Analisa			Kesimpulan		
$\pm a/2$	2.50%		-0.87	<	2.101
uji dua sisi	$t_{0.975}$	2.101	Diterima, data tidak ada trend		
Dk	18				

4. Uji Inlier dan Outlier.

Hasil uji inlier dan outlier seperti ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Uji Inlier dan Outlier SCH Bangli dan SCH Karangasem

Tahun	Xi	ln Xi	Tahun	Xi	ln Xi
2000	114.3	4.74	2000	81.5	4.40
2001	97.3	4.58	2001	98.4	4.59
2002	92.6	4.53	2002	72.7	4.29
2003	109.1	4.69	2003	131.8	4.88
2004	70.2	4.25	2004	97.1	4.58
2005	103.0	4.63	2005	78.3	4.36
2006	84.0	4.43	2006	91.5	4.52
2007	111.3	4.71	2007	164.6	5.10
2008	93.7	4.54	2008	88.1	4.48
2009	75.2	4.32	2009	82.3	4.41
2010	84.9	4.44	2010	92.8	4.53
2011	94.4	4.55	2011	90.7	4.51
2012	88.6	4.48	2012	83.6	4.43
2013	113.9	4.74	2013	87.1	4.47
2014	89.0	4.49	2014	105.7	4.66
2015	68.4	4.23	2015	90.2	4.50
2016	96.7	4.57	2016	107.9	4.68
2017	119.1	4.78	2017	130.4	4.87
2018	128.9	4.86	2018	145.6	4.98
2019	69.0	4.23	2019	80.0	4.38
Rerata		4.54	Rerata		4.58
Skew		-0.23	Skew		1.08
SD		0.19	SD		0.22
K_N		2.385	K_N		2.385
X_H		145.7	X_H		165.2

Tahun	X_i	$\ln X_i$	Tahun	X_i	$\ln X_i$
TIDAK ADA OUTLIER ATAS			TIDAK ADA OUTLIER ATAS		
X_L		60.2	X_L		57.6
TIDAK ADA OUTLIER BAWAH			TIDAK ADA OUTLIER BAWAH		

5. Analisis Frekuensi.

Tahap awal dalam perhitungan analisis frekuensi adalah memilih jenis distribusi frekuensi yang sesuai. Pemilihan jenis distribusi frekuensi dilakukan dengan membandingkan C_s dan C_k seperti yang diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Analisis Frekuensi Curah Hujan Maksimum Tahunan

Metode	Syarat		Hasil Perhitungan		Keterangan
	C_s	C_k	C_s	C_k	
Normal	0,000	3,000	1,232	4,216	Tidak Memenuhi
Log Normal	0,763	3,000	0,921	3,717	Tidak Memenuhi
Gumbel	<1,1396	<5,4002	1,232	4,216	Memenuhi
Log Person III	$\neq 0$	-	0,852	-1,230	Memenuhi

6. Analisis Frekuensi dan Pemilihan Distribusi Curah Hujan Rancangan.

Berdasarkan hasil analisis frekuensi curah hujan rancangan dengan tiga metode distribusi, yaitu Gumbel, Normal, dan Log Pearson Type III, diperoleh nilai hujan rancangan untuk berbagai periode ulang antara 2 hingga 1000 tahun sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Analisis Frekuensi dan Uji Kesesuaian Distribusi Curah Hujan Rancangan

No.	Periode Ulang (Tahun)	Hujan Rancangan (mm)		
		Metode	Metode	Metode
		Gumbel	Normal	Log Pearson Type III
1	2	94.92	97.60	100.04
2	5	114.22	112.80	110.91
3	10	127.00	120.76	114.83
4	25	143.14	127.27	117.81
5	50	155.11	134.69	119.15
6	100	167.00	139.76	120.05
7	200	178.84	144.28	120.66
8	1000	206.28	153.51	122.81

UJI SMIRNOV KOLMOGOROF				
D				
Maximum,				
D Max		0.124	0.096	0.112
Derajat				
Signifikansi		5.000	5.000	5.000

