

Estimasi Debit Banjir Rancangan pada Bendungan Bulango Ulu di Provinsi Gorontalo

Miskar Maini

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera, Indonesia

Corresponding Author

Nama Penulis: Miskar Maini

E-mail: miskar.maini@si.itera.ac.id

Abstrak

Bendungan Bulango Ulu direncanakan membangun konstruksi terowongan pengelak yang akan menjadi salah satu tahap awal dalam pembangunan bendungan. Terowongan pengelak ini berfungsi untuk mengalihkan aliran Sungai Bulango, baik debit normal maupun debit banjir, selama proses konstruksi berlangsung. Namun, karena data debit harian yang terukur di lapangan tidak tersedia secara memadai, estimasi debit banjir dilakukan menggunakan data hujan harian yang dianalisis dengan pendekatan Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) metode Nakayasu. Analisis ini bertujuan untuk menentukan debit banjir rancangan pada kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, dan 50 tahun, yang digunakan sebagai acuan dalam perencanaan sistem peringatan dini untuk mitigasi bencana banjir. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan keamanan operasional terowongan pengelak dan mendukung pembangunan Bendungan Bulango Ulu di Provinsi Gorontalo. Hasil analisis HSS Nakayasu pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Bulango Ulu menunjukkan bahwa debit banjir yang dihasilkan oleh hujan efektif 1 mm memiliki waktu puncak sebesar 2,8 jam. Debit puncak banjir rancangan untuk berbagai kala ulang yang dianalisis adalah sebesar 353,15 m³/s (2 tahun), 450,97 m³/s (5 tahun), 516,63 m³/s (10 tahun), 659,55 m³/s (25 tahun), dan 729,76 m³/s (50 tahun).

Kata kunci - Bendungan Bulango Ulu, Debit banjir rancangan, HSS Nakayasu, Terowongan pengelak

Abstract

The Bulango Ulu Dam is designed to construct a diversion tunnel which will be one of the initial stages in the construction of the dam. This diversion tunnel functions to divert the flow of the Bulango River, both normal discharge and flood discharge, during the construction process. However, because daily discharge data measured in the field is not available adequately, flood discharge estimates were carried out using daily rainfall data analyzed using the Nakayasu Synthetic Unit Hydrograph (SUT) approach. This analysis aims to determine the design of flood discharge at return periods of 2 years, 5 years, 10 years, 25 years, and 50 years, which is used as a reference in planning an early warning system for flood disaster mitigation. It is expected to improve the operational safety of the diversion tunnel and support the construction of the Bulango Ulu Dam in Gorontalo Province. The results of the Nakayasu SUT analysis in the Bulango Ulu Watershed (DAS) show that the flood discharge produced by 1 mm of adequate rainfall has a peak time of 2.8 hours. The design peak flood discharge for the various return periods analyzed is 353.15 m³/s (2 years), 450.97 m³/s (5 years), 516.63 m³/s (10 years), 659.55 m³/s (25 years), and 729.76 m³/s (50 years).

Keywords - Bulango Ulu Dam, Design flood discharge, Nakayasu SUT, Diversion tunnel

PENDAHULUAN

Bendungan Bulango Ulu direncanakan memiliki konstruksi terowongan pengelak yang akan dibangun pada tahap awal pembangunan bendungan. Terowongan pengelak berfungsi untuk mengalihkan arah aliran Sungai utama selama periode pekerjaan konstruksi Bendungan Bulango Ulu. Lokasi terowongan pengelak Bendungan Bulango Ulu berada di sisi kiri tebing sungai, dengan mempertimbangkan kondisi morfologi sungai, struktur geologi untuk mendukung pondasi, serta pemanfaatan bagian *outlet* saluran pengelak untuk bangunan pengaturan air menuju ke hilir sungai. Lokasi tersebut juga dipilih karena memiliki rute yang relatif pendek. Terowongan pengelak dirancang berbentuk tapal kuda dengan diameter 7 meter dan panjang 360 meter. Saluran pengelak ini didesain untuk mengalirkan debit banjir rencana dengan periode ulang 50 tahun (Q_{50}). Setelah konstruksi terowongan pengelak selesai dibangun, kemudian aliran sungai dialihkan ke terowongan pengelak, sehingga dapat mengamankan pelaksanaan pekerjaan konstruksi bendungan utama dan bangunan pelimpah. Pada tahap akhir konstruksi, bagian *inlet* dan *outlet* terowongan pengelak akan ditutup (*plugging*) dan dimanfaatkan sebagai saluran pembawa untuk air baku dan irigasi melalui bangunan pengambilan (*intake*). Bangunan *intake* direncanakan menggunakan tipe menara (*intake tower*). Oleh karena itu, terowongan pengelak harus didesain sedemikian rupa agar mampu mengalirkan debit banjir rencana dengan aman.

