

Evaluasi Kinerja Waduk Nipa – Nipa terhadap Debit Banjir Rancangan

Muh. Arfandi Nasir ^{1*}, Ratna Musa ², Mas'ud SAR ³

1*) Kantor Pengamat D.I Bantimurung, Kabupaten Maros, nasirarfandi@gmail.com

2) Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar

3) Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar

Abstract

This study evaluates the performance of the Nipa-Nipa Reservoir in reducing flood discharge in the Tallo River Basin. The main problem identified is the reduction of water catchment areas, which increases the risk of inundation. The objective of this research is to analyze the reservoir's influence on controlling design flood discharge and to identify the factors affecting its performance effectiveness. The method used is quantitative, employing hydrological simulation with HEC-HMS software. Secondary data includes hydrological parameters and technical specifications of the reservoir obtained from BBWS Pompengan Jenebarang. The analysis involves calculating design rainfall, determining rainfall intensity, and rainfall-runoff modeling to obtain inflow and outflow hydrographs. The results show that the Nipa-Nipa Reservoir is highly effective in reducing peak floods (peak clipping). In the simulation, a peak inflow discharge of 270.5 m³/s was successfully reduced to an outflow of 79.6 m³/s, representing a reduction of 190.9 m³/s. Key factors in the reservoir's effectiveness include an active storage capacity of 2.74 million m³, the operating pattern via the spillway, and sedimentation, which can gradually reduce the storage volume.

Keywords: HEC-HMS, Flood Discharge, Flood Reduction, Tallo River, Nipa-Nipa Reservoir.

Abstrak

Penelitian ini mengevaluasi kinerja Waduk Nipa-Nipa dalam mereduksi debit banjir di Daerah Aliran Sungai (DAS) Tallo. Masalah utama yang dihadapi adalah berkurangnya daerah resapan air yang meningkatkan risiko genangan. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh waduk terhadap pengendalian debit banjir rencana dan mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas kinerjanya. Metode yang digunakan adalah kuantitatif dengan simulasi hidrologi menggunakan perangkat lunak HEC-HMS. Data sekunder mencakup parameter hidrologi dan teknis waduk dari BBWS Pompengan Jenebarang. Analisis dilakukan melalui perhitungan curah hujan rencana, penentuan intensitas hujan, serta pemodelan hujan-aliran untuk mendapatkan hidrograf inflow dan outflow. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Waduk Nipa-Nipa sangat efektif dalam mereduksi puncak banjir (peak clipping). Dalam simulasi, debit puncak inflow sebesar 270,5 m³/s berhasil direduksi menjadi outflow 79,6 m³/s, atau pengurangan sebesar 190,9 m³/s. Faktor kunci efektivitas kinerja waduk meliputi kapasitas tampungan aktif sebesar 2,74 juta m³, pola operasi melalui spillway, serta sedimentasi yang dapat mengurangi volume tampungan secara bertahap.

Kata Kunci: Debit Banjir, HEC-HMS, Reduksi Banjir, Sungai Tallo, Waduk Nipa-Nipa.

1. PENDAHULUAN

Peningkatan debit aliran dapat disebabkan oleh curah hujan yang tinggi atau kurangnya kemampuan Daerah Aliran Sungai (DAS) dalam menyimpan atau meresapkan air. Kurangnya kemampuan tersebut dapat disebabkan oleh alih fungsi lahan hutan dan tingginya aktivitas masyarakat di kawasan hulu DAS. Hidrograf dapat menggambarkan distribusi waktu limpasan permukaan di daerah pengukuran dan menentukan keragaman karakteristik fisik DAS.

Perubahan iklim membawa dampak fenomena cuaca ekstrem yang kian teramati di Indonesia. Perubahan karakteristik cuaca ekstrem menunjukkan pergeseran awal musim,

perubahan intensitas hujan, dan peningkatan frekuensi kejadian iklim ekstrem seperti El Nino dan La Nina (Rosytha & Suryana, 2023). Berdasarkan laporan penilaian keenam (AR6) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), perubahan iklim akan membawa dampak bencana hidrometeorologi yang akan terus meningkat intensitasnya.

Dampak perubahan iklim menunjukkan salah satunya perubahan pola curah hujan yang menghasilkan peningkatan risiko dan skala bencana hidrometeorologi seperti kekeringan, tanah longsor, badai, dan banjir (Kristianto et al., 2018). Dikutip dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (2023), pada tahun 2010 hingga 2022 terjadi kenaikan jumlah kejadian bencana hingga 82% diantaranya didominasi oleh banjir. Pengendalian banjir perlu menjadi perhatian khusus bagi pengelola sumber daya air.

Tingginya potensi bencana hidrometeorologi yang terjadi menuntut pengelola infrastruktur sumber daya air untuk beradaptasi dengan kondisi terkini. Bendungan sebagai infrastruktur sumber daya air mempunyai fungsi pengendali banjir yang dapat menahan puncak debit banjir dan melepaskan air ketika dibutuhkan (Nasaruddin et al., 2022). Selanjutnya perlu dilengkapi sebuah sistem pengendalian bendungan yang dapat mengoptimasi fungsi pengendalian banjir untuk mengantisipasi kemungkinan bencana yang akan datang. Wilayah rawan banjir merupakan kawasan yang berada pada kondisi kerendahan (bantaran kali) dengan akumulasi muara pengaliran air dari kawasan punggung yang lebih tinggi. Sedimentasi yang tinggi serta pola aliran drainase yang belum tertata dengan baik telah membantu terjadinya bencana banjir dan genangan setiap waktu.

Persoalan banjir selalu menjadi masalah sepanjang tahun, bahkan hampir semua sepakat baik secara nasional maupun internasional, bahwa bencana banjir merupakan bencana terbesar dari sudut kerugian yang ditimbulkannya dibandingkan dengan bencana-bencana lainnya, 3 baik dari segi materi maupun kerugian jiwa, maka sudah selayaknya permasalahan banjir perlu mendapat perhatian yang serius. Banjir merupakan suatu peristiwa alam yang terjadi ditandai dengan naiknya permukaan air, diantaranya disebabkan oleh faktor curah hujan, pendangkalan sungai, hingga tata guna lahan.

Kota Makassar merupakan kota pantai yang menjadi ujung dari berbagai aliran sungai-sungai di wilayah kota Makassar. Sebagai kota pantai, kondisi kemiringan lereng sangat landai dan hal ini menyebabkan aliran air cenderung lambat, dengan bertambahnya fenomena pemanasan global dan terjadinya kerusakan di wilayah hulu terutama di sekitar gunung bawakaraeng, banjir dan genangan hujan menjadi permasalahan yang kemudian muncul. Kondisi ini ditambah dengan berkurangnya daerah resapan karena pesatnya pembangunan fisik serta keberadaan ruang terbuka hijau yang semakin berkurang

Secara geografis Kota Makassar (area V) merupakan daerah dataran rendah (Low Lying Area). Sungai Tallo merupakan muara dari saluran drainase yang ada di wilayah ini, disamping sebagai penyedia sumber daya sungai Tallo juga berpotensi menimbulkan ancaman banjir dikarenakan sangat di pengaruhi oleh pasang surut air laut, dan mempunyai luas catchment area 384 km² dan panjang sungai 64 km.

Waduk Nipa-Nipa, yang sebagian besar wilayahnya berada di Kabupaten Maros, diperuntukkan untuk mengurangi risiko dampak banjir, terutama di wilayah Kota Makassar. Kolam Regulasi Nipa-Nipa ini diyakini mampu mereduksi 45% air dari Kota Makassar, sehingga sangat berpotensi dalam penanggulangan banjir. Kolam regulasi ini memiliki luas genangan mencapai 83,93 hektare (Ha) serta berkapasitas tampung sebesar 2,74 juta meter kubik. Tak hanya itu, kolam regulasi ini dapat mereduksi potensi banjir hingga sebesar 157 meter kubik per detik.