D Kritis	0.290	0.290	0.290
HIPOTESA	DITERIMA	DITERIMA	DITERIMA
	UJI CHI SQUARE		
Chi - Square hitung	4.00	6.50	3.50
Chi - Square kritis	5.99	5.99	5.99
Derajat Bebas	2.00	2.00	2.00
Derajat Signifikansi	5.00	5.00	5.00
	TIDAK		
HIPOTESA	DITERIMA	DITERIMA	DITERIMA

Berdasarkan kedua uji kesesuaian tersebut, dapat disimpulkan bahwa distribusi Log Pearson Type III merupakan metode yang paling sesuai digunakan dalam penentuan hujan rancangan pada lokasi penelitian ini. Hal ini sejalan dengan catatan perhitungan yang menunjukkan bahwa metode Log Pearson Type III dipakai sebagai dasar penetapan hujan rancangan untuk perhitungan hidrologi selanjutnya.

7. Analisis Intensitas Hujan dengan Metode Mononobe.

Setelah dilakukan analisis distribusi frekuensi dan dipilih Metode Log Pearson Type III sebagai distribusi yang paling sesuai, langkah berikutnya adalah menentukan intensitas hujan menggunakan rumus Mononobe, sehingga didapatkan intensitas hujan periode ulang (waktu) seperti dalam Tabel 8.

Tabel 8. Intensitas Hujan Periode Ulang (waktu)

Waktu (t) Jam	Intensitas Hujan (mm/jam)							
	R2	R5	R10	R25	R50	R100	R200	R1000
	100.04	110.91	114.83	117.81	119.15	120.05	120.66	122.81
1	55.05	61.04	63.19	64.83	65.57	66.07	66.40	67.58
2	34.68	38.45	39.81	40.84	41.31	41.62	41.83	42.57
3	26.47	29.34	30.38	31.17	31.52	31.76	31.92	32.49
4	21.85	24.22	25.08	25.73	26.02	26.22	26.35	26.82
5	18.83	20.87	21.61	22.17	22.43	22.59	22.71	23.11
6	16.67	18.48	19.14	19.63	19.86	20.01	20.11	20.47

8. Perhitungan Debit Rencana Dengan Metode SCS Unit Hydrograph Model.

Analisis menggunakan metode SCS Unit Hydrograph Model untuk mendapatkan puncak debit rencana maksimum pada kala ulang tertentu. Dari hasil analisis diperoleh

bahwa debit banjir puncak kala ulang 50 tahun dan 100 tahun adalah Q50 sebesar 82,32 m³/s dan Q100 sebesar 83,44 m³/s. Dalam kajian mitigasi banjir, pemilihan periode ulang (return period) sangat penting karena akan menentukan tingkat ketahanan infrastruktur maupun strategi penanggulangan banjir. Debit rencana periode ulang 50 tahun dan 100 tahun dipilih dengan beberapa pertimbangan yaitu Kriteria Standar Perencanaan Hidrologi, Representasi Kejadian Banjir Ekstrem, Perlindungan Lahan Pertanian Produktif, Keselamatan Permukiman dan Infrastruktur, Prinsip Kehati-hatian dalam Perencanaan (Indonesia, 2020b), (Indonesia, 2016), (Indonesia, 2020a), (Indonesia, 2014). Dengan demikian, penggunaan debit rencana 50 tahun dan 100 tahun dalam penelitian ini bukan hanya mengikuti standar perencanaan, tetapi juga relevan untuk menjamin keberlanjutan fungsi lingkungan, keamanan masyarakat, serta perlindungan lahan pertanian produktif yang menjadi bagian dari program Asta Cita Swasembada Pangan Berkelanjutan.