Berdasarkan tipe dan spesifikasi tertentu, salah satu persyaratan keamanan terhadap limpasan pada bendungan adalah adanya ruang bebas dengan tinggi jagaan tertentu untuk mengantisipasi debit banjir rancangan. Apabila kapasitas limpasan tidak mencukupi untuk mengalirkan debit banjir rancangan, maka diperlukan sistem peringatan dini untuk memantau risiko kapasitas terowongan pengelak yang tidak memadai, sehingga dapat mengancam keselamatan konstruksi bendungan. Oleh karena itu, kajian hidrologis yang mencakup estimasi debit banjir rancangan melalui terowongan pengelak menjadi sangat penting. Namun, keterbatasan data debit harian terukur di lapangan menjadi kendala dalam menghitung debit banjir untuk kala ulang tertentu. Sementara itu, data yang tersedia di lapangan umumnya berupa data hujan harian. Untuk mengatasi kendala ini, estimasi debit banjir rancangan dilakukan dengan pendekatan transformasi data hujan menjadi hujan rancangan, yang selanjutnya diubah menjadi debit banjir rancangan menggunakan Hidrograf Satuan Sintetis (HSS), khususnya metode HSS Nakayasu. Metode HSS Nakayasu telah diterapkan secara luas dalam studi hidrologi, termasuk pada kasus banjir di Indonesia (Adeo et al., 2022; Andayani & Umari, 2022; Ansori et al., 2023; Buana et al., 2022; Damayanti et al., 2022; Seran et al., 2020). Selain itu, metode ini juga digunakan secara luas dalam perencanaan embung dan bendungan di Indonesia, sebagaimana yang dilakukan oleh beberapa peneliti (Aditiya et al., 2023; Budiarto et al., 2023; Darmawan et al., 2022; Janatha & Soebagio, 2021; Mashuri et al., 2022; Sarminingsih, 2018; Ujianto et al., 2022). Keberhasilan penerapan metode ini dalam berbagai studi menunjukkan fleksibilitas dan keandalannya dalam mengatasi tantangan pengelolaan sumber daya air di berbagai kondisi daerah aliran sungai (DAS). Dengan latar belakang tersebut, diperlukan penelitian terkait estimasi debit banjir rancangan dengan kala ulang tertentu untuk mendukung perencanaan dan pembangunan terowongan pengelak di Bendungan Bulango Ulu, Provinsi Gorontalo.

TINJAUAN PUSTAKA

Salah satu elemen kunci dalam pengelolaan sumber daya air di kawasan daerah aliran sungai (DAS) adalah pembangunan sistem tampungan, seperti waduk atau bendungan. Infrastruktur ini dirancang untuk mengatur aliran air hujan dan limpasan banjir (debit banjir) sehingga dapat mencegah terjadinya banjir di sekitar DAS maupun di wilayah hilirnya (Maini & Mashuri, 2020, 2019).

Namun, salah satu tantangan utama dalam implementasi pengelolaan air di DAS adalah seringkali tidak tersedianya data debit banjir terukur yang memadai di lapangan. Hal ini menjadi kendala dalam merencanakan dan merancang infrastruktur pengendalian banjir secara efektif. Untuk mengatasi keterbatasan ini, diperlukan metode yang dapat memprediksi debit banjir berdasarkan

transformasi curah hujan menjadi limpasan. Model-model prediksi ini memungkinkan estimasi debit banjir secara luas dan telah diterapkan dalam berbagai studi untuk memperkirakan kondisi banjir di DAS (Ansori & Anwar, 2022; Fang & Shao, 2022; Harun et al., 2007, 2012; Jehanzaib et al., 2022; Reddy et al., 2023; Riad et al., 2004; Saefulloh et al., 2018; Xu et al., 2021). Pendekatan ini menjadi solusi strategis untuk mendukung pengelolaan air berbasis data dan perencanaan yang lebih adaptif terhadap berbagai skenario curah hujan dan karakteristik DAS.

Salah satu pendekatan dalam transformasi curah hujan menjadi debit banjir adalah dengan menggunakan metode hidrograf satuan sintetis (HSS). Berbagai model HSS telah banyak dikembangkan oleh para peneliti dan diaplikasikan dalam berbagai studi kasus banjir di kawasan daerah aliran sungai (DAS). Prosedur perhitungan HSS dan penerapannya dapat ditemukan dalam penelitian Natakusumah et al., (2011), yang membahas prinsip dasar hidrograf satuan, serta penerapan lebih lanjut pada studi kasus lapangan terkait pembangunan embung, seperti yang dilaporkan oleh Mashuri et al., (2022).

Salah satu model HSS yang populer karena kemudahan penerapannya, terutama pada kondisi data yang terbatas, adalah metode HSS Nakayasu. Model ini banyak digunakan di Indonesia dan telah terbukti efektif dalam berbagai kajian hidrologi, seperti yang dilakukan oleh Adoe et al., (2022) dan Damayanti et al., (2022). Fleksibilitas metode ini menjadikannya pilihan utama dalam analisis hidrograf banjir, khususnya untuk mendukung perencanaan dan pengelolaan sumber daya air di kawasan DAS maupun untuk pembangunan bendungan.