Secara Umum permasalahan yang terjadi pada Sungai Tallo disebabkan kapasitas Sungai Tallo yang tidak memadai yang diakibatkan buangan air drainase kota yang ada di Makassar, seperti Saluran Primer Sinrijali, Gowa dan Antang, serta saluran sekunder yang ada di sepanjang sungainya, mengingat luas Daerah Pengaliran Sungai Tallo itu sendiri

mencapai 418,6 km². Dengan panjang total sungai mencapai 70,5 km. Lebar sungai rata-rata pada ruas jembatan Tello ke hulu 50-80 m dan dari jembatan Tello ke muara adalah 80-300 m. Kedalaman bervariasi dari jembatan Tello ke mulut muara antara 0,5 s/d 8,3 m. (Hermawan, 2013)

Keberadaan Kolam Regulasi Nipa-Nipa ini diharapkan mampu mereduksi banjir sebesar 157 m³/detik atau 33% dari debit banjir rencana 25 tahun (Q25) yang mencapai 481,83 m³/detik, sehingga debit banjir yang mengalir di hilirnya mampu ditampung oleh Sungai Tallo. Untuk meningkatkan kapasitas tampung Sungai Tallo, akan dilakukan Normalisasi Sungai dan pembangunan Tanggul sepanjang 3 kilometer pada tahun 2022.

Cara kerja kolam regulasi ini adalah dengan menyimpan air untuk sementara waktu selama puncak banjir dan mengalirkannya kembali melalui Sungai Moncongloe ke hilir Sungai Tallo. Melalui upaya tersebut, kolam regulasi ini diharapkan dapat memberikan dampak dan manfaat pengurangan risiko banjir di enam kecamatan setempat, yakni Pattallassang, Moncongloe, Manggala, Panakkukang, Tallo, dan Tamalanrea.

Kolam Regulasi Nipa-Nipa ini dibangun sejak tahun 2015 hingga 2019 di bawah tanggung jawab Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Pompengan Jenebarang dengan kontraktor PT. Adhi Karya dan Rezeki-Nur Ali Mandiri, KSO. Dengan kapasitas tampung yang besar, waduk ini diharapkan mampu mengurangi risiko banjir secara signifikan, serta memberikan manfaat besar dalam pengendalian banjir di wilayah sekitar.

Namun, meskipun fungsi utama waduk ini adalah mengurangi risiko banjir, beberapa wilayah masih menjadi langganan banjir setiap kali musim hujan. Hal ini menimbulkan pertanyaan tentang sejauh mana kinerja Waduk Nipa-Nipa dalam mengendalikan debit banjir di wilayah tersebut. Peningkatan frekuensi kejadian banjir yang merendam beberapa wilayah, meskipun keberadaan waduk tersebut, memerlukan evaluasi mendalam terhadap sistem pengendalian banjir yang ada, terutama dalam hal optimalisasi kapasitas tampung dan pengaturan operasional waduk.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh Waduk Nipa-Nipa terhadap debit banjir dan menganalisis apakah peran waduk ini sudah maksimal dalam mengurangi dampak banjir, serta memberikan rekomendasi perbaikan operasional waduk yang lebih efektif. Evaluasi ini akan mencakup analisis pengaruh waduk berdasarkan analisis hidrologi dan kondisi topografi dan pola aliran sungai, serta menilai efektivitas fungsi pengendalian banjir dalam konteks perubahan iklim yang terus berkembang

2. METODE

A. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2025. Pemilihan waktu tersebut disesuaikan dengan ketersediaan data hidrologi dan teknis serta kondisi musim hujan yang relevan untuk melakukan evaluasi terhadap kinerja sistem pengendalian banjir. Lokasi penelitian berfokus pada Kolam Regulasi Nipa-Nipa, yang secara administratif terletak di Desa Moncongloe Lappara, Kecamatan Moncongloe, Kabupaten Maros dan Desa Jenemadinging (Nipa-Nipa), Kecamatan Pattallassang, Kabupaten Gowa, serta wilayah hilir yang terdampak banjir. Lokasi ini berada di dalam cakupan Daerah Aliran Sungai (DAS) Tallo, yang menjadi sistem utama aliran air ke waduk dan wilayah sekitarnya (**Gambar 1**).

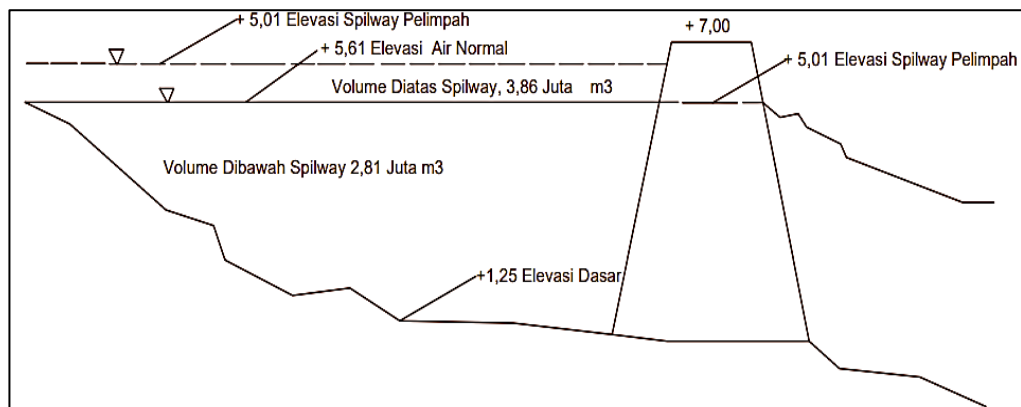
Penelitian ini akan difokuskan pada analisis efektivitas waduk dalam mengurangi debit banjir yang terjadi di Daerah Aliran Sungai (DAS) Tallo dan sekitarnya, dengan mengevaluasi kontribusi waduk terhadap pengurangan risiko banjir.

Waduk Nipa-Nipa dibangun dengan tujuan untuk mengurangi risiko banjir di wilayah Kota Makassar, Kabupaten Maros, dan Kabupaten Gowa. Pembangunan waduk ini dimulai pada

tahun 2015 dan selesai pada tahun 2019, sehingga pada tahun 2024, waduk ini telah beroperasi selama sekitar 5 tahun. Waduk ini memiliki kapasitas tampung sebesar 2,74 juta meter kubik dan dapat mereduksi debit banjir sungai Tallo hingga 157 m³/detik, yang setara dengan 32% dari debit banjir Q25 yang mencapai 481,83 m³/detik, Selama lima tahun operasionalnya, Waduk Nipa-Nipa telah berperan signifikan dalam pengendalian banjir, dengan memberikan dampak yang cukup besar terhadap pengurangan luas genangan, yaitu sebesar 45%, dari sebelumnya 1955 ha menjadi 1075 ha (**Gambar 2**).



Gambar 1 Lokasi Waduk Nipa-Nipa



Gambar 2 Profil Waduk Nipa-Nipa

B. Jenis dan Sumber Data

a) Data Sekunder

Data yang diperoleh dari instansi terkait seperti Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Pompengan Jenebarang, meliputi data debit, curah hujan, data hidrologi, dan data Teknis Waduk Nipa-Nipa. Data Teknis Kolam Regulasi Nipa-Nipa adalah sebagai berikut:

- **Tampungan Efektif** : 2.74 juta m³

- Tampungannya Total : 3.51 juta m³
- Luas Area Genangan : 83.93 ha
- Elevasi Air Normal : +5.61 meter
- Elevasi Air Terendah : +2.25 meter
- Daerah Tangkapan : 418.6 km²

Tanggul Sekeliling

- Lebar : 6 meter
- Panjang : 3.8 km
- Konstruksi : Urugan tanah
- Perkuatan : Pasangan batu + beton

Bangunan Pelimpah (Spillway)

- Lebar Spillway : 170 meter
- Elevasi Top : +5.61 meter
- Konstruksi : Beton bertulang
- Pondasi : Steel sheet pile

Gedung Operasi

- Genset Kapasitas : 600 Kva (2 unit)

Bangunan Pengambil (Intake)

- Konstruksi : Beton bertulang
- Pompa Submersible Kapasitas : 2 m³/detik (2 unit)
- Stoplog : 3 x (3x1) M, 1 unit
- Trashrack : 3 x 5.7 M, 2 unit

Sluiceway

- Konstruksi : Beton bertulang
- Pintu Air : B = 5.45 m, T = 3.9 m (3 unit)
- Stoplog : 3 x (5x1.5) M, 2 unit
- Elevasi Amban : +2.83 meter

b) Data Primer

Pengumpulan data primer dilakukan melalui pengamatan langsung terhadap kondisi waduk dan interaksi dengan pengelola waduk. Wawancara dengan petugas operasional waduk juga dilakukan untuk menggali informasi mengenai kendala dan efektivitas operasi waduk dalam mengatasi banjir.

C. Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini, variabel yang diteliti diklasifikasikan ke dalam dua kelompok utama, yaitu variabel independen (bebas) dan variabel dependen (terikat). Variabel independen merupakan faktor-faktor yang memengaruhi kondisi debit banjir dan berperan sebagai input dalam pemodelan hidrologi menggunakan HEC-HMS. Variabel ini meliputi curah hujan yang dinyatakan dalam satuan milimeter, karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS), serta parameter hidrologi dalam model HEC-HMS yang mencakup parameter kehilangan air melalui infiltrasi dengan pendekatan SCS Curve Number, parameter transformasi aliran menggunakan Unit Hydrograph SCS, parameter aliran dasar (baseflow), dan parameter routing aliran yang dimodelkan dengan metode Muskingum atau Lag. Selain itu, variabel independen juga mencakup kapasitas teknis Waduk Nipa-Nipa, yang meliputi volume tampungan efektif dan maksimum, kapasitas spillway, kapasitas outlet, serta pola operasional waduk. Sementara itu, variabel dependen dalam penelitian ini adalah debit banjir keluar dari waduk yang dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik, yang

merupakan hasil dari simulasi dan evaluasi model HEC-HMS untuk menunjukkan besarnya pengaruh waduk dalam mereduksi debit banjir.

D. Metode Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara kuantitatif dengan menggunakan perangkat lunak HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System). Tahapan analisis dirancang untuk mengidentifikasi, memodelkan, dan mengevaluasi pengaruh Waduk Nipa-Nipa terhadap debit banjir. Langkah-langkah analisis data adalah sebagai berikut:

- Analisis frekuensi curah hujan dilakukan untuk menentukan hujan rencana (design rainfall) dengan menggunakan metode statistik berbasis distribusi probabilitas, seperti distribusi Gumbel atau Log-Pearson Tipe III. Tahapan analisis ini diawali dengan pengolahan data curah hujan historis dengan panjang data minimal 20 tahun, dilanjutkan dengan uji kelengkapan dan konsistensi data untuk memastikan kualitas data yang digunakan. Selanjutnya, dilakukan perhitungan hujan rencana untuk beberapa kala ulang tertentu, yaitu kala ulang 2, 5, 10, dan 25 tahun, yang akan digunakan sebagai dasar dalam analisis hidrologi selanjutnya.
- Penentuan hujan wilayah dilakukan untuk memperoleh besaran hujan yang bersifat representatif terhadap kondisi spasial daerah penelitian. Pada tahap ini digunakan metode Thiessen Polygon untuk mendistribusikan curah hujan secara spasial berdasarkan pengaruh masing-masing stasiun hujan. Selain itu, distribusi waktu (temporal) hujan ditentukan menggunakan metode Huff atau SCS guna membentuk pola hujan jam-jaman yang diperlukan sebagai input dalam pemodelan hidrologi.
- Pemodelan hidrologi dilakukan menggunakan perangkat lunak HEC-HMS untuk mensimulasikan aliran permukaan yang dihasilkan akibat hujan rencana. Dalam pemodelan ini digunakan beberapa komponen utama, yaitu metode kehilangan air (Loss Method) dengan pendekatan SCS Curve Number untuk menghitung infiltrasi, metode transformasi aliran (Transform Method) menggunakan SCS Unit Hydrograph untuk mengubah hujan menjadi debit, metode baseflow dengan pendekatan Recession Method untuk merepresentasikan aliran dasar, serta metode routing aliran menggunakan Lag atau Reservoir Routing untuk memodelkan perambatan debit pada sungai dan waduk.
- Kalibrasi dan validasi model dilakukan untuk memastikan bahwa hasil simulasi HEC-HMS mendekati kondisi aktual di lapangan. Proses kalibrasi dilakukan dengan menggunakan data debit observasi, di mana parameter-parameter seperti Curve Number (CN), lag time, dan recession constant disesuaikan hingga diperoleh kesesuaian yang baik antara debit hasil simulasi dan debit observasi. Selanjutnya, validasi model dilakukan untuk menguji keandalan model melalui uji visual berupa kesesuaian grafik hidrograf, serta uji statistik yang meliputi Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), Root Mean Square Error (RMSE), dan Percent Bias (PBIAS).
- Evaluasi kinerja waduk dilakukan berdasarkan hasil simulasi debit yang diperoleh dari pemodelan HEC-HMS. Evaluasi ini bertujuan untuk menilai efektivitas Waduk Nipa-Nipa dalam mereduksi debit banjir dengan membandingkan debit masuk (inflow) dan debit keluar (outflow). Selain itu, evaluasi juga mencakup penilaian kecukupan kapasitas outlet dan spillway dalam menahan debit puncak, serta analisis pengaruh operasional waduk terhadap kondisi banjir di wilayah hilir.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Curah Hujan

Besarnya curah hujan rata-rata daerah pada DAS Tallo dihitung menggunakan metode Thiessen, yaitu metode yang mempertimbangkan luas daerah pengaruh dari setiap titik pengamatan curah hujan. Metode Thiessen digunakan karena kondisi topografi serta jumlah stasiun hujan pada wilayah penelitian memenuhi syarat untuk penerapan metode ini. Data curah hujan yang digunakan diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Pompengan Jeneberang, dengan tiga stasiun hujan yang menjadi sumber data, yaitu Stasiun Panakkukang, Stasiun Tamangapa Kassi, dan Stasiun Senre, pada luas DAS Tallo sebesar 256,73 km².

Dalam perhitungan Thiessen, masing-masing stasiun memiliki luas daerah pengaruh (catchment) yang berbeda, yaitu A1 (Panakkukang) sebesar 17,05 km², A2 (Tamangapa Kassi) sebesar 47,33 km², dan A3 (Senre) sebesar 192,35 km². Koefisien Thiessen untuk setiap stasiun ditentukan dengan membagi luas pengaruh stasiun terhadap luas total DAS ($C_i = A_i/A_{Total}$), sehingga diperoleh koefisien sebesar 0,07 untuk Stasiun Panakkukang, 0,18 untuk Stasiun Tamangapa Kassi, dan 0,75 untuk Stasiun Senre, dengan total koefisien 1,00. Data luas pengaruh stasiun hujan terhadap DAS Tallo yang digunakan merupakan data sekunder, dan pembagian daerah pengaruh dilakukan melalui pembentukan poligon Thiessen, yaitu garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antar stasiun.

Tabel 1 Koefisien Thiessen

No	Nama Stasiun	Luas DPS (Km2)	Koefisien Thiessen
1	Panakkukang	17,05	0,07
2	Tamangapa Kassi	47,33	0,18
3	Senre	192,35	0,75
Total		256,73	1,00

Hasil penentuan koefisien Thiessen tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung curah hujan rata-rata daerah, khususnya curah hujan harian maksimal DAS Tallo, dengan menggabungkan data curah hujan dari ketiga stasiun sesuai bobot masing-masing. Perhitungan curah hujan harian maksimal dilakukan untuk setiap tahun berdasarkan kondisi/tanggal kejadian hujan, sehingga menghasilkan nilai rata-rata Thiessen dan nilai maksimum tahunan yang mewakili curah hujan maksimum wilayah DAS Tallo pada periode data yang digunakan. Perhitungan dilakukan pada Tahun 2000-2023, kemudian output contoh perhitungan ini ditunjukkan pada **Tabel 1** sebagai dasar input analisis hidrologi pada tahap berikutnya.

