

ANALISIS DEBIT BANJIR RENCANA DAERAH ALIRAN SUNGAI X MENGGUNAKAN METODE HIDROGRAF SATUAN SINTETIK NAKAYASU

Arga Dwi Jalu^{1*}, Gian Asnawi Siagian², Ricky Harianja³

^{1,2,3}Prodi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan RI, Kawasan IPSC Sentul, Kabupaten Bogor, Jawa Barat

*Email: argadwijalu@gmail.com

Abstrak

Debit banjir rencana merupakan debit maksimum yang digunakan sebagai dasar dalam perencanaan infrastruktur air seperti bendungan, jembatan, dan saluran drainase. Penelitian ini menganalisis debit banjir rencana pada suatu daerah aliran sungai (DAS) di Indonesia dengan luas 1111,69 km² untuk mendukung perencanaan bendung pada pembangkit listrik run-off river. Perhitungan debit banjir dilakukan berdasarkan data curah hujan dari stasiun penakar menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu. Analisis hidrologi diawali dengan perhitungan hujan rata-rata menggunakan metode Poligon Thiessen, distribusi frekuensi dianalisis dengan metode Log Pearson III yang diuji dengan metode chi-square, serta analisis probabilitas dan periode ulang hujan dilakukan menggunakan metode Mononobe. Nilai koefisien pengaliran ditentukan berdasarkan data penggunaan lahan untuk memperoleh curah hujan efektif. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa debit banjir rencana untuk periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, 100, dan 200 tahun berturut-turut adalah 935,138 m³/s, 1112,585 m³/s, 1201,498 m³/s, 1291,535 m³/s, 1346,449 m³/s, 1393,253 m³/s, dan 1433,899 m³/s. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar perencanaan bendung dan pengelolaan sumber daya air di DAS tersebut.

Kata kunci: debit banjir rencana, hidrograf satuan sintetik, periode ulang

Abstract

The design flood discharge is the maximum discharge used as a basis for planning water infrastructure such as dams, bridges, and drainage channels. This study analyzes the design flood discharge in a watershed (DAS) in Indonesia with an area of 1111.69 km² to support the planning of a run-off river power plant weir. Flood discharge calculations are based on rainfall data from gauge stations using the Synthetic Unit Hydrograph Nakayasu method. The hydrological analysis begins with calculating the average rainfall using the Thiessen Polygon method, frequency distribution analysis using the Log Pearson III method validated by the chi-square test, and probability and return period analysis using the Mononobe method. The runoff coefficient is determined based on land use data to obtain effective rainfall. The results show that the design flood discharge for return periods of 2, 5, 10, 25, 50, 100, and 200 years are 935,138 m³/s, 1112,585 m³/s, 1201,498 m³/s, 1291,535 m³/s, 1346,449 m³/s, 1393,253 m³/s, dan 1433,899 m³/s, respectively. This study's findings can serve as a basis for planning the weir and managing water resources in the watershed.

Keywords: : flood discharge, synthehtic unit hydrograph, return period

1. PENDAHULUAN

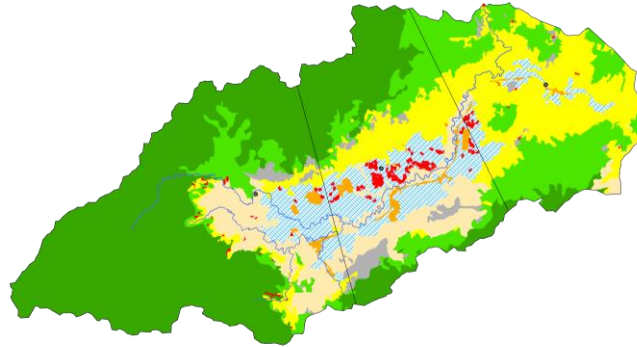
Debit banjir rencana adalah debit air maksimum yang dihitung untuk perencanaan bangunan air atau infrastruktur, seperti bendungan, jembatan, atau saluran drainase, yang harus mampu menampung aliran air selama kejadian banjir. Debit ini dihitung berdasarkan periode ulang tertentu, yang menunjukkan probabilitas terjadinya banjir dengan intensitas yang sama dalam jangka waktu tertentu (Chow, 1964).