METODE

Estimasi debit banjir rancangan ini dilakukan pada studi kasus pembangunan Bendungan Bulango Ulu di Provinsi Gorontalo, dengan kondisi panjang utama Sungai Mongilo Owata adalah 27,59 Km dengan luas daerah aliran sungai (DAS) Bulango Ulu seluas 243,19 Km². Pembangunan konstruksi Bendungan Bulango Ulu direncanakan akan dibangun terowongan pengelak untuk mengantisipasi aliran Sungai maupun debit banjir saat pelaksanaan konstruksi berlangsung agar dapat memudahkan Pembangunan konstruksi utama tubuh bendungan dan *spillway*. Data lapangan hanya tersedia data hujan harian, untuk itu perlu dilakukan kajian terkait estimasi debit banjir rancangan kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun dan 50 tahun sesuai dengan spesifikasi terowongan pengelak dirancangan menggunakan debit banjir kala ulang 50 tahun. Metode penelitian yang dilaksanakan dalam studi ini ada beberapa tahapan, seperti pengumpulan data hujan, analisis hujan rancangan dan perhitungan debit banjir rancangan. Berikut adalah tahapan-tahapan metodologi penelitian yang dilakukan:

Pengumpulan Data Hujan

Data hujan yang digunakan dalam penelitian ini berupa data hujan harian dari stasiun terdekat dengan lokasi Bendungan Bulango Ulu di DAS Bulango, yaitu di Stasiun Hujan Dulamayo. Data hujan harian yang tersedia selama 15 tahun yaitu data hujan harian dari tahun 2007 hingga tahun 2021. Kemudian data hujan harian selama 15 tahun tersebut dianalisis data hujan maksimum setiap tahun dan dilakukan rekapitulasi kemudian diperoleh data hujan maksimum setiap tahun dan diperoleh sebanyak 15 data hujan maksimum yang selanjutnya akan digunakan ke tahap analisis hujan rancangan dengan pendekatan analisis frekuensi.

Tabel 1.
Hujan Harian Maksimum DAS Bungalo Ulu

No	Tahun	Hujan Maksimum (mm)	No	Tahun	Hujan Maksimum (mm)
1	1998	57.39	13	2010	145.80
2	1999	50.90	14	2011	74.80
3	2000	70.69	15	2012	124.60
4	2001	100.81	16	2013	130.80
5	2002	80.00	17	2014	68.90
6	2003	78.00	18	2015	118.20
7	2004	110	19	2016	136.1
8	2005	79	20	2017	103.5
9	2006	87	21	2018	96.6
10	2007	134.1	22	2019	82.7
11	2008	125.2	23	2020	82.7
12	2009	99.5	24	2021	94.6

Metode Analisis Hujan Rancangan

Tahap selanjutnya adalah melakukan analisis frekuensi curah hujan untuk memperoleh hujan rancangan dengan berbagai kala ulang (*return period*), seperti 25 tahun dan 50 tahun. Tahap analisis ini merupakan proses untuk memperkirakan besaran curah hujan maksimum yang berpotensi menyebabkan debit banjir yang juga telah banyak diterapkan dalam penelitian bidang sumber daya air seperti (Gunawan et al., 2020; Mashuri et al., 2022). Metode analisis frekuensi ini meliputi metode distribusi Normal, Log-Normal, Gumbel, dan Log Pearson Type III. Untuk memilih distribusi yang dapat diterapkan, maka dilakukan pengujian tingkat kesesuaiannya sesuai dengan kriteria ambang batas dari Tabel 1. Selain kesesuaian kriteria distribusi, pemilihan distribusi frekuensi harus memenuhi atau lulus uji Chi-Kuadrat dan uji Smirnov-Kolmogorov sesuai perhitungan hujan rancangannya.

Tabel 2.
Kriteria Sebaran Distribusi

No	Jenis Distribusi	Kriteria	Metode Pengujian
1	Normal	$C_s \approx 0$ $C_k \approx 3$	
2	Log Normal	$C_s = 3 C_v$ C_s selalu positif	Harus lulus uji Chi-Kuadrat Harus lulus uji Smirnov-Kolmogorov
3	Gumbel	$C_s = 1,1396$ $C_k = 5,4002$	
4	Log Person Type III	Tidak ada sifat khas.	

Guna pengujian jenis distribusi atau sebaran data, perlu dihitung harga-harga koefisien varian (C_v), koefisien skewness (C_s) dan koefisien kurtosis (C_k) dengan rumus sebagai berikut:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n} \tag{1}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \tag{2}$$

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}} \tag{3}$$

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n - 1)(n - 2) S^3} \tag{4}$$

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n - 1)(n - 2)(n - 3) S^4} \tag{5}$$

Dimana \bar{X} merupakan nilai rata-rata hitung, X_i merupakan data ke i (1,2,3,n), n merupakan banyaknya data dan S adalah standar deviasi.