Tabel 2 Contoh Perhitungan Curah Hujan Harian Maksimal DAS Tallo

Tahun	Kondisi / Tanggal	Stasiun			Rata-Rata Thiessen	Max
		Panakkukang	Tamangapa Kassi	Senre		
2020	27/05/2020	139	154	16	50	120
	19/10/2020	139	154	16	50	
	21/12/2020	0	0	160	120	
2021	08/02/2021	29	159	31	54	161
	07/02/2021	66	63	193	161	
	13/03/2021	145	0	97	82	
2022	22/01/2022	55	163	110	116	210
	21/01/2022	115	136	237	210	

Tahun	Kondisi / Tanggal	Stasiun			Rata-Rata Thissen	Max
		Panakukang	Tamangapa Kassi	Senre		
	28/04/2022	125	4	72	63	
2023	19/10/2023	16	139	154	142	142
	29/10/2023	16	139	154	142	
	27/05/2023	160	0	0	11	

B. Analisis Parameter Statistik

Analisis parameter statistik dilakukan untuk mengukur tingkat dispersi dan karakteristik sebaran data curah hujan harian maksimum DAS Tallo. Pengukuran dispersi dilakukan melalui perhitungan deviasi terhadap nilai rata-rata, yaitu $(X_i - X_r)$, serta pangkat dua, tiga, dan empat dari deviasi tersebut, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.3. Dalam analisis ini, X_i merepresentasikan besarnya curah hujan daerah, sedangkan X_r merupakan nilai rata-rata curah hujan maksimum. Perhitungan ini bertujuan untuk memperoleh parameter statistik yang diperlukan dalam evaluasi bentuk distribusi data curah hujan.

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai rata-rata curah hujan maksimum (X_r) sebesar 141,5 mm dengan standar deviasi sebesar 44,65 mm, yang menunjukkan variasi data curah hujan yang cukup signifikan. Nilai koefisien variasi (C_v) sebesar 0,31 mengindikasikan tingkat penyebaran data yang tergolong sedang. Sementara itu, koefisien skewness (C_s) sebesar 0,15 menunjukkan bahwa sebaran data cenderung sedikit menceng ke kanan, dan nilai koefisien kurtosis (C_k) sebesar 2,59 menggambarkan bentuk distribusi yang relatif mendekati distribusi normal. Parameter-parameter statistik ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam pemilihan metode distribusi probabilitas yang sesuai untuk analisis curah hujan rencana.

C. Perhitungan Distribusi Frekuensi Curah Hujan

Perhitungan distribusi frekuensi curah hujan dilakukan untuk menentukan besarnya curah hujan rencana berdasarkan data curah hujan harian maksimum dengan menggunakan dua metode distribusi probabilitas, yaitu metode Gumbel dan metode Log Pearson Tipe III. Metode Gumbel digunakan untuk menganalisis kejadian ekstrem, seperti curah hujan maksimum, yang umum diterapkan dalam perencanaan infrastruktur dan analisis hidrologi. Berdasarkan data selama 20 tahun, diperoleh nilai rata-rata curah hujan maksimum sebesar 141,5 mm dengan simpangan baku 44,65 mm. Selanjutnya, faktor frekuensi ditentukan sesuai kala ulang yang dianalisis, sehingga diperoleh curah hujan rencana untuk berbagai periode ulang mulai dari 2 hingga 200 tahun.

Selain metode Gumbel, analisis distribusi frekuensi juga dilakukan menggunakan metode Log Pearson Tipe III dengan mentransformasikan data curah hujan ke dalam bentuk logaritmik. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai rata-rata logaritmik sebesar 2,12, simpangan baku 0,145, dan koefisien skewness sebesar -0,3835, yang selanjutnya digunakan untuk menentukan faktor frekuensi (G) pada masing-masing kala ulang. Rekapitulasi hasil kedua metode menunjukkan bahwa nilai koefisien skewness dan kurtosis memenuhi syarat penggunaan masing-masing distribusi, sehingga metode Gumbel dan Log Pearson Tipe III dinilai layak digunakan dalam penentuan curah hujan rencana pada wilayah studi, sebagaimana dirangkum pada **Tabel 3** dan **Tabel 4**.

Tabel 3 Rekapitulasi Curah hujan rencana

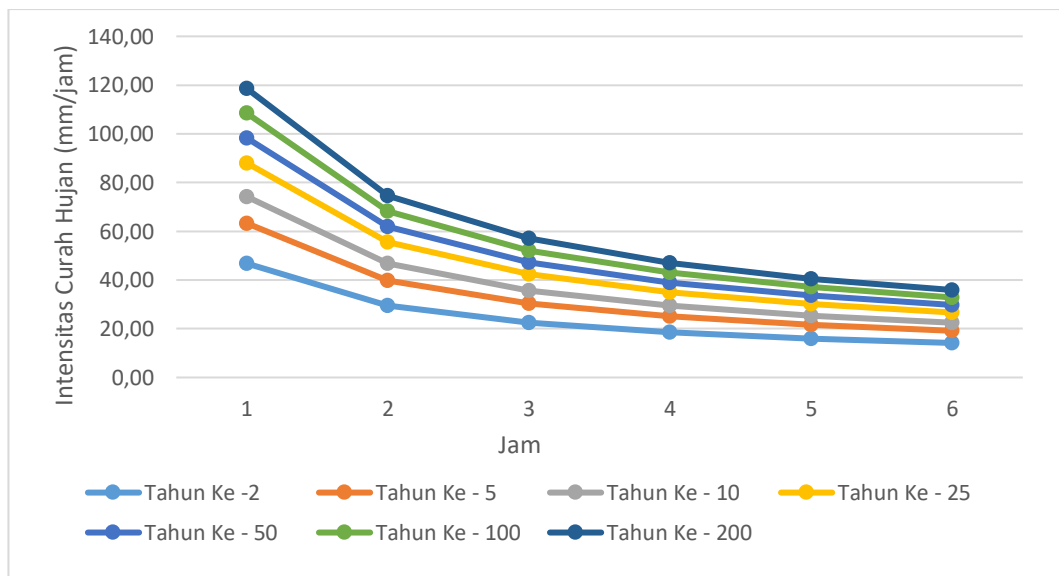
No	Hujan Rancangan (mm)		
	Priode Ulang	Metode Gumbel	Metode Log Person Type III
1	2	134,90	134,045
2	5	182,50	175,261
3	10	214,00	199,768
4	25	253,87	228,158
5	50	283,43	247,771
6	100	312,76	266,122
7	200	341,99	283,550

Tabel 4 Syarat Penggunaan Jenis Distribusi/ sebaran Frekuensi

Metode	Syarat	Hasil Perhitungan	Kesimpulan
Gumbel	$C_s < 1,14$	0,15	Memenuhi
	$C_k < 5,4002$	2,59	
Log Pearson Type III	$C_s \neq 0$	-0,3835	Memenuhi

D. Intensitas Curah Hujan

Intensitas curah hujan dihitung untuk keperluan analisis banjir rencana dengan menentukan distribusi hujan jam-jaman pada daerah kolam regulasi Nipa-Nipa menggunakan rumus Mononobe. Metode ini menghubungkan tinggi hujan harian maksimum ($R_{(24)}$) dengan waktu konsentrasi hujan (t) untuk memperoleh intensitas hujan rata-rata per jam. Dengan asumsi waktu konsentrasi hujan di Indonesia sebesar 6 jam dan menggunakan hujan rencana sebesar 134,9 mm, diperoleh intensitas hujan tertinggi pada jam pertama sebesar 46,77 mm/jam, yang kemudian menurun secara bertahap hingga mencapai 14,16 mm/jam pada jam keenam (**Gambar 3**). Distribusi intensitas hujan jam-jaman ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam pembentukan pola hujan rencana dan input analisis hidrologi pada tahap berikutnya.