9. Analisis Penggunaan Lahan Pada Wilayah DAS Tukad Unda.

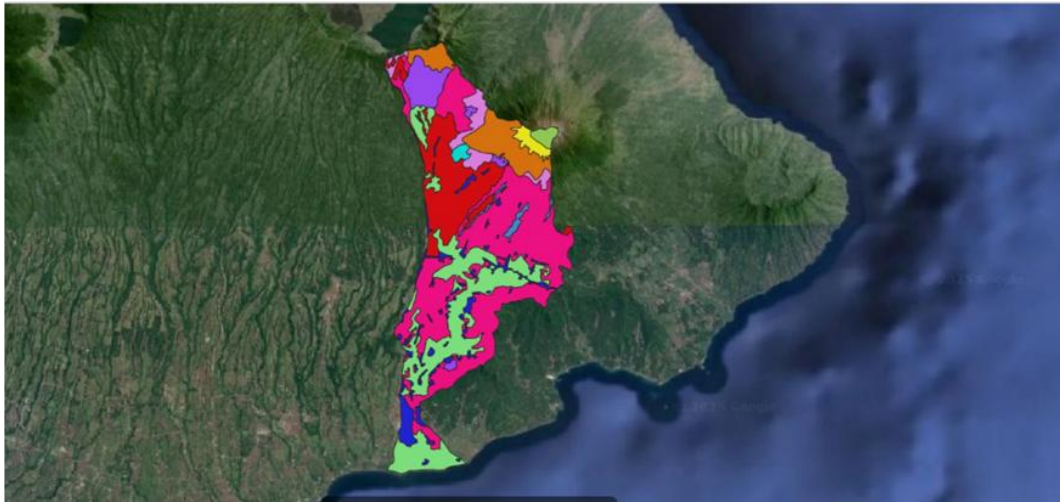
Tutupan lahan didominasi oleh sawah irigasi dan tegalan, yang menggambarkan karakter wilayah sebagai kawasan pertanian produktif. Selain itu, terdapat pula area permukiman, lahan terbuka, serta hutan dan semak belukar yang tersebar di bagian hulu hingga tengah DAS. Pada Tabel 9. di bawah ini ditampilkan prosentase dan luasan tutupan lahan di DAS Tukad Unda sebagai berikut:

Tabel 9. Luas Tutupan Lahan DAS Tukad Unda.

Code	ID	IPC	Area	Percentage
2012	Pemukiman	Settlement	13722288.1	6%
2014	Lahan Terbuka	Otherland	2155820.32	1%
3000	Savanna	Grassland	3045169.27	1%
20091	Pertanian Lahan Kering	Cropland	33824269.5	14%
20092	Pertanian Lahan Kering Campur Semak	Cropland	91899582.4	39%
20093	Sawah	Cropland	47784974.2	20%
20141	Hutan Mangrove Sekunder	Forest Land	2216076.2	1%
2001	Hutan Lahan kering Primer	Forest Land	19081487.9	8%
2002	Hutan Lahan Kering Sekunder	Forest Land	8844453.53	4%
2006	Hutan Tanaman	Forest Land	1337609.36	1%
2007	Belukar	Grassland	10581450.6	5%

Secara kuantitatif, tutupan lahan terbesar adalah Pertanian Lahan Kering Campur Semak dengan luas sekitar 91899582.4 ha (39% dari total DAS), diikuti oleh Sawah seluas 47784974.2 ha (20%), Pertanian Lahan Kering seluas 33824269.5 ha (14%). Pola distribusi tutupan lahan ini memberikan gambaran

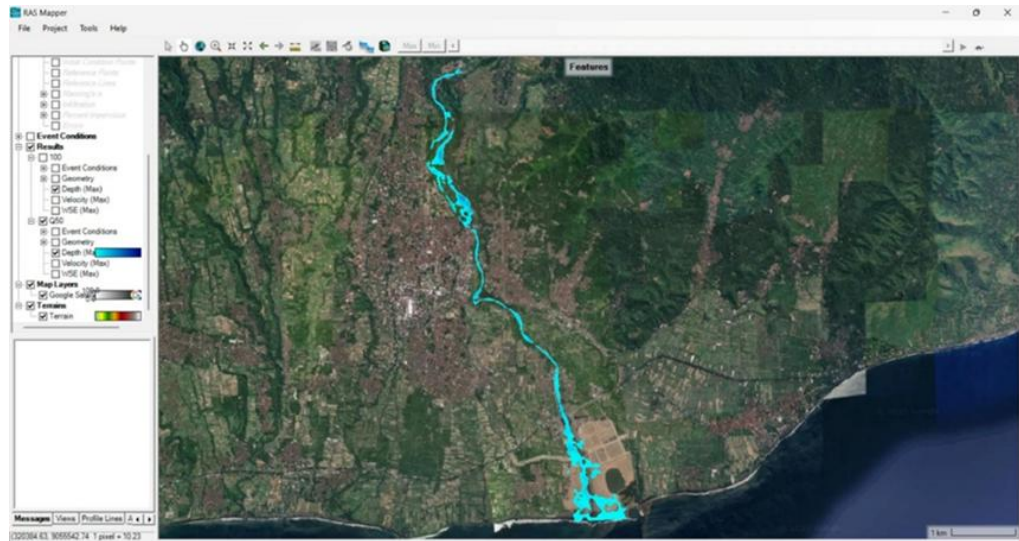
awal mengenai tingkat kerentanan banjir. Lahan dengan tutupan vegetasi lebat seperti hutan memiliki peran sebagai daerah resapan, sedangkan area sawah dan permukiman cenderung meningkatkan limpasan permukaan terutama saat musim hujan. Oleh karena itu, perubahan tutupan lahan menjadi faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam strategi mitigasi banjir di Tukad Unda, terutama dalam konteks mendukung program Asta Cita Swasembada Pangan Berkelanjutan. Berikut ini ditampilkan pola sebaran luasan tutupan lahan:



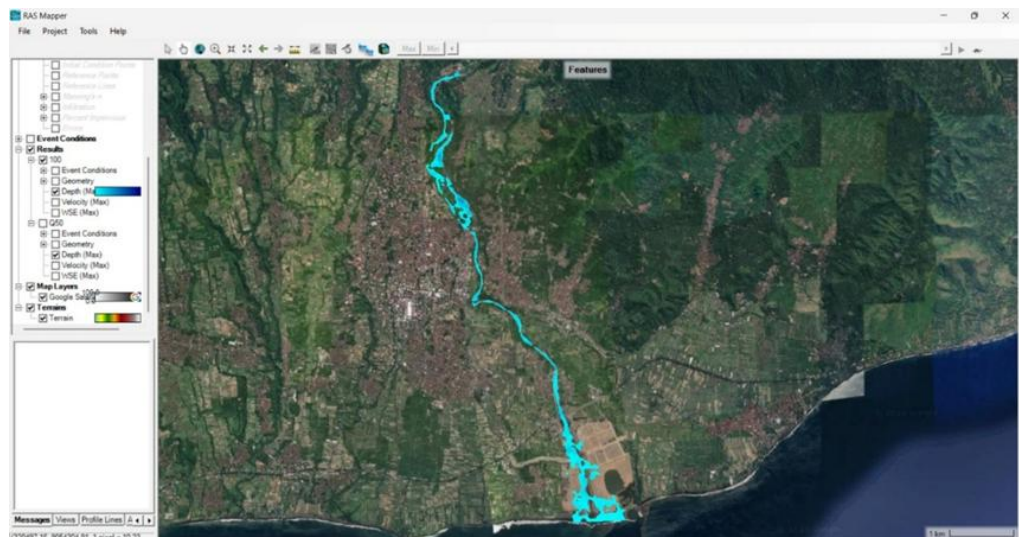
Gambar 2. Pola Sebaran Luasan Tutupan Lahan.

B. Hasil Simulasi Hidrodinamik Dengan Menggunakan Hecras.

Simulasi hidrodinamika menggunakan model HEC-RAS 2D dengan dukungan Ras Mapper dilakukan untuk menganalisis potensi genangan banjir di sepanjang aliran Tukad Unda (Elvi Roza Syofyan, Bambang Istijono, Winda Fitria, Yosa Anggia Rahmi, 2023). Debit banjir rencana yang digunakan sebagai boundary condition adalah debit dengan periode ulang 50 tahun (Q50) dan 100 tahun (Q100), sesuai hasil analisis hidrologi. Pada Gambar 12 dan 13 dibawah ini ditampilkan hasil simulasi pada debit Q50 dan debit Q100.



Gambar 3. Hasil Simulasi Pada Debit Q50.



Gambar 4. Hasil Simulasi Pada Debit Q100.