Metode Analisis Distribusi Hujan Rancangan

Setelah diperoleh hujan rancangan harian dari analisis frekuensi tahap selanjutnya hujan harian tersebut perlu ditransformasi ke intensitas hujan jam-jaman dalam durasi tertentu. Untuk mengetahui durasi distribusi hujan jam-jaman perlu diketahui waktu perjalanan air hujan yang jatuh ke permukaan dari titik terjauh ke titik *outlet* yang ditinjau yang disebut waktu konsentrasi (t_c). Waktu konsentrasi dapat dihitung dengan Persamaan (6) menggunakan metode Australian *Rainfall-Runoff* (ARR).

$$t_c = 0,76A^{0,38} \tag{6}$$

Dimana A merupakan luas DAS (km²)

Setelah diketahui waktu konsentrasi tahap selanjutnya menghitung distribusi hujan jam-jaman dengan menggunakan Persamaan (7) dari metode Mononobe dan presentase distribusi hujan jam-jaman dengan menggunakan Persamaan (8) kemudian tahap selanjutnya menghitung hujan efektif. Perhitungan hujan efektif perlu menghitung koefisien aliran atau koefisien limpasan di seluruh Kawasan DAS. Koefisien aliran (C) dilihat pada peta tata guna lahan hasil analisis nilai C yang sudah dianalisis sebelumnya dari data sekunder dengan nilai koefisien pengaliran di DAS Bulango Ulu sebesar $C = 0,55$.

$$I = \frac{R_{24}}{t_c} \left(\frac{t_c}{T} \right)^{2/3} \tag{7}$$

Dimana:

- I = intensitas rata-rata hujan dalam T jam (mm/hari)
- R_{24} = curah hujan efektif dalam 1 hari (mm)
- t_c = waktu konsentrasi hujan (berdasarkan hitungan T_c selama 6 jam)
- T = waktu mulai hujan

Prosedur berikutnya setelah diperoleh nilai intensitas hujan tahap selanjutnya presentase sebaran hujan jam-jaman (R_t) dapat dihitung Persamaan (8).

$$R_t = (t . R_T) - (t - 1)(R_{t-1}) \tag{8}$$

Estimasi Debit Banjir Rancangan dengan Hidrograf Satuan Sintentis (HSS) Nakayasu

Salah satu tantangan dalam model analisis hidrologi untuk menentukan debit puncak banjir pada suatu hidrograf adalah keterbatasan data terukur pada beberapa Daerah Aliran Sungai (DAS). Kondisi ini memerlukan pengembangan pendekatan alternatif, salah satunya adalah dengan menggunakan Hidrograf Satuan Sintentis (HSS) yang didasarkan pada karakteristik terukur dari daerah tangkapan (Chow, 1965; Herrmann & Bucksch, 2014; Sherman, 2010; Triatmodjo, 2013).

Dalam penelitian ini, metode Hidrograf Satuan Sintentis (HSS) Nakayasu dipilih sebagai metode analisis utama. Metode ini dikenal karena kemampuannya dalam memberikan estimasi yang cukup baik terhadap debit puncak dan karakteristik hidrograf banjir berdasarkan hujan rancangan, tanpa memerlukan data yang sangat rinci tentang karakteristik fisik DAS. Proses perhitungan melibatkan konversi hujan rancangan menjadi debit banjir melalui serangkaian persamaan yang menghubungkan intensitas hujan, luas DAS, serta karakteristik fisik daerah tangkapan air. Pendekatan ini memungkinkan perhitungan yang lebih efisien dan dapat diterapkan pada DAS dengan data yang terbatas, sehingga hasilnya tetap relevan untuk perencanaan dan pengelolaan banjir di kawasan penelitian.

HSS Nakayasu, yang dikembangkan berdasarkan penelitian karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS) alami di Jepang, telah menjadi salah satu metode yang penting dalam analisis hidrologi. Hidrograf ini diekspresikan dengan membandingkan debit banjir (Q) dengan debit puncak banjir (Q_p), serta waktu hidrograf (t) dengan waktu naik (T_p), yang kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik. Dalam metode ini, perhitungan debit dari lengkung kurva naik hingga turun dihitung dengan persamaan yang berbeda, di mana parameter nilai α sebagai parameter kontrol dalam menentukan debit puncak banjir.

Data karakteristik fisik DAS yang diperlukan untuk membuat HSS Nakayasu ini seperti panjang sungai utama atau saluran (L) dan luas DAS (A). Sedangkan untuk menghitung T_p (waktu puncak) dan T_g (*time lag*) dapat dihitung menggunakan Persamaan (9) hingga Persamaan (11):

$$T_g = 0,21L^{0,7} \text{ jika } L < 15 \text{ km} \quad (9)$$

$$T_g = 0,4 + 0,058L \text{ jika } L > 15 \text{ km} \quad (10)$$

$$T_p = T_g + 0,8T_r \quad (11)$$

Tahap selanjutnya menetapkan hujan efektif (R_e) sebesar 1 mm dan debit banjir puncak (Q_p) dapat dihitung menggunakan Persamaan (12):

$$Q_p = \frac{AR_e}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})} \quad (12)$$

di mana $T_{0,3}$ merupakan durasi penurunan debit puncak hingga mencapai 30% sehingga nilai $T_{0,3}$ dapat diperoleh dari perhitungan $T_{0,3} = \alpha T_g$.