Gambar 3 Intensitas Curah Hujan

Sebaran hujan jam-jaman ditentukan untuk menggambarkan distribusi curah hujan dalam setiap jam kejadian hujan dengan menggunakan persamaan $R_t = (t \times I) - \{(t-1) \times I_{(t-1)}\}$, di mana R_t merupakan besarnya hujan pada jam ke- t , I adalah intensitas hujan rencana rata-rata, dan t menyatakan urutan jam hujan. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh bahwa intensitas hujan tertinggi terjadi pada jam pertama, yaitu sebesar 46,77 mm, dan kemudian menurun secara bertahap hingga mencapai 25,15 mm pada jam keenam, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.11. Pola sebaran ini menunjukkan bahwa kontribusi hujan terbesar terjadi pada awal kejadian hujan. Selanjutnya, untuk memperoleh curah hujan rancangan efektif jam-jaman, nilai hujan jam-jaman (R_t) dikalikan dengan koefisien pengaliran (C), sehingga diperoleh curah hujan efektif (Re) yang merepresentasikan bagian hujan yang langsung menjadi limpasan permukaan. Dengan koefisien pengaliran sebesar 0,75, curah hujan efektif pada jam pertama sebesar 35,08 mm, dan prosedur yang sama diterapkan untuk jam dan periode ulang lainnya sebagaimana disajikan pada **Tabel 5**

Tabel 5 Curah hujan rancangan efektif jam-jaman

Jam Ke..	Periode Ulang																	
	2			5			10			2	5	10	2	5	10	2	5	10
	R_t	C	Re	R_t	C	Re	R_t	C	Re	R_t	C	Re	R_t	C	Re	R_t	C	Re
1	46,77	0,75	35,08	63,27	0,75	47,45	74,19	0,75	55,64	88,01	0,75	66,01	98,26	0,75	73,70	108,4	0,75	81,32
2	64,07	0,75	48,05	16,45	0,75	12,34	19,28	0,75	14,46	22,88	0,75	17,16	25,54	0,75	19,16	28,18	0,75	21,14
3	43,42	0,75	32,57	11,54	0,75	8,66	13,53	0,75	10,15	16,05	0,75	12,04	17,92	0,75	13,44	19,77	0,75	14,83
4	34,25	0,75	25,69	9,18	0,75	6,89	10,77	0,75	8,08	12,78	0,75	9,59	14,26	0,75	10,70	15,74	0,75	11,81
5	28,82	0,75	21,62	7,76	0,75	5,82	9,09	0,75	6,82	10,79	0,75	8,09	12,04	0,75	9,03	13,29	0,75	9,97
6	25,15	0,75	18,86	6,78	0,75	5,09	7,95	0,75	5,96	9,43	0,75	7,07	10,53	0,75	7,90	11,62	0,75	8,72

E. Analisa Debit Banjir Rencana Menggunakan Aplikasi HEC- HMS

Pemodelan hidrologi pada penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak HEC-HMS untuk mensimulasikan transformasi hujan menjadi aliran pada DAS Tallo. Model disusun dengan merepresentasikan elemen-elemen utama sistem hidrologi, yaitu subbasin sebagai area penghasil limpasan, junction sebagai titik pertemuan aliran, reservoir sebagai waduk Nipa-Nipa, serta elemen source, sink, dan diversion untuk menggambarkan kondisi aliran tertentu. DAS Tallo dibagi menjadi enam subbasin yang seluruh alirannya diarahkan menuju waduk Nipa-Nipa, sehingga model mampu merepresentasikan proses limpasan, pengaliran, dan penampungan air secara terintegrasi dengan asumsi bahwa karakteristik hidrologi tiap subbasin relatif homogen sesuai hasil analisis spasial.

Parameter HEC-HMS ditentukan berdasarkan karakteristik fisik DAS dan waduk dengan beberapa asumsi utama. Pada subbasin digunakan metode SCS Curve Number sebagai loss method untuk menghitung infiltrasi dan metode SCS Unit Hydrograph sebagai transform method untuk mengubah hujan efektif menjadi debit limpasan. Waduk Nipa-Nipa dimodelkan sebagai elemen reservoir dengan hubungan Elevation–Storage untuk merepresentasikan kapasitas tampungan, dengan kondisi awal simulasi diasumsikan setimbang (inflow = outflow). Struktur pelepasan air dibatasi hanya pada satu spillway tanpa outlet tambahan, pompa, maupun dam top. Data hujan dimasukkan dalam bentuk time series hujan ekstrem, dan simulasi dijalankan setelah seluruh parameter fisik, hidrologi, serta paired data tampungan selesai didefinisikan.

Sebagai alternatif dan pendukung analisis, digunakan platform Global Watershed untuk mengidentifikasi batas DAS Tallo serta mengevaluasi perubahan tutupan lahan dalam periode 2000–2020. Analisis ini dilakukan untuk memperoleh gambaran spasial mengenai luasan DAS dan dinamika penggunaan lahan, dengan asumsi bahwa perubahan tutupan lahan berpengaruh terhadap respon hidrologi DAS. Hasil analisis menunjukkan peningkatan signifikan area terbangun sebesar 33% dan penurunan lahan pertanian sebesar 24%, sementara tutupan pohon relatif stabil. Data ini digunakan sebagai informasi

pendukung dalam interpretasi hasil pemodelan banjir dan sebagai dasar pemahaman perubahan karakteristik DAS secara makro.

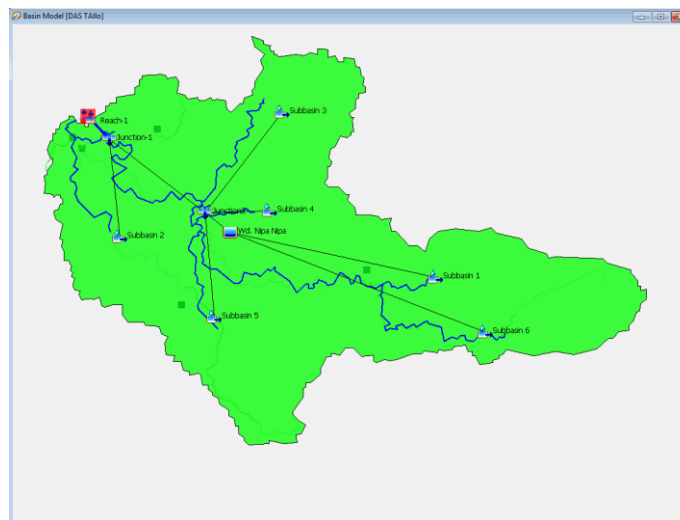
Harmonized World Soil Database (HWSD) digunakan untuk memperoleh informasi jenis dan karakteristik tanah pada DAS Tallo sebagai dasar penentuan parameter hidrologi. Berdasarkan peta HWSD, wilayah DAS Tallo didominasi oleh dua jenis tanah, yaitu Fluvisol dan Luvisol, yang masing-masing diklasifikasikan ke dalam kelompok tekstur tanah D dan C. Fluvisol diasumsikan memiliki karakter tanah aluvial dengan kesuburan tinggi namun rentan terhadap genangan, sedangkan Luvisol memiliki kandungan lempung tinggi dengan infiltrasi relatif lebih lambat. Informasi jenis dan tekstur tanah ini digunakan sebagai asumsi dasar dalam penentuan nilai Curve Number (CN) dan parameter infiltrasi pada pemodelan HEC-HMS.

F. Pemodelan Banjir HEC-HMS

Pemodelan banjir digunakan sebagai proses pengaliragaman hujan menjadi aliran dalam sebuah DAS dalam bentuk limpasan. Dalam mentransformasikan hujan menjadi limpasan diperlukan sebuah aturan ketetapan yang mencerminkan karakteristik DAS yang dikaji. Pemodelan banjir pada penelitian menggunakan perangkat lunak HECHMS untuk pengaliragaman hujan menjadi limpasan. Model yang terdapat di perangkat ini dapat digunakan untuk menghitung volume runoff, direct runoff, base flow, dan channel flow.

Pemodelan banjir pada penelitian ini menggunakan dengan multi-basin analysis yakni dengan membagi DAS utama menjadi sub-sub DAS yang lebih kecil. Proses pengolahan DAS menggunakan batuan perangkat lunak GIS, dimana DAS Tallo dibagi menjadi beberapa sub DAS.

Konfigurasi model DAS Tallo dibagi menjadi 6 sub DAS didapatkan dari analisa GIS kemudian didapatkan karakteristik DAS yang diukur dari peta digital topografi dan DEM menghasilkan luas, panjang, dan kemiringan. Model DAS Tallo dalam HEC-HMS dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4 Skema Skema Pemodelan Hujan-Aliran HEC-HMS

a) Estimasi Banjir Rencana

Masukan parameter dalam pemodelan HEC-HMS dilakukan untuk menghasilkan estimasi debit banjir rencana yang merepresentasikan kondisi hidrologi DAS Tallo secara aktual. Parameter model dikalibrasi menggunakan data debit harian hasil pencatatan selama

periode operasi Waduk Nipa-Nipa, sehingga karakteristik waktu kejadian banjir dan tinggi puncak banjir hasil simulasi mendekati kondisi nyata. Proses kalibrasi ini dilakukan dengan mengacu pada SNI 2415-2016, di mana perhitungan banjir rencana menggunakan pendekatan Unit Hidrograf SCS, sehingga pemodelan tidak memerlukan pembandingan metode hidrologi lain.