C. Hasil Simulasi Area Hulu.

Pada segmen hulu Tukad Unda, hasil simulasi menunjukkan kedalaman genangan maksimum sebesar 2,3 meter untuk debit rencana Q50 dan 2,4 meter untuk Q100. Tinggi Muka Air (TMA) menunjukkan TMA sebesar 109,8 meter untuk periode ulang Q50 dan 109,9 meter untuk Q100

D. Hasil Simulasi Area Tengah.

Pada segmen tengah, kedalaman genangan meningkat menjadi 3,6 meter (Q50) dan 3,7 meter (Q100). Pada segmen tengah Tukad Unda, TMA hasil simulasi menunjukkan penurunan nilai dari 49,8 meter (Q50) menjadi 49,7 meter (Q100).

E. Hasil Simulasi Area Hilir.

Pada Segmen hilir menunjukkan kedalaman genangan tertinggi, yaitu 3,7 meter (Q50) dan 3,8 meter (Q100). Pada bagian hilir, hasil simulasi menunjukkan TMA sebesar 5,9 meter (Q50) dan 5,8 meter (Q100). Kedalaman genangan yang relatif kecil di bagian hulu disebabkan oleh kemiringan dasar sungai yang masih curam sehingga kecepatan aliran cukup tinggi dan air tidak banyak tertahan. Pada segmen tengah kedalaman genangan mulai meningkat, wilayah tengah ini merupakan area dengan kemiringan landai dan pelebaran lembah sungai, sehingga aliran mulai kehilangan energi dan cenderung menyebar ke kanan–kiri bantaran. Segmen hilir menunjukkan kedalaman genangan tertinggi, Kondisi ini disebabkan oleh gradien dasar sungai yang sangat kecil serta adanya penyempitan aliran akibat jembatan dan bangunan irigasi.

Secara keseluruhan, hasil simulasi menunjukkan pola peningkatan kedalaman genangan yang gradual dari hulu ke hilir, dengan selisih kedalaman antara periode ulang 50 tahun dan 100 tahun berkisar 0,1 meter. Kecilnya perbedaan ini mengindikasikan bahwa kenaikan debit ekstrem tidak secara signifikan meningkatkan kedalaman genangan, namun luasan area terdampak cenderung bertambah. Hal ini mengisyaratkan bahwa kapasitas saluran utama Tukad Unda sudah mendekati kondisi jenuh (near capacity flow), di mana peningkatan kecil debit menyebabkan perluasan genangan di dataran rendah. Hasil simulasi menunjukkan bahwa perbedaan TMA antara Q50 dan Q100 sangat kecil (sekitar 0,1 meter) di semua segmen. Hal ini menandakan bahwa sistem sungai Tukad Unda berada dalam kondisi hidraulik yang relatif stabil, di mana peningkatan debit ekstrem tidak secara signifikan meningkatkan muka air.

F. Tahapan Strategi Mitigasi.

Pada wilayah hulu, hasil simulasi HEC-RAS menunjukkan kedalaman genangan berkisar antara 2,3–2,4 meter dengan tinggi muka air (TMA) 109,8–109,9 meter untuk kala ulang 50 dan 100 tahun. Kenaikan genangan yang relatif kecil menandakan bahwa kapasitas sungai di bagian hulu masih cukup memadai menampung debit ekstrem. Oleh karena itu, strategi mitigasi difokuskan pada upaya konservasi dan pengendalian debit sumber, seperti rehabilitasi daerah tangkapan air (DTA), penanaman vegetasi penahan erosi, serta peningkatan kapasitas penampang alami sungai. Selain itu, penerapan sistem pemantauan hidrologi berbasis sensor curah hujan dan debit penting dilakukan sebagai bagian dari sistem peringatan dini (Early Warning System) agar lonjakan debit dapat terdeteksi sebelum berdampak ke wilayah tengah.

Segmen tengah Tukad Unda menunjukkan kedalaman genangan tertinggi, yaitu 3,6–3,7 meter dengan TMA relatif stabil di kisaran 49,7–49,8 meter. Kondisi ini mengindikasikan bahwa area tengah merupakan zona paling kritis terhadap potensi luapan sungai, terutama pada daerah dataran rendah dan kawasan permukiman. Oleh sebab itu, strategi mitigasi diarahkan pada pengendalian fisik

dan non-fisik, meliputi normalisasi sungai untuk menghilangkan sedimentasi, penataan kembali sempadan sungai sebagai buffer zone, perbaikan sistem drainase kota juga diperlukan untuk menampung limpasan saat debit puncak. Secara sosial, penguatan kapasitas masyarakat dan sosialisasi peta risiko banjir menjadi langkah mitigatif penting agar masyarakat siap menghadapi potensi genangan berulang.