Dalam perhitungan debit banjir menggunakan metode HSS Nakayasu dihitung menjadi 4 bagian, yaitu:

a. Untuk kurva hidrograf naik ($0 < t < T_p$)

$$Q_p = \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4} \quad (13)$$

b. untuk kurva hidrograf turun

• untuk $t \leq (T_p + T_{0,3})$

$$Q_{t1} = Q_p 0,3 \left(\frac{tT_p}{T_{0,3}}\right) \quad (14)$$

• untuk $(T_p + T_{0,3}) \leq t \leq (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$

$$Q_{t2} = Q_p 0,3 \left(\frac{tT_p + 0,5T_{0,3}}{1,5T_{0,3}}\right) \quad (15)$$

• untuk $t > (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$

$$Q_{t3} = Q_p 0,3 \left(\frac{tT_p + 0,5T_{0,3}}{2T_{0,3}}\right) \quad (16)$$

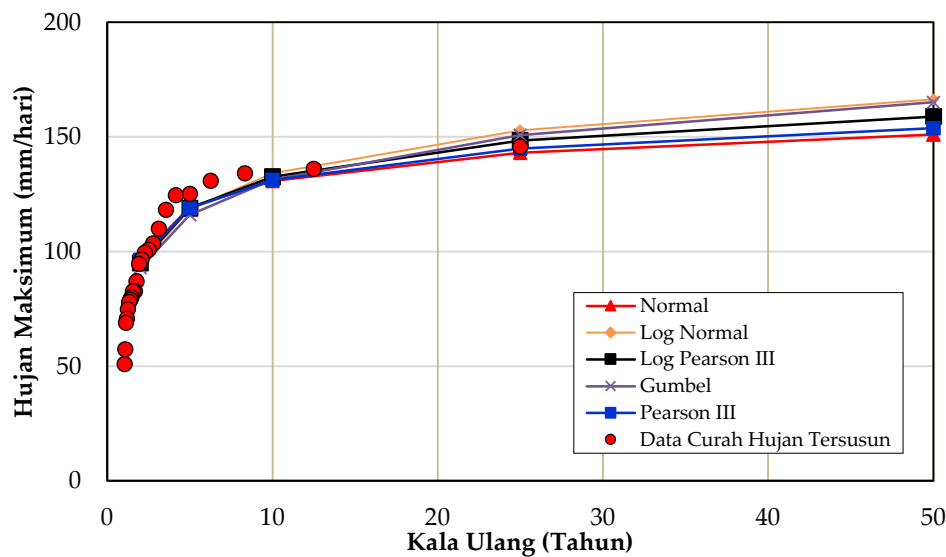
PEMBAHASAN

Analisis Hujan Rancangan

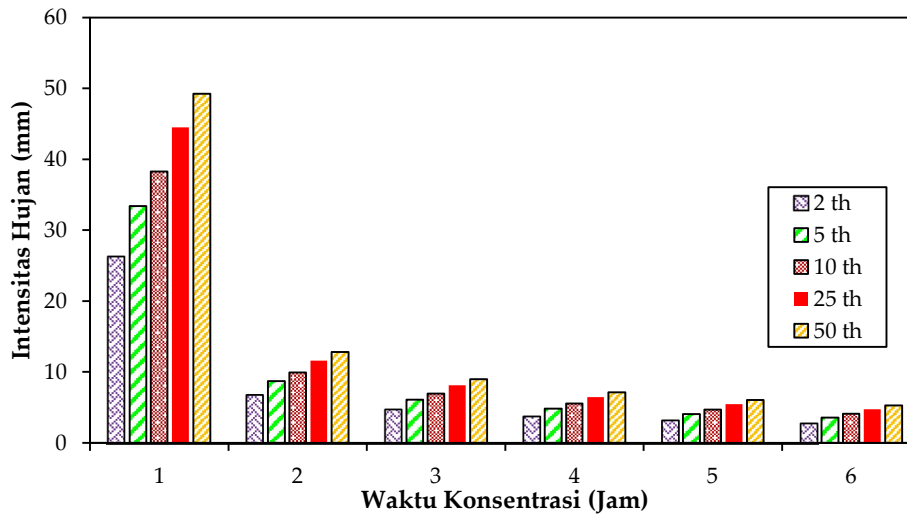
Hasil analisis hujan rancangan untuk berbagai kala ulang dari data hujan maksimum dari tahun 2007 - 2021 dapat dihitung menggunakan analisis frekuensi dari empat distribusi. Dalam penelitian ini, analisis frekuensi dilakukan menggunakan empat distribusi, yaitu Gumbel, Log Normal 2 Parameter, Log Pearson III dan Normal analisis yang didapatkan adalah menentukan metode Log Pearson III sebagai metode distribusi yang akan digunakan pada analisis hidrologi ke tahap selanjutnya. Pemilihan tersebut didasari oleh nilai galat dari hasil pengujian Chi-Square dan Smirnov Kolmogorov yang memiliki hasil paling kecil dibandingkan dengan nilai lainnya. Berdasarkan uji kelayakan pun distribusi Log Pearson III memenuhi syarat. Gambar 1 menunjukkan hasil analisis yaitu frekuensi hujan kala ulang 1,01 tahun sebesar 44,58 mm, kala ulang 2 tahun sebesar 79,25 mm, kala ulang 5 tahun sebesar 101,20 mm, kala ulang 10 tahun sebesar 115,93 mm, kala ulang 20 tahun sebesar 130,26 mm, kala ulang 25 tahun sebesar 134,86 mm, dan kala ulang 50 tahun sebesar 149,21 mm (lihat Gambar 1).