Suatu sungai di Indonesia memiliki potensi sumber energi baru terbarukan. Menurut *Japan International Cooperation Agency* (2003), bangunan bendung merupakan salah satu komponen besar dalam pembangkit listrik *run-off river*. Dalam merencanakan bendung diperlukan data debit banjir dengan periode ulang 2 hingga 100 tahun (KP-02, 2013; Ardiansyah, 2015). Debit banjir rencana dianalisis menggunakan metode nakayasu karena metode ini memiliki debit puncak tertinggi dibanding metode yang lain (Putranda, 2022; Rahman, Nurudin and Laksmi, 2025). Dalam penelitian

ini akan dilakukan analisa debit banjir rencana yang dapat dijadikan sebagai dasar perencanaan bendung pada daerah aliran sungai X.

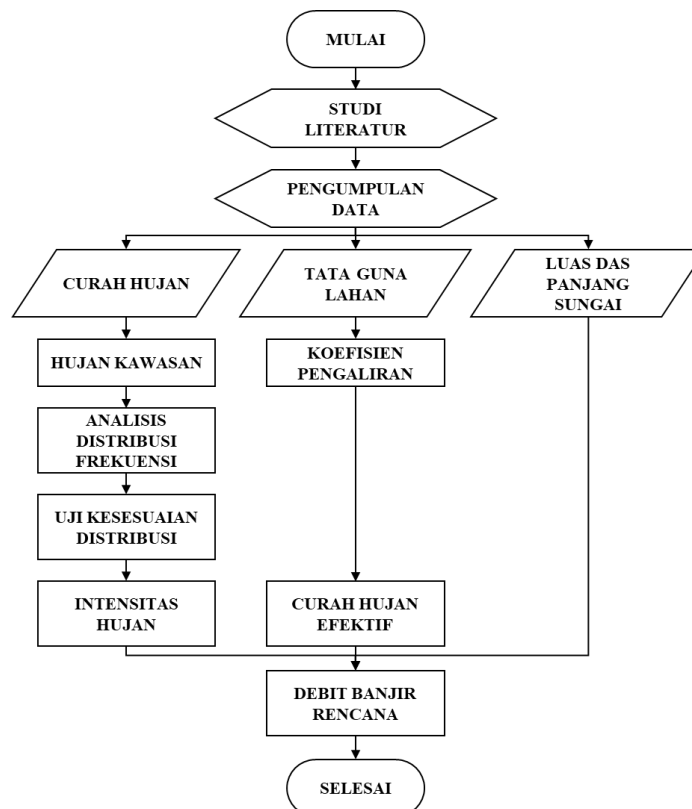
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada lokasi potensi bendung pada DAS X yang memiliki luas DAS sebesar 1111,69 km² dengan panjang sungai utama menuju titik potensi bendung sepanjang 71,5 km. Data curah hujan yang digunakan di ambil dari tiga stasiun curah hujan selama kurun waktu 10 tahun.



Gambar 1. Daerah Aliran Sungai X

Analisis hidrologi diawali dengan perhitungan hujan rata-rata wilayah menggunakan metode Poligon Thiessen. Distribusi frekuensi dianalisis dengan metode *Log Pearson III*, yang kemudian diuji menggunakan metode *chi-square*. Selanjutnya, analisis probabilitas dan periode ulang hujan dilakukan dengan metode mononobe. Peta penggunaan lahan dimanfaatkan untuk menentukan nilai koefisien pengaliran, yang selanjutnya digunakan dalam perhitungan curah hujan efektif. Hasil dari perhitungan curah hujan efektif kemudian dianalisis untuk menentukan debit banjir rencana menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu. Penelitian ini menghasilkan debit puncak serta grafik hidrograf sebagai output akhirnya.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Hujan Kawasan Rata-rata

Metode Polygon Thiessen merupakan cara mencari rata-rata curah hujan di DAS dengan memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan di sekitarnya. Pada suatu luasan di dalam DAS dianggap bahwa hujan adalah sama dengan yang terjadi pada stasiun yang terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun mewakili luasan tersebut (Triatmodjo, 2008). Curah hujan rata-rata dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\bar{p} = \frac{A_1 p_1 + A_2 p_2 + \dots + A_n p_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (1)$$

Dengan:

$\bar{p}$ = curah hujan rata-rata

$p_1, p_2, \dots, p_n$ = hujan pada stasiun 1, 2, ..., n

$A_1, A_2, \dots, A_n$ = luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, ..., n

Distribusi Frekuensi

Untuk mengetahui pola sebaran data curah hujan yang sesuai, dilakukan analisa distribusi frekuensi dari curah hujan rata-rata. Analisa distribusi frekuensi bertujuan untuk mengetahui besaran peristiwa-peristiwa ekstrem yang berkaitan dengan frekuensi kejadiannya. Parameter yang berkaitan dengan analisa dapat dihitung dengan rumus berikut.