Di wilayah hilir, hasil simulasi memperlihatkan kedalaman genangan 3,7–3,8 meter dengan TMA 5,8–5,9 meter. Perubahan kecil pada nilai ini menunjukkan adanya pengaruh pasang surut laut dan efek aliran balik (backwater effect) dari muara. Strategi mitigasi di wilayah hilir difokuskan pada pengendalian banjir pesisir dan integrasi pengelolaan sungai-pantai, seperti pembangunan pintu air dan pompa pengendali banjir, peninggian tanggul serta infrastruktur jalan. Sinkronisasi antara sistem drainase perkotaan, saluran sungai, dan pasang surut laut perlu dikembangkan untuk menghindari aliran balik saat banjir. Selain itu, penataan ulang tata guna lahan pesisir dan integrasi pemantauan TMA sungai dengan data pasang surut menjadi komponen penting dalam strategi mitigasi adaptif berbasis ekosistem di wilayah hilir Tukad Unda.

KESIMPULAN

Pemodelan daerah genangan banjir dengan debit banjir kala ulang Q50 dan Q100 tahun yaitu Q50 sebesar 82,32 m³/s dan Q100 sebesar 83,44 m³/s. Kedalaman genangan maksimum di bagian hulu sebesar 2,3 meter untuk debit rencana Q50 dan 2,4 meter untuk Q100, sedangkan tinggi muka air (TMA) banjir maksimum di bagian hulu mencapai 109,8 meter untuk periode ulang Q50 dan 109,9 meter untuk Q100. Pada segmen tengah, kedalaman genangan meningkat menjadi 3,6 meter (Q50) dan 3,7 meter (Q100). Pada segmen tengah Tukad Unda, TMA hasil simulasi menunjukkan penurunan nilai dari 49,8 meter (Q50) menjadi 49,7 meter (Q100). Pada Segmen hilir menunjukkan kedalaman genangan tertinggi, yaitu 3,7 meter (Q50) dan 3,8 meter (Q100). Pada bagian hilir, hasil simulasi menunjukkan TMA sebesar 5,9 meter (Q50) dan 5,8 meter (Q100).

Dari hasil simulasi HEC-RAS, selisih kedalaman dan TMA antara Q50 dan Q100 tergolong kecil (0,1–0,9 m), menunjukkan sistem hidraulik Tukad Unda masih stabil namun sudah mendekati kapasitas maksimum. Oleh karena itu, strategi mitigasi harus diarahkan pada: Konservasi hulu untuk pengendalian debit sumber, Optimalisasi kapasitas sungai di segmen tengah untuk mengurangi genangan dan penguatan sistem proteksi di hilir untuk menghadapi kombinasi debit sungai dan pasang laut. Implementasi strategi ini diintegrasikan dengan rencana pengelolaan DAS Tukad Unda dan mendukung program Asta Cita Swasembada Pangan Berkelanjutan, khususnya dalam menjamin ketahanan lahan pertanian dari ancaman genangan banjir..