Analisis Distribusi Hujan Jam-jaman

Prosedur untuk dapat menghitung intensitas curah hujan terlebih dahulu harus menghitung waktu tiba banjir dengan menggunakan rumus *Australian rainfall-runoff* pada Persamaan (6), hasil perhitungan waktu konsentrasi yang sudah dihitung sebelumnya dengan metode *Australian rainfall-runoff* sebesar 6,13 jam maka nilai waktu terdistribusi hujan diambil sebesar 6 jam. Waktu terdistribusi tersebut cocok untuk wilayah Indonesia yang mana hujan terdistribusi di suatu kawasan DAS secara umum sebesar 6 jam. Gambar 2 menunjukkan hasil analisis distribusi hujan jam-jaman berbagai kala ulang, distribusi hujan jam-jaman untuk kala ulang 50 tahun selama 6 jam berturut-turut yaitu jam pertama sebesar 49,27 mm, jam kedua sebesar 12,81 mm, jam ketiga sebesar 8,98 mm, jam keempat sebesar 7,15 mm, jam kelima sebesar 6,04 mm dan jam keenam sebesar 5,28 mm. distribusi hujan jam-jaman ini akan menjadi faktor pengali untuk menentukan banjir rancangan berbagai kala ulang di Bendungan Bulango Ulu di Provinsi Gorontalo.



Gambar 1.
Kurva Hujan Rancangan Berbagai Kala Ulang



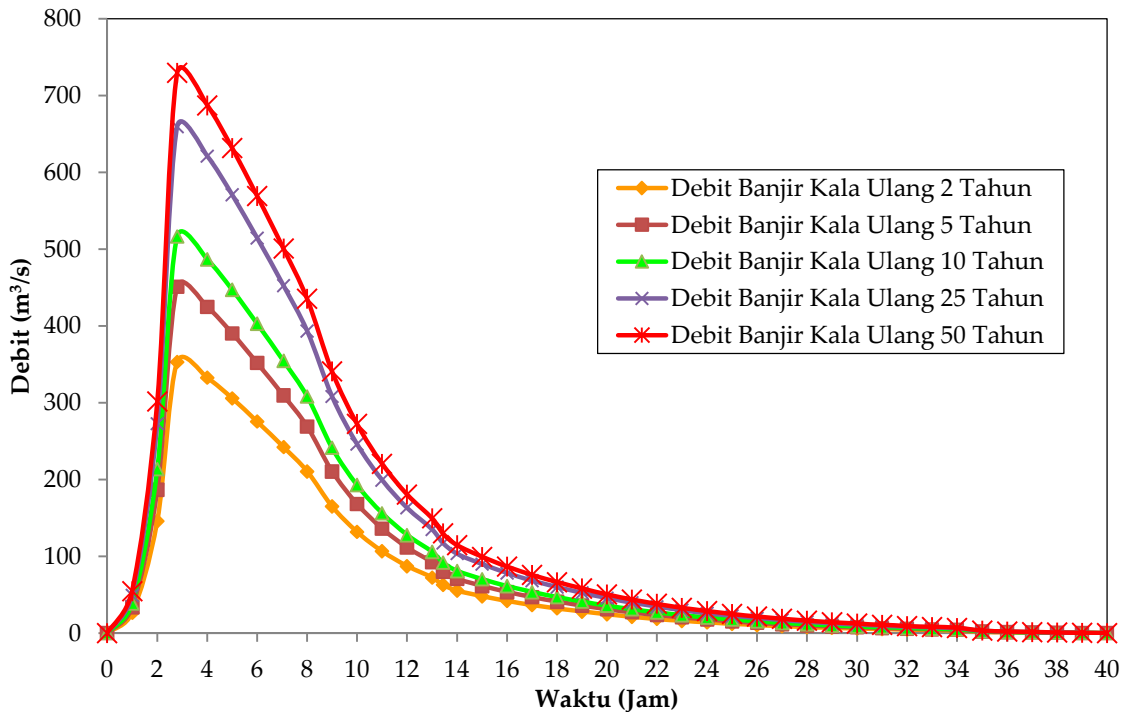
Gambar 2.
Distribusi Hujan Jam-jaman Berbagai Kala Ulang

Analisis Debit Puncak Banjir Rancangan

Estimasi debit banjir rancangan dengan menggunakan metode HSS Nakayasu dari data luas DAS Bulango Ulu seluas $A = 243,190 \text{ Km}^2$ dan panjang sungai utama, $L = 27,59 \text{ Km}$. Sebelum memperoleh debit banjir rancangan yang diakibatkan oleh hujan efektif, terlebih dahulu menghitung hidrograf satuan atau debit puncak yang diakibatkan oleh hujan efektif sebesar 1 mm. Hasil analisis HSS Nakayasu pada DAS Bulango Ulu diperoleh debit puncak banjir yang disebabkan hujan efektif 1 mm sebesar $13,262 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan waktu puncak sebesar 2,8 jam.