Nilai Rata-rata ($\bar{X}$):

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} \quad (2)$$

Deviasi Standar (S):

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (3)$$

Koefisien Variasi (C_v):

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}} \quad (4)$$

Koefisien Skewness (C_s):

$$C_s = \frac{\sum (X - \bar{X})^3 n}{(n-1)(n-2)s^2} \quad (5)$$

Koefisien Kurtosis (C_k):

$$C_k = \frac{\sum (X - \bar{X})^4 n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)s^4} \quad (6)$$

Dengan:

X = data

n = jumlah data

Jenis Distribusi

Ada beberapa distribusi kontinu yang sering digunakan dalam analisa frekuensi dalam hidrologi. Untuk memilih jenis distribusi, ada sifat-sifat yang dimiliki beberapa distribusi yang terangkum dalam tabel berikut:

Tabel 1. Sifat Parameter Jenis Distribusi

Jenis Distribusi	Sifat
Normal	$C_s \approx 0$ $C_k \approx 0$
Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$ $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
Gumbel	$C_s = 1,11396$ $C_k = 5,4002$
Log Pearson III	Selain dari nilai distribusi lain

Distribusi Normal:

$$X = \bar{X} + k.S \quad (7)$$

Dengan:

X = nilai yang diharapkan

$\bar{X}$ = rata-rata

S = standar deviasi

k = faktor frekuensi

Distribusi Log Normal:

$$\log X = \log \bar{X} + k.S \log X \quad (8)$$

Dengan:

$\log X$ = nilai logaritmik yang diharapkan

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

$S \log X$ = standar deviasi logaritmik X

k = karakteristik distribusi log

Distribusi Gumbel:

$$X = \bar{X} + \frac{S}{s_n} (Y_t - Y_n) \quad (9)$$

$$Y_t = \ln + \left[\ln \left(\frac{S}{s_n} \right) \right] \quad (10)$$

Untuk $T > 20$, maka

$$Y_t = \ln.T \quad (11)$$

Dengan:

X = nilai yang diharapkan

$\bar{X}$ = rata-rata

S = standar deviasi

Y_t = nilai reduksi varian dari variabel

Y_n = rata-rata dari reduksi varian

S_n = standar deviasi dari reduksi varian

Distribusi *Log Pearson III*:

$$\log X = \log \bar{X} + k.S \log X \quad (12)$$

Dengan:

$\log X$ = nilai logaritmik yang diharapkan

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

$S \log X$ = standar deviasi logaritmik X

k = karakteristik distribusi log

Uji Kesesuaian Distribusi

Uji kesesuaian distribusi bertujuan untuk mengetahui apakah jenis distribusi yang dipilih sesuai data yang ada (Harto, 1981) . Dalam penelitian ini menggunakan metode *chi-square*.

$$X^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (13)$$

Dengan:

X^2 = nilai *chi-square* terhitung

O_i = frekuensi terbaca pada kelas yang sama

E_i = frekuensi yang diharapkan

N = jumlah kategori

Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif adalah besarnya hujan yang menjadi aliran langsung permukaan dan menuju sungai (Wibisono *et al.*, 2023). Dengan koefisien pengaliran yang merupakan suatu variabel yang menentukan banyaknya hujan yang jatuh dan mengalir menuju sungai di daerah tersebut (Sosrodarsono and Takeda, 1977) .

$$X_{eff} = C \times X_t \quad (14)$$

Dengan:

- X_{eff} = curah hujan efektif (mm)
 C = koefisien pengaliran
 X_t = curah hujan rencana (mm)

Tabel 2. Koefisien Pengaliran

Tutupan Lahan	Koefisien Pengaliran (C)		
Daerah pegunungan berlereng terjal	0,75	~	0,90
Daerah perbukitan	0,70	~	0,80
Daerah bergelombang dan bersemak-semak	0,50	~	0,75
Daerah dataran yang digarap	0,45	~	0,60
Daerah persawahan irigasi	0,70	~	0,80
Sungai di daerah pegunungan	0,75	~	0,85
Sungai kecil di daerah dataran	0,45	~	0,75
Sungai yang besar dengan wilayah pengaliran yang lebih dari seperduanya terdiri dari dataran	0,50	~	0,75

Intensitas Hujan

Intensitas hujan merupakan besarnya curah hujan dalam kurun waktu tertentu. Intensitas hujan dianalisa dengan menggunakan metode mononobe (Arifin and Maulidiyah, 2025).

$$R_t = \frac{R_{24}}{T} \times \left(\frac{T}{t}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (15)$$

Dengan:

- R_t = intensitas hujan pada jam ke-t (mm)
 t = waktu lamanya hujan (jam)
 T = lamanya hujan terpusat (jam)
 R_{24} = curah hujan harian efektif (mm)

$$R_t' = t \times R_t - [(t - 1) \times R_{(t-1)}] \quad (16)$$

Dengan:

- R_t' = curah hujan jam ke-t
 R_t = rata-rata hujan pada jam ke-t (mm)
 t = waktu hujan dari awal sampai jam ke-t
 $R_{(t-1)}$ = rata-rata hujan dari awal sampai jam ke (t-1)

Debit Banjir Rencana

Penelitian ini menggunakan metode HSS Nakayasu untuk menentukan debit banjir rencana. HSS Nakayasu merupakan metode empiris yang digunakan untuk merepresentasikan hidrograf satuan dengan mempertimbangkan beberapa parameter utama, seperti debit puncak, waktu puncak, serta bentuk kurva hidrograf .

$$t_g = 0,4 + 0,058L, \text{ untuk } L > 15 \text{ km} \quad (17)$$

$$t_g = 0,21 + L^{0,7}, \text{ untuk } L < 15 \text{ km} \quad (18)$$

$$T_r = 0,5t_g \text{ sampai } t_g \quad (19)$$

$$T_p = t_g \times 0,8T_r \quad (20)$$

$$T_{0,3} = \alpha \times t_g \quad (20)$$

$$Q_p = \frac{1}{3,6} \times \left(\frac{A \times R_0}{0,3T_p + T_{0,3}} \right) \quad (21)$$

Dengan:

- Q_p = debit puncak
 A = luas DAS (km²)
 R_0 = curah hujan efektif (1 mm)
 T_p = waktu dari permulaan banjir sampai puncak hidrograf (jam)
 $T_{0,3}$ = waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak (jam)

t_g = waktu konsentrasi (jam)
 T_r = satuan waktu curah hujan (jam)
 α = koefisien karakteristik DAS
 L = panjang sungai utama (km)

Bentuk hidrograf satuan ditentukan pada kondisi berikut.

Pada Kurva Naik ($0 < t < T_p$):

$$Q_t = Q_p \times \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4} \quad (22)$$

Pada Kurva Turun ($T_p < t < T_p + T_{0,3}$)

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{(t-T_p)/T_{0,3}} \quad (23)$$

Pada Kurva Turun ($T_p + T_{0,3} < t < T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$)

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{[(t-T_p)+(0,5T_{0,3})]/(1,5T_{0,3})} \quad (24)$$

Pada Kurva Turun ($t > T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$)

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{[(t-T_p)+(1,5T_{0,3})]/(2T_{0,3})} \quad (25)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hujan Kawasan Rata-rata

Perhitungan hujan kawasan rata-rata dari 3 stasiun menggunakan metode *polygon thiessen* sebagai berikut:



Gambar 3. Pembagian Hujan Kawasan Metode Polygon Thiessen

Sta. 1 = 45,75%

Sta. 2 = 29,48%

Sta. 3 = 24,77%

Hasil analisis curah hujan rata-rata kawasan tahun 2008-2017 ditampilkan pada tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 3. Hujan Kawasan Rata-rata Polygon Thiessen

Tahun	Hujan Harian Maksimum (mm)			Rata-rata
	Sta. 1	Sta. 2	Sta. 3	
2008	70,5	109,5	158,2	103,72
2009	70,7	68,2	96,3	76,30
2010	108,5	56,1	66	82,53
2011	92	96,7	160	110,23
2012	170,3	119,7	58	127,57
2013	115,5	140,5	0	94,26
2014	53,5	86,3	120,4	79,74
2015	56	72,7	31	54,73
2016	105	95	88,2	97,89
2017	94,4	85	71	85,83

Analisis Distribusi Frekuensi

Berikut hasil dari analisis distribusi frekuensi:

Tabel 4. Analisis Parameter Distribusi

Parameter	Normal	Log
n	10	10
$\bar{X}$	91,28	1,95
S	20,23	0,10
C_v	0,22	0,05
C_s	0,04	-0,68
C_k	2,24	2,58

Setelah dilakukan analisis parameter distribusi, selanjutnya membandingkan antara syarat dengan hasil perhitungan parameter untuk menentukan jenis distribusi hujan yang akan digunakan.

Pemilihan Jenis Distribusi

Tabel 5. Syarat Parameter Jenis Distribusi

Jenis Distribusi	Syarat	Keterangan
Normal	$C_s \approx 0$ $C_k \approx 0$	Tidak Memenuhi
Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$ $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$	Tidak Memenuhi
Gumbel	$C_s = 1,11396$ $C_k = 5,4002$	Tidak Memenuhi
<i>Log Pearson III</i>	Selain dari nilai distribusi lain	Memenuhi

Dari syarat parameter, distribusi *log pearson III* memenuhi sebagai metode analisa distribusi hujan. Selanjutnya dilakukan analisis hujan periode ulang menggunakan metode *log pearson III*. Dengan angka koefisien skewness -0,68 didapatkan nilai K untuk distribusi *log pearson III* pada periode ulang yang tercantum dalam tabel 6.

Tabel 6. Nilai K untuk Distribusi Log Pearson III

C_s	Periode Ulang (tahun)						
	2	5	10	25	50	100	200
-0,6	0,099	0,857	1,2	1,528	1,72	1,88	2,016
-0,68	0,1126	0,8570	1,1864	1,4960	1,6744	1,8208	1,9440
-0,7	0,116	0,857	1,183	1,488	1,663	1,806	1,926

Data hujan yang digunakan dalam perhitungan metode *log pearson III* menggunakan nilai log X. Data hujan log tahun 2008-2017 terdapat pada tabel 7. Dengan standar deviasi sebesar 0,101.

Tabel 7. Data Hujan Log

Tahun	X	Log X
2008	103,72	2,016
2009	76,30	1,883
2010	82,53	1,917
2011	110,23	2,042
2012	127,57	2,106
2013	94,26	1,974
2014	79,74	1,902
2015	54,73	1,738
2016	97,89	1,991
2017	85,83	1,934
Standar deviasi Log X		0,101

Langkah selanjutnya yaitu menghitung hujan periode ulang menggunakan metode *log pearson III*, hasil perhitungan terdapat pada tabel 8 berikut:

Tabel 8. Curah Hujan Periode Ulang

Periode Ulang (tahun)	K	X_t
2	0,1126	91,534
5	0,8570	108,903
10	1,1864	117,606
25	1,4960	126,419
50	1,6744	131,794
100	1,8208	136,375
200	1,9440	140,354

Pengujian Kesesuaian Distribusi

Dalam analisis distribusi frekuensi, terdapat berbagai kemungkinan terjadinya kesalahan dalam penggambaran data. Oleh karena itu, diperlukan pengujian keselarasan distribusi untuk mengetahui seberapa dekat hasil penggambaran tersebut dengan distribusi yang sesuai. Hasil perhitungan uji kesesuaian distribusi dengan metode *chi-square* terdapat dalam tabel 9 berikut:

Tabel 9. Uji Chi-Square

Batas Tiap Kelas	O _i	E _i	O _i -E _i	(O _i -E _i) ² /E _i
45,63 - 63,84	1	2	1,0	0,5
63,84 - 82,05	2	2	0,0	0
82,05 - 100,26	4	2	-2,0	2
100,26 - 118,47	2	2	0,0	0
118,47 - 136,67	1	2	1,0	0,5
Σ				3

Nilai *chi-square* terhitung kurang dari nilai kritis yaitu 5,991 maka distribusi diterima.

Analisis Curah Hujan Efektif

Analisis curah hujan efektif menghitung besarnya hujan yang menjadi aliran langsung permukaan dan menuju sungai. Dengan koefisien pengaliran yang merupakan suatu variabel yang menentukan banyaknya hujan yang jatuh dan mengalir menuju sungai di daerah tersebut. Hasil analisis curah hujan efektif dengan koefisien pengaliran 0,56 pada tabel berikut:

Tabel 10. Curah Hujan Efektif

Periode Ulang (tahun)	c	X_t	X_{eff}
2	0,56	91,534	51,637
5	0,56	108,903	61,435
10	0,56	117,606	66,345
25	0,56	126,419	71,317
50	0,56	131,794	74,349
100	0,56	136,375	76,934
200	0,56	140,354	79,178

Analisis Intensitas Hujan

Intensitas hujan pada jam ke-t menggunakan metode mononobe pada tabel berikut:

Tabel 11. Intensitas Hujan

T	Periode Ulang (tahun)						
	2	5	10	25	50	100	200
1	30,198	35,928	38,799	41,706	43,480	44,991	46,304
2	19,023	22,633	24,442	26,273	27,390	28,343	29,169
3	14,517	17,272	18,653	20,050	20,903	21,629	22,260
4	11,984	14,258	15,397	16,551	17,255	17,855	18,376
5	10,327	12,287	13,269	14,263	14,870	15,387	15,836

Tabel 12. Hujan Jam-jaman

Jam ke-	Periode Ulang (tahun)						
	2	5	10	25	50	100	200
1	30,198	35,928	38,799	41,706	43,480	44,991	46,304
2	7,849	9,338	10,085	10,840	11,301	11,694	12,035
3	5,506	6,551	7,074	7,604	7,928	8,203	8,442
4	4,383	5,215	5,632	6,054	6,311	6,531	6,721
5	3,701	4,404	4,756	5,112	5,330	5,515	5,676

Hasil perhitungan intensitas hujan jam-jaman pada tabel 12 selanjutnya digunakan untuk menganalisis debit banjir rencana menggunakan metode hidrograf satuan sintetik nakayasu.

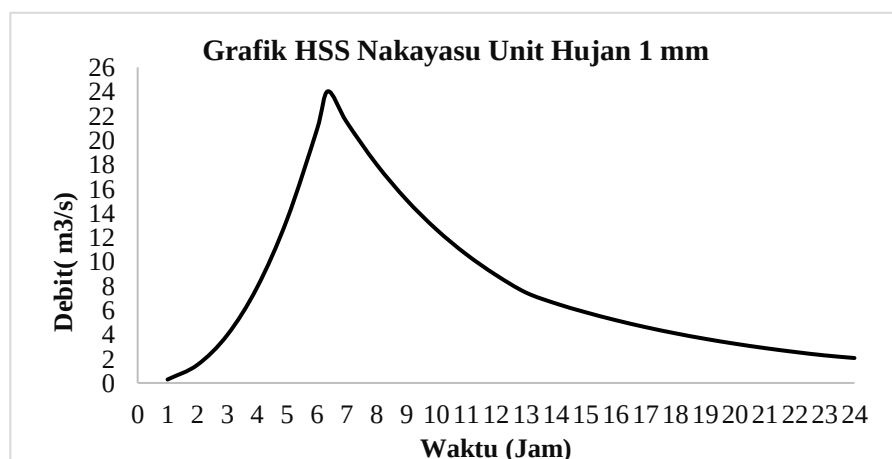
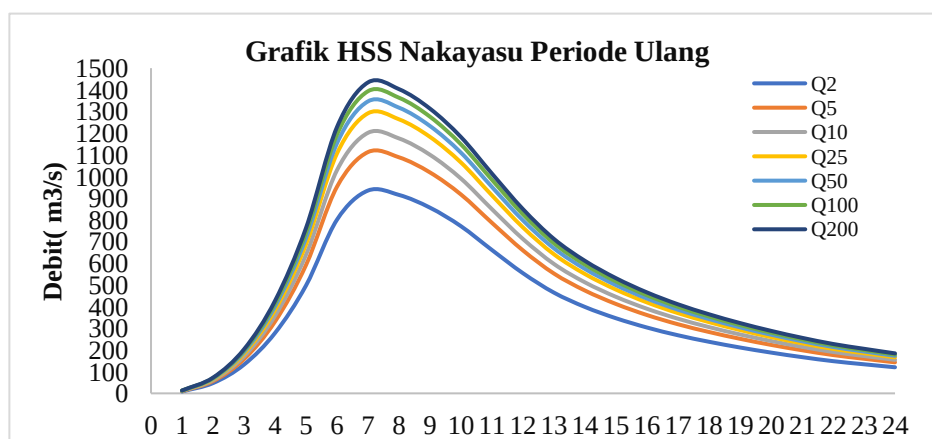
Analisis Debit Banjir Rencana

Analisis debit banjir rencana menggunakan metode HSS Nakayasu memerlukan beberapa parameter. Parameter yang digunakan pada analisis debit rencana metode HSS Nakayasu adalah sebagai berikut:

Tabel 13. Parameter HSS Nakayasu

Parameter	Nilai	Satuan
Luas DAS	1111,69	km ²
Panjang Sungai	71,5	km
R ₀	1	mm

Grafik HSS Nakayasu terdapat pada gambar 4 dan gambar 5 berikut:

**Gambar 4. Grafik HSS Nakayasu Unit Hujan 1 mm****Gambar 5. Grafik HSS Nakayasu Periode Ulang**

Pada grafik HSS Nakayasu dengan unit hujan 1 mm, tampak waktu puncak dalam HSS Nakayasu berada waktu 6,37 jam, dengan debit puncak sebesar 24,023 m³/s. Dan pada grafik HSS Nakayasu periode ulang, debit puncak terdapat pada tabel 14 berikut:

Tabel 14. Debit Banjir Periode Ulang

Periode Ulang (tahun)	Debit (m ³ /s)
2	935,138
5	1112,585
10	1201,498
25	1291,535
50	1346,449
100	1393,253
200	1433,899

Debit banjir meningkat dari 935,138 m³/s (2 tahun) hingga 1433,899 m³/s (200 tahun), dengan kenaikan signifikan pada periode 10–25 tahun (1201,498 m³/s ke 1.291,535 m³/s). Hal ini menunjukkan pengaruh hujan ekstrem, sehingga perencanaan bendung harus menyesuaikan kapasitas desain untuk keamanan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis debit banjir rencana menggunakan metode HSS Nakayasu, diperoleh debit banjir dengan periode ulang 2 hingga 100 tahun. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa debit banjir meningkat seiring bertambahnya periode ulang, dengan nilai debit banjir rencana sebesar 935,138 m³/s untuk 2 tahun, 1112,585 m³/s untuk 5 tahun, 1201,498 m³/s untuk 10 tahun, 1291,535 m³/s untuk 25 tahun, 1346,449 m³/s untuk 50 tahun, dan 1393,253 m³/s untuk 100 tahun. Hasil ini dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan bendung pada daerah aliran sungai X, terutama dalam menentukan kapasitas tampungan yang aman dan optimal untuk mendukung pembangkit listrik *run-off river*. Dengan mempertimbangkan debit banjir rencana, perancangan infrastruktur bendung dapat lebih efektif dalam mengurangi risiko banjir serta memaksimalkan pemanfaatan sumber energi baru terbarukan yang tersedia di wilayah tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansyah, M. (2015) 'Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Kumbi Di Desa Lembah Sempage Kabupaten Lombok Barat'.
- Arifin, Z. and Maulidiyah, A. (2025) 'Analisa Debit Banjir Rencana DAS Rejoso Menggunakan Metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu', *Jurnal Komposit*, 9(1), pp. 17–26.
- Chow, V. Te (1964) *Applied Hydrology*.
- Harto, S. (1981) *Mengenal Dasar Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Gajah Mada.
- Japan International Cooperation Agency (JICA) (2003) 'Panduan Pembangkit Listrik Mikro-Hidro'.
- KP-02 (2013) *Standar Perencanaan Irigasi - Kriteria Perencanaan 02*. Kementerian Pekerjaan Umum.
- Putranda, J. (2022) 'Debit Banjir Rencana Pada Das Citanduy Menggunakan