Pemodelan hujan–limpasan dalam penelitian ini menggunakan Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) SCS yang secara eksplisit mempertimbangkan parameter lag time sebagai representasi karakteristik fisik DAS, meliputi panjang aliran, kemiringan, penampang sungai, dan kekasaran. Nilai lag time dihitung untuk masing-masing sub DAS dan menunjukkan variasi respon hidrologi, dengan nilai berkisar antara 7,91 jam hingga 45,27 jam. Perbedaan lag time ini mencerminkan perbedaan ukuran, bentuk, dan kemiringan sub DAS yang memengaruhi kecepatan aliran limpasan menuju titik kontrol.

Perhitungan kehilangan air (loss) pada pemodelan HEC-HMS dilakukan menggunakan metode SCS Curve Number untuk memperkirakan besarnya infiltrasi dan penyimpanan awal air hujan. Parameter yang digunakan meliputi nilai Curve Number (CN), persentase area kedap (% impervious), dan initial abstraction (Ia) untuk masing-masing sub DAS. Nilai CN yang diperoleh bervariasi antara 56,40 hingga 91,91, mencerminkan perbedaan kondisi tata guna lahan dan karakteristik permukaan, di mana nilai CN yang lebih tinggi menunjukkan potensi limpasan yang lebih besar. Initial abstraction diasumsikan berbeda pada setiap sub DAS sesuai dengan kemampuan awal lahan dalam menyerap air hujan.

Aliran dasar (baseflow) dimodelkan menggunakan metode recession untuk merepresentasikan aliran bawah permukaan yang terjadi saat tidak ada limpasan langsung. Pada penelitian ini, baseflow ditentukan dengan Initial Type berupa debit awal sebesar 0,1 m³/detik, Threshold Type berupa rasio terhadap debit puncak sebesar 0,6, dan nilai recession constant sebesar 0,2. Asumsi ini digunakan untuk menggambarkan kontribusi aliran tertunda dari simpanan air dalam DAS yang berasal dari kejadian hujan sebelumnya, sehingga hidrograf hasil simulasi mencerminkan kondisi aliran total yang lebih realistis.

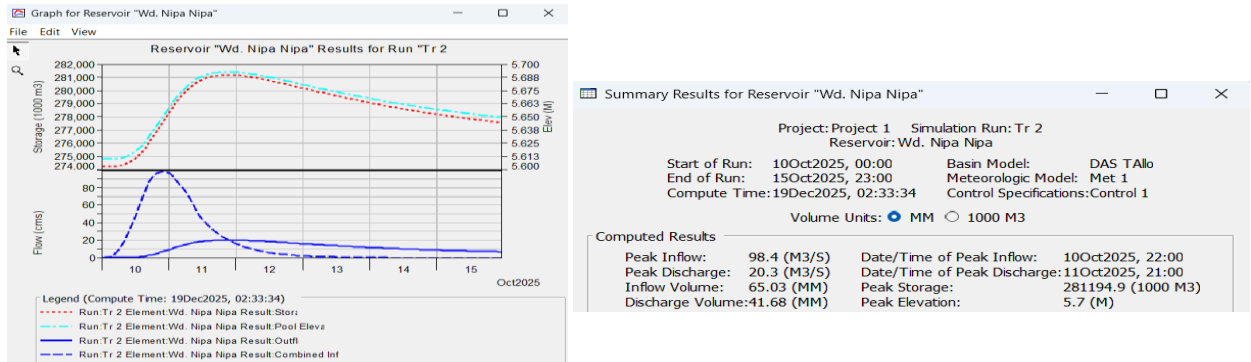
Penelusuran banjir (flood routing) dilakukan setelah seluruh parameter karakteristik DAS dan hidrologi ditentukan, dengan tujuan untuk memperoleh hidrograf banjir berupa debit masuk (inflow), debit keluar (outflow), dan elevasi muka air waduk Nipa-Nipa. Proses flood routing dalam HEC-HMS digunakan untuk mensimulasikan perambatan banjir sepanjang sistem sungai dan waduk berdasarkan parameter yang telah dikalibrasi. Sebelum hasil digunakan sebagai banjir rencana, model terlebih dahulu dikalibrasi agar debit hasil simulasi memiliki tingkat kesesuaian yang baik dengan kondisi banjir aktual, sehingga hasil penelusuran banjir dapat digunakan sebagai dasar evaluasi kinerja waduk.

b) Parameter Waduk Nipa Nipa

Pemodelan banjir dapat dilakukan dengan mengevaluasi data debit waduk observasi dengan data hujan dari stasiun hujan yang mewakili keseluruhan area DAS yang disimulasikan dalam satu periode waktu. Hasil simulasi dan nilai parameter statistik yang ditampilkan adalah pada Q2 (**Gambar 5**) dan Q200 (**Gambar 6**).

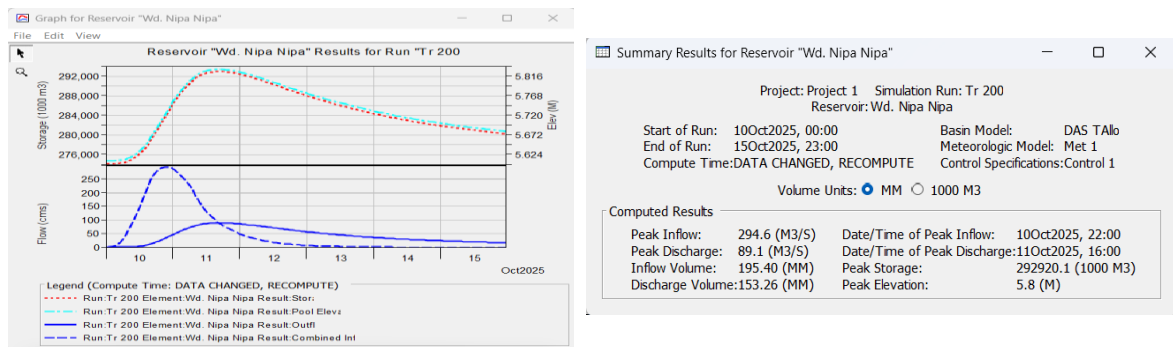
Hasil simulasi Q2 menunjukkan bahwa debit aliran masuk ke Waduk Nipa Nipa mengalami peningkatan yang signifikan pada awal periode simulasi. Debit inflow meningkat pada tanggal 10 Oktober 2025 sebagai respon langsung terhadap kejadian hujan dengan intensitas tinggi di wilayah DAS Tallo. Puncak inflow tercatat sebesar 98,4 m³/detik yang terjadi pada tanggal 10 Oktober 2025 pukul 22.00. Debit aliran keluar (outflow) dari Waduk Nipa Nipa menunjukkan pola yang berbeda dengan inflow. Peningkatan debit outflow terjadi secara bertahap, mengikuti mekanisme pengaturan waduk dalam melepas air. Debit puncak outflow tercatat sebesar 20,3 m³/detik dan terjadi pada tanggal 11 Oktober 2025 pukul 21.00. Perubahan tampungan waduk selama periode simulasi menunjukkan

peningkatan yang sejalan dengan meningkatnya inflow. Pada awal simulasi, volume tampungan waduk berada pada kondisi awal sekitar 274.000 (1000 m³). Seiring dengan meningkatnya inflow, volume tampungan mengalami kenaikan hingga mencapai puncaknya sebesar 281.194,9 (1000 m³) (**Gambar 5**).



Gambar 5 Output HEC-HMS Reservoir Q2

Debit puncak inflow pada Run Tr 200 mencapai 294,6 m³/detik yang terjadi pada tanggal 10 Oktober 2025 pukul 22.00. Meskipun inflow mencapai titik tertinggi dalam rangkaian simulasi ini, Waduk Nipa-Nipa tetap mampu mengendalikan debit yang dilepaskan ke hilir secara signifikan. Debit puncak outflow pada Run Tr 200 tercatat sebesar 89,1 m³/detik dan terjadi pada tanggal 11 Oktober 2025 pukul 16.00. Terjadi penundaan waktu puncak sekitar 18 jam dari puncak inflow (**Gambar 6**).