Tahap berikutnya dalam analisis ini adalah menghitung debit banjir rancangan yang diakibatkan oleh hujan efektif untuk berbagai kala ulang. Proses perhitungan dimulai dengan mengalikan hidrograf satuan yang dihasilkan oleh hujan efektif sebesar 1 mm dengan distribusi hujan efektif yang telah dianalisis pada tahapan sebelumnya. Hidrograf satuan ini merepresentasikan respons aliran terhadap curah hujan dalam jumlah tertentu, sehingga memungkinkan estimasi debit banjir yang terjadi untuk skenario hujan dengan periode ulang tertentu.

Dari hasil perhitungan hidrograf banjir tersebut dapat dilihat pada Gambar 3, diperoleh nilai debit banjir maksimum untuk kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, dan 50 tahun secara berturut-turut sebesar $353,15 \text{ m}^3/\text{s}$, $450,97 \text{ m}^3/\text{s}$, $516,63 \text{ m}^3/\text{s}$, $659,55 \text{ m}^3/\text{s}$, dan $729,76 \text{ m}^3/\text{s}$. Angka-angka debit banjir maksimum ini menunjukkan peningkatan debit banjir seiring dengan bertambahnya periode ulang, yang mencerminkan risiko banjir yang lebih tinggi pada hujan dengan intensitas lebih besar. Hasil ini menjadi dasar penting untuk perencanaan dan mitigasi risiko banjir di wilayah studi untuk kepentingan perencanaan maupun operasional dari pembangunan konstruksi Bendungan Bulango Ulu di Provinsi Gorontalo.



Gambar 3.

Hidrograf Banjir Berbagai Kala Ulang DAS Bulango Ulu

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis menunjukkan bahwa hujan rancangan yang diperoleh melalui metode analisis frekuensi bervariasi sesuai dengan kala ulang yang ditinjau. Hujan rancangan untuk kala ulang 1,01 tahun adalah sebesar 44,58 mm, untuk kala ulang 2 tahun sebesar 79,25 mm, kala ulang 5 tahun sebesar 101,20 mm, kala ulang 10 tahun sebesar 115,93 mm, kala ulang 20 tahun sebesar 130,26 mm, kala ulang 25 tahun sebesar 134,86 mm, dan kala ulang 50 tahun sebesar 149,21 mm.

Sementara itu, hasil estimasi debit banjir rancangan menunjukkan debit banjir maksimum yang meningkat seiring dengan kenaikan kala ulang. Secara berturut-turut, debit banjir maksimum untuk kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, dan 50 tahun adalah sebesar 353,15 m³/s, 450,97 m³/s, 516,63 m³/s, 659,55 m³/s, dan 729,76 m³/s. Analisis ini memberikan gambaran tentang potensi intensitas hujan dan debit banjir yang dapat menjadi dasar dalam perencanaan infrastruktur pengendalian banjir dan operasional pada Bendungan Bulango Ulu di Provinsi Gorontalo khususnya pada konstruksi terowongan pengelak.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditiya, A. R., Dermawan, V., & Asmaranto, R. (2023). Studi Perencanaan Embung sebagai Upaya Pengendalian Banjir Sungai Kemuning Kabupaten Sampang Madura Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 3(2). <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2023.003.02.03>
- Adoe, D. P. A., Sina, D. A. T., & Krisnayanti, D. S. (2022). Analisis Debit Banjir pada DAS di Pulau Sumba dengan Metode HSS Nakayasu dan Metode HSS GAMA-1. *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, 1(1). <https://doi.org/10.56860/jtsda.v1i1.6>
- Andayani, R., & Umari, Z. F. (2022). Debit Banjir Rancangan DAS Selabung dengan HSS Nakayasu. *Jurnal Deformasi*, 7(1). <https://doi.org/10.31851/deformasi.v7i1.7803>

This work is licensed under Creative Commons Attribution License 4.0 CC-BY International license