DAFTAR PUSTAKA

Ammar Rafiei Emam, Binaya Kumar Mishra, Pankaj Kumar, Yoshifumi Masago,

- K. F. (2016). Impact Assessment of Climate and Land-Use Changes on Flooding Behavior in the Upper Ciliwung River ., *Water*, 8. <https://doi.org/10.3390/w8120559>
- Ansarifard, S., Eyvazi, M., & Ghorbanifard, M. (2024). Simulation of floods under the influence of effective factors in hydraulic and hydrological models using HEC - RAS and MIKE 21. In *Discover Water*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s43832-024-00155-0>
- Bambang Triatmojo. (2008). *Hidrologi Terapan*. Beta Offset.
- D. S. E. Kurniyaningrum, L. M. Limantara, E. S. (2019). Development Of Flood Early Warning System Based On The Geoinformatics System In The Krukut River. *Int. J. Civ. Eng. Technol*, 10, 1325–1335.
- Elvi Roza Syofyan, Bambang Istijono, Winda Fitria, Yosa Anggia Rahmi, F. R. (2023). Analisis Banjir Menggunakan Aplikasi GIS dan HEC-RAS Pada Batang Tapakis Kabupaten Padang Pariaman. *Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang, Padang, Indonesia, Vol 11 No.* <http://doi.org/10.33019/fropil.v11i1.4700>
- I Wayan Pasir. (2018). Optimalisasi Pemanfaatan Jaringan Irigasi Daerah Aliran Saluran Utama Yang Di Aliri Air Tukad Unda Kabupaten Klungkung. *Gradien Fakultas Teknik UNR*, 10.
- Indonesia. (2014). *Kementerian Pekerjaan Umum, Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan Nomor 12 /PRT/M/2014*.
- Indonesia. (2016). *SNI 2415:2016 Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana*. Badan Standar Nasional Indonesia.
- Indonesia. (2020a). *Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 8 Tahun 2020 tentang Petunjuk Operasional Penyelenggaraan Dana Alokasi Khusus Infrastruktur Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*.
- Indonesia. (2020b). *SNI 3432:2020 Tatacara Penetapan Banjir Desain & Kapasitas Pelimpah*. Badan Standar Nasional Indonesia.
- Ingerawi Sekaring Bumi. (2023). Pemodelan Banjir Dua Dimensi Sungai Seruyan Menggunakan Aplikasi HE_CRAS. *Jurnal Inovasi Konstruksi*, 2 Nomor 1.
- Kementerian Pekerjaan Umum. Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. (2021). *Ditjen SDA Percepat Pembangunan Prasarana Pengendali Banjir Tukad Unda Untuk Minimalisir Risiko Banjir Lahar Gunung Agung*. Kompasda.
- Kim, W., Iizumi, T., Hosokawa, N., Tanoue, M., & Hirabayashi, Y. (2023). *Flood impacts on global crop production: advances and limitations OPEN ACCESS Flood impacts on global crop production: advances and limitations*.
- Pola Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Bali Penida, (2017).
- Orji, E. I., Ben, I., & Mbu, D. (2025). *PRODUCTION AND FOOD SECURITY IN SOUTH-SOUTH* ., 24, 239–249.
- Pratama, Bayu Yoga, Raden Roro Rintis Hadiani, and S. S. (2019). Neraca Sumber

- Daya Air Di Daerah Aliran Sungai Alang Wonogiri. *Matrik Teknik Sipil*.
Renu, S., Satya, B., Reddy, N., Santhosh, S., Lekshmi, V., Pramada, S. K., & Sridhar, V. (2025). *Hydrologic and Hydraulic Modeling for Flood Risk Assessment : A Case Study of Periyar River Basin , Kerala , India*. 1–20.
- Shuaibu, A., Muhammad, M. M., Bello, A. D., Sulaiman, K., & Kalin, R. M. (2023). *Flood Estimation and Control in a Micro-Watershed Using GIS-Based Integrated Approach*. 1–20.
- Sihotang, Rico, Miftah Hazmi, and D. R. (2011). Analisis Banjir Rancangan Dengan Metode Hss Nakayasu Pada Bendungan Gintung. *Proceeding PESAT (Psikologi, Ekonomi, Sastra, Arsitektur & Sipil*.
- Upomo, Togani Cahyadi, R. K. (2016). Pemilihan Distribusi Probabilitas Pada Analisa Hujan Dengan Metode Goodness Of Fit Test. *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*.
- Wijana IMS, Wijaya IMS, As-syakur AR, Indrawan GS, Wiradana PA, S. K., & Al, E. (2022). Komposisi Floristik Vegetasi di Kawasan Hilir Sungai Unda, Kabupaten Klungkung, Bali. *Metamorf J Biol Sci*, 9(1), 27.
- Winggar, A., & Hero, M. (2025). *Simulations of Rainfall Changes Impacts on Streamflow in the Bogowonto Watershed Using the Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning (HBV) Model. 04001*.
- Zevri, A. (2025). *Pemodelan Daerah Genangan Banjir Ekstrem Bendung Sungai Piam Kabupaten Langkat Provinsi Sumatera Utara Modelling of Extrem Flood Inundation Area of Piam River Weir , Langkat Regency , North Sumatra Province. 21(1), 57–70*.