Gambar 6 Output HEC-HMS Reservoir Q200

G. PEMBAHASAN

Hasil simulasi hidrologi menggunakan perangkat lunak HEC-HMS menunjukkan bahwa Waduk Nipa-Nipa berperan signifikan dalam pengendalian debit banjir pada DAS Tallo. Pada skenario hujan ekstrem, debit puncak aliran masuk (peak inflow) tercatat sebesar 270,5 m³/detik, sementara debit puncak aliran keluar (outflow) hanya mencapai 79,6 m³/detik. Hal ini menunjukkan bahwa waduk mampu mereduksi debit banjir sebesar 190,9 m³/detik melalui mekanisme penampungan sementara (temporary storage). Pola hidrograf hasil simulasi juga memperlihatkan peningkatan volume tampungan yang cepat pada fase awal kejadian hujan, dengan puncak penyimpanan mencapai sekitar 292.000 m³ pada jam ke-10, sebelum kemudian menurun secara bertahap seiring pelepasan air yang terkendali.

Efektivitas pengendalian debit banjir tersebut sangat penting dalam menurunkan risiko banjir di wilayah hilir Sungai Tallo. Dengan menunda dan memotong puncak aliran, waduk memberikan waktu respon yang lebih panjang bagi sistem sungai untuk mengalirkan air secara bertahap, sehingga potensi genangan di kawasan permukiman dan infrastruktur hilir

dapat ditekan. Hasil ini menegaskan fungsi Waduk Nipa-Nipa tidak hanya sebagai infrastruktur pengendali banjir, tetapi juga sebagai sistem pengelolaan sumber daya air yang mampu mengatur keseimbangan antara debit masuk, debit keluar, dan kapasitas tampungan secara efisien.

Namun demikian, kinerja waduk dalam jangka panjang sangat dipengaruhi oleh faktor operasional dan kondisi fisik waduk. Volume tampungan efektif sebesar 2,74 juta m³ merupakan faktor kunci dalam keberhasilan peak clipping, sebagaimana ditunjukkan pada simulasi kala ulang 10 tahun yang mampu menurunkan debit puncak inflow sebesar 181,0 m³/detik menjadi outflow hanya 46,4 m³/detik. Akan tetapi, proses sedimentasi yang berpotensi menyebabkan pendangkalan waduk dapat mengurangi kapasitas tampungan aktif dan menurunkan efisiensi reduksi banjir yang saat ini mencapai sekitar 70%. Oleh karena itu, pengendalian sedimen dan pemantauan kapasitas tampungan secara berkala menjadi aspek krusial dalam menjaga kinerja waduk.

Selain faktor internal waduk, efektivitas pengendalian banjir juga dipengaruhi oleh kondisi fisik sungai di hilir. Normalisasi dan pelebaran Sungai Tallo berperan penting dalam memastikan debit keluar dari waduk dapat dialirkan tanpa menimbulkan luapan atau aliran balik (backwater). Infrastruktur spillway sepanjang 170 meter dirancang untuk menjaga elevasi muka air waduk tetap pada batas aman, bahkan saat menghadapi banjir ekstrem hingga kala ulang 200 tahun. Sinergi antara kapasitas tampungan waduk, pola operasi, dan kapasitas alur sungai menjadi kunci utama agar Waduk Nipa-Nipa dapat terus berfungsi optimal dalam menghadapi tantangan peningkatan intensitas curah hujan akibat perubahan iklim.

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa Waduk Nipa-Nipa memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pengendalian debit banjir di DAS Tallo. Pemodelan hidrologi menggunakan HEC-HMS menunjukkan bahwa waduk mampu mereduksi puncak aliran masuk yang berpotensi menimbulkan banjir, di mana pada simulasi banjir Q100 tanggal 10 Oktober 2025 debit inflow sebesar 270,5 m³/detik berhasil diturunkan menjadi debit outflow sebesar 79,6 m³/detik, sehingga lebih dari 190 m³/detik aliran air dapat ditahan di dalam waduk. Efektivitas kinerja waduk ini terutama ditentukan oleh kapasitas volume tampungan sebesar 2,74 juta m³ yang memungkinkan terjadinya peak clipping hingga sekitar 70% pada skenario banjir ekstrem. Namun demikian, keberlanjutan fungsi pengendalian banjir sangat bergantung pada terjaganya volume tampungan aktif dari pengaruh sedimentasi yang dapat menyebabkan pendangkalan, serta pada kondisi fisik alur Sungai Tallo melalui upaya normalisasi dan pelebaran sungai, termasuk dukungan infrastruktur pelimpah dalam menjaga stabilitas muka air waduk.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, T., Musa, R., & Mallombassi, A. (2022). Analisis Kebutuhan Air Irigasi Akibat Perubahan Tata Guna Lahan. *Jurnal Flyover*, 2(2), 66–75. <https://doi.org/10.52103/JFO.V2I2.1343>
- Aditia, A., dkk. (2021). Efektivitas Kolam Regulasi Nipa-Nipa dalam Pengendalian Banjir Kota Makassar. *Jurnal Teknik Hidro*.
- Arbaningrum, R. (2018). Pemodelan Pola Operasi Sistem Pompa pada Desain Polder Guna Mitigasi Banjir dan Rob di Wilayah Semarang
- Ariesandy Maya A, J. S., Musa, R., & Sar, M. (2024). Kajian Sumur Resapan Dalam Mengurangi Risiko Limpasan Permukaan di Kawasan Pondambea Kota Kendari. *Jurnal Flyover*, 4(1), 167–180. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I1.2175>
- Aunurrafiq, Musa, R., & Sar, M. (2024). Kajian Pengaruh Tata Guna Lahan terhadap Debit Banjir. *Jurnal Flyover*, 4(1), 87–98. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I1.2168>

- Fahmi, Nita Arina. (2022). Evaluasi Kinerja IPLT Nipa-Nipa di Makassar. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Fernanda, F., Ashad, H., & SAR, M. (2024). Kajian Pola Hujan Akibat Pemanasan Global pada DAS Konaweha Provinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Flyover*, 4(2), 191–202. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I2.2177>
- Fikri Wahyuddin, M. S., Musa, R., & Ashad, H. (2024). Kajian Koefisien Limpasan Penutup Lahan dengan Perkerasan Aspal (Uji Laboratorium). *Jurnal Flyover*, 4(1), 133–142. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I1.2172>
- Harjanti, N. W., & Darsono, S. (2020). Optimasi Lepasn Waduk Logung dengan Algoritma Genetik. *Siklus*, 6(1), 38–48.
- Hidayah, E. (2012). Uji Keandalan Penguraian Data Hujan Penguraian (Disgregasi) untuk Pemodelan Hidrograf Banjir di DAS Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Pengairan*, 3(2), 97–101. <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik>
- Hidayat, M. I., Hadi, A. K., & Musa, R. (2022). Kelayakan Proyek Pembangunan Jaringan Irigasi Daerah Irigasi (DI) Teko Kabupaten Sinjai. *Jurnal Flyover*, 2(2), 86–98. <https://doi.org/10.52103/JFO.V2I2.1346>
- Ikbāl, M. (2022). Optimalisasi Kolam Regulasi Nipa-Nipa Dalam Upaya Pengendalian Banjir Sungai Tallo. Tesis. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Islami, F. A. (2021). Modul HEC-HMS: Langkah-langkah Pemodelan Hidrologi Sederhana. In *Loker Teknik Sipil*.
- JHS, B., ALT, F., AD, L., & LC, A. (2019). The Influence of Spatial Discretization on HEC-HMS Modelling: A Case Study. *International Journal of Hydrology*, 3(5), 442–449.
- Kasrawawi, Musa, R., & Mallombassi, A. (2022). Perbaikan Alur Sungai Akibat Debit Banjir. *Jurnal Flyover*, 2(1), 48–55. <https://doi.org/10.52103/JFO.V2I1.871>
- Katili, N. P. R., Musa, R., & SAR, M. (2024). Evaluasi Kinerja Sistem Irigasi pada Daerah Irigasi Posso Kabupaten Gorontalo Utara. *Jurnal Flyover*, 4(2), 211–224. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I2.2180>
- Kementerian Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2004). Keputusan Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah Tentang Pengoperasian Waduk Tunggal (360/KPTS/M/2004).
- Kementerian PUPR. (2017a). Modul 8: Operasi Waduk (8th ed.). Kementerian PUPR.
- Kirpich, Z. P. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil Engineering*, 10(6), 362.
- Kristianto, A., Saragih, I. J. A., Ryan, M., Wandarana, W., Pratiwi, H. N., Gaol, L. A., Pratama, K., & Siadari, E. L. (2018). Pemanfaatan Data Pengamatan Cuaca Berbasis Data Penginderaan Jauh Dan Model Cuaca Numerik Untuk Prakiraan Cuaca Dalam Mengurangi Risiko Bencana Hidrometeorologi. *Jurnal Geografi, Edukasi, Dan Lingkungan (JGEL)*, 2(2), 87–96.
- Kurniawati, A., Musa, R., Mallombassi, A., & Wellang, M. (2021). Kajian Debit Banjir di Wilayah Sungai Saddang Kabupaten Pinrang Sulawesi Selatan dengan Menggunakan Grafik Creager. *Jurnal Flyover*, 1(2), 1–7. <https://doi.org/10.52103/JFO.V1I2.755>
- Maddi, H. C., Musa, R., & Ashad, H. (2021). Kajian Pengendalian Banjir dengan Menggunakan Waduk Regulasi. *Jurnal Flyover*, 1(1), 21–32. <https://doi.org/10.52103/JFO.V1I1.658>
- Mohamad, I., Musa, R., & Ashad, H. (2021). Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Petugas Operasi dan Pemeliharaan dalam Pengelolaan Operasi Jaringan Irigasi. *Jurnal Flyover*, 1(2), 48–59. <https://doi.org/10.52103/JFO.V1I2.750>
- Muhidin, A. H., Musa, R., & Latif, A. A. (2024). Kajian Potensi Sedimen Di Sub-DAS Bionga-Bulota terhadap Upaya Penanganan Pendangkalan Danau Limboto. *Jurnal Flyover*, 4(2), 359–369. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I2.2204>
- Munajad, R., & Suprayogi, S. (2015). Kajian Hujan-Aliran Menggunakan Model Hec-Hms Di Sub Daerah Aliran Sungai Wuryantoro Wonogiri, Jawa Tengah. *Jurnal Bumi Indonesia*, 4(1), 150–157.
- Munir, M., dkk. (2021). Analisis Pengaruh Kolam Regulasi Nipa-Nipa Terhadap Reduksi Banjir Sungai Tallo Kota Makassar. *Jurnal Konstruksi*.
- Musa, R., Pratama, W., & Subhan, A. M. (2025). Kajian Potensi Pemanenan Air Hujan sebagai Sumber Air Alternatif di Kampus Pascasarjana Universitas Muslim Indonesia. *Jurnal Flyover*, 5(1), 85–96. <https://doi.org/10.52103/JFO.V5I1.2213>
- Nasaruddin, Musa, R., & Ashad, H. (2022). Efektivitas Pengoperasian Bendungan dalam Pengendalian Banjir (Studi Kasus Bendungan BiliBili). *Jurnal Teknik Sipil Macca*, 7(1), 33–40.

- Nirmalawaty, D., Musa, R., & Latif, A. A. (2024). Kajian Peran P3A Sipakainga 1 terhadap Kinerja Jaringan Irigasi Saddang UPTD Langnga Kabupaten Pinrang. *Jurnal Flyover*, 4(2), 235–246. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I2.2192>
- Pandi, A. M. (2022). Analisis Kapasitas Tampung Kolam Regulasi Nipa-Nipa Terhadap Reduksi Banjir Sungai Tallo. Tesis. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Peraturan Menteri PUPR Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2023 Tentang Perubahan Kedua Peraturan Menteri PUPR Nomor 27/PRT/M/2015 Tentang Bendungan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2023).
- Poleanto, E., Musa, R., & Subhan, A. M. (2024). Kajian Kinerja Operasi dan Pemeliharaan Jaringan Irigasi D.I Bendung Amohalo Kota Kendari. *Jurnal Flyover*, 4(1), 181–190. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I1.2176>
- Pratikno, A. (2017). Analisis Efektivitas Kolam Regulasi Nipa-Nipa Dalam Mereduksi Banjir Di Sungai Tallo Kota Makassar. Skripsi. Makassar: Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Priyanto, R. E., Musa, R., & SAR, M. (2024). Kajian Geometrik dan Kapasitas Penampang Sungai Klagison Kota Sorong Menggunakan Metode HEC-RAS. *Jurnal Flyover*, 4(2), 287–298. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I2.2197>
- Putri, A. S. S., Ashad, H., & SAR, M. (2024). Kajian Model Debit Banjir Hidrograf Daerah Aliran Sungai Maros. *Jurnal Flyover*, 4(2), 247–256. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I2.2193>
- Ribowo, L., Ashad, H., & SAR, M. (2024). Analisis Pola Hujan Terhadap Parameter Iklim Subdas Klagison Kota Sorong. *Jurnal Flyover*, 4(2), 313–322. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I2.2199>
- Riduan, Musa, R., & Latif, A. A. (2024). Evaluasi Kapasitas Saluran Drainase Jongaya dengan Menggunakan Software HEC-RAS. *Jurnal Flyover*, 4(2), 225–234. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I2.2181>
- Rizal, R. (2023). Kajian Potensi Pemanfaatan Air Tanah Berdasarkan Data Geolistrik Resistiviti untuk Air Baku. *Jurnal Flyover*, 3(2), 120–128. <https://doi.org/10.52103/JFO.V3I2.1637>
- Rizky Auliarahman, R., Musa, R., & Mallombassi, A. (2024). Kajian Penilaian Kerusakan Jaringan Irigasi Bila Kanan, Kabupaten Sidenreng Rappang. *Jurnal Flyover*, 4(1), 1–11. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I1.2153>
- Rosytha, Anna. (2023). Peran Unit Pengelola Bendungan dalam Pengelolaan Bendungan Berkelanjutan di Satker OP BBWS Brantas (Studi Kasus UPB Bendungan Nipah). Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil, Volume 5, No 1, E-ISSN: 2655-6421.
- Saputra, R. E., Musa, R., & Ashad, H. (2024). Kajian Debit Banjir Sungai terhadap Kala Ulang pada Sungai Wanggu di Kota Kendari Sulawesi Tenggara. *Jurnal Flyover*, 4(2), 323–332. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I2.2200>
- Satriani. (2020). Analisis Kapasitas Tampung Kolam Regulasi Nipa-Nipa dengan Metode Ripple. Program Pascasarjana, Universitas Hasanuddin, Gowa.
- Toding, R. O., Ashad, H., & SAR, M. (2025). Evaluasi Operasi Waduk Ameroro Kabupaten Konawe untuk Keperluan Irigasi. *Jurnal Flyover*, 5(1), 189–200. <https://doi.org/10.52103/JFO.V5I1.2231>
- USACE. (2000). Hydrologic Modeling System Technical Reference Manual. HEC-HMS Technical Reference Manual, March, 148.
- Wibisono, E., dkk. (2021). Peran Unit Pengelola Bendungan Dalam Pengelolaan Bendungan Berkelanjutan Di Satker OP BBWS Brantas (Studi Kasus UPB Bendungan Wonorejo). *Jurnal Teknik Sipil*.
- Wiliya, & Lasminto, U. (2022). Pemodelan Hujan-Debit Menggunakan Model Hec-HMS Di DAS Bengawan Solo Hulu. *Aplikasi Teknik Sipil*, 20(2), 193–198.
- Yamin, A., Ashad, H., & Sar, M. (2024). Kajian Kerusakan Bangunan Pantai pada Kawasan Anaiwoi – Kampung Bajo Kabupaten Kolaka. *Jurnal Flyover*, 4(1), 121–132. <https://doi.org/10.52103/JFO.V5I1.2171>
- Yumna Satrio, Rizko. (2024). Evaluasi Kinerja Operasi Banjir Waduk Kedung Ombo dengan Simulasi Early Release Reservoir. Universitas Islam Sultan Agung Semarang.