- Ansori, M. B., & Anwar, N. (2022). The TRMM Rainfall-Runoff Transformation Model Using GR4J as a Prediction of The Tugu Dam Reservoir Inflow. *International Journal of GEOMATE*, 23(97). <https://doi.org/10.21660/2022.97.1975>
- Ansori, M. B., Lasminto, U., & Kartika, A. A. G. (2023). Flood Hydrograph Analysis Using Synthetic Unit Hydrograph, HEC-HMS, and HEC-RAS 2D Unsteady Flow Precipitation On-Grid Model For Disaster Risk Mitigation. *International Journal of GEOMATE*, 25(107). <https://doi.org/10.21660/2023.107.3719>
- Buana, H., Limantara, L. M., Juwono, P. T., & Sholichin, Moh. (2022). Time Lag Modeling in Modification of Nakayasu Synthetic Unit Hydrograph. *Journal of Hunan University Natural Sciences*, 49(7). <https://doi.org/10.55463/issn.1674-2974.49.7.2>
- Budiarto, F. D., Marsudi, S., & Dermawan, V. (2023). Studi Perencanaan Rehabilitasi Bangunan Pelimpah (Spillway) pada Embung Takisung Kabupaten Tanah Laut Kalimantan Selatan. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 3(2). <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2023.003.02.08>
- Chow, V. Te. (1965). Handbook of applied hydrology. *International Association of Scientific Hydrology. Bulletin*, 10(1). <https://doi.org/10.1080/0262666509493376>
- Damayanti, A. C., Limantara, L. M., & Haribowo, R. (2022). Analisis Debit Banjir Rancangan dengan Metode HSS Nakayasu, HSS ITB-1, dan HSS Limantara pada DAS Manikin di Kabupaten Kupang. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 2(2). <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2022.002.02.25>
- Darmawan, M. A., Sumerman, S., Hermanto, W., & Ikhwandudin, I. (2022). Perencanaan Embung Krajan Kabupaten Grobogan. *Jurnal Teknik Sipil Giratory Upgris*, 1(2). <https://doi.org/10.26877/goratory.v1i2.9419>
- Fang, L., & Shao, D. (2022). Application of Long Short-Term Memory (LSTM) on the Prediction of Rainfall-Runoff in Karst Area. *Frontiers in Physics*, 9. <https://doi.org/10.3389/fphy.2021.790687>
- Gunawan, G. G., Besper, B., & Purnama, L. (2020). Analisis Debit Banjir Rancangan Sub DAS Air Bengkulu Menggunakan Analisis Frekuensi dan Metode Distribusi. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 17(1). <https://doi.org/10.30630/jirs.17.1.298>
- Harun, S., Ahmat Nor, N. I., & Mohd. Kassim, A. H. (2012). Artificial Neural Network Model for Rainfall-Runoff Relationship. *Jurnal Teknologi*. <https://doi.org/10.11113/jt.v37.524>
- Harun, S., Irwan, N. O. R., & Nor, A. (2007). Artificial neural network model for rainfall-runoff relationship. *Jurnal Teknologi*, 37(B) Dis. 2002, 37(101).
- Herrmann, H., & Bucksch, H. (2014). applied hydrology. In *Dictionary Geotechnical Engineering/Wörterbuch GeoTechnik*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41714-6_12310
- Janatha, D., & Soebagio, S. (2021). Perencanaan Embung di Kawasan Anggrek Gorontalo Utara. *Axial : Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*, 9(3). <https://doi.org/10.30742/axial.v9i3.1766>
- Jehanzaib, M., Ajmal, M., Achite, M., & Kim, T. W. (2022). Comprehensive Review: Advancements in Rainfall-Runoff Modelling for Flood Mitigation. In *Climate* (Vol. 10, Issue 10). <https://doi.org/10.3390/cli10100147>
- Maini, M., & Mashuri. (2020). The Study of Sedimentation at Jongkong Reservoir in District Central of Bangka through Erosion of Catchment Area. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 537(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/537/1/012003>
- Maini, M., & Mashuri, M. (2019). Analisis Imbangan Air Embung Jongkong Kabupaten Bangka Tengah Melalui Kapasitas Tampung. *FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)*, 7(1). <https://doi.org/10.33019/fropil.v7i1.1402>
- Mashuri, Maini, M., & Burhamidar, A. H. (2022). Kajian Hidrograf Banjir Daerah Aliran Sungai Tanjung Parak Pada Pembangunan Embung Pulau Tiga. *Jurnal Infrastruktur*, 8(1).
- Natakusumah, D. K., Hatmoko, W., & Harlan, D. (2011). Prosedur Umum Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis dengan Cara ITB dan Beberapa Contoh Penerapannya. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(3). <https://doi.org/10.5614/jts.2011.18.3.6>

- Reddy, N. M., Saravanan, S., & Abijith, D. (2023). Streamflow simulation using conceptual and neural network models in the Hemavathi sub-watershed, India. *Geosystems and Geoenvironment*, 2(2). <https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2022.100153>
- Riad, S., Mania, J., Bouchaou, L., & Najjar, Y. (2004). Rainfall-runoff model using an artificial neural network approach. *Mathematical and Computer Modelling*, 40(7-8). <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2004.10.012>
- Saefulloh, D. F., Hadihardaja, I. K., & Harlan, D. (2018). Modeling of triangular unit hydrographs using an artificial neural network in a tropical river basin. *International Journal of GEOMATE*, 15(51). <https://doi.org/10.21660/2018.51.75472>
- Sarminingsih, A. (2018). Pemilihan Metode Analisis Debit Banjir Rancangan Embung Coyo Kabupaten Grobogan. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 15(1). <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v15i1.53-61>
- Seran, Y. M. H., Nasjono, J. K., & Ramang, R. (2020). Keakuratan Debit Maksimum Metode Nakayasu pada Sungai Temef. *Jurnal Teknik Sipil*, 9(1).
- Sherman, L. K. (2010). Streamflow from Rainfall by the Unit Graph Method. *Eng. News Rec*, 108.
- Triatmodjo, B. (2013). Hidrologi Terapan (ke-7). In *Buku Hidrologi Terapan*.
- Ujjianto, R., Wigati, R., Ardiansyah, I. R., & Kulsum, K. (2022). Perencanaan Desain Embung Untuk Kebutuhan Air Baku dan Pengendalian Banjir (Studi Kasus: Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Kampus Sindangsari). *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*. <https://doi.org/10.36055/fondasi.v0i0.13095>
- Xu, Y., Hu, C., Wu, Q., Li, Z., Jian, S., & Chen, Y. (2021). Application of temporal convolutional network for flood forecasting. *Hydrology Research*, 52(6). <https://doi.org/10.2166/NH.2021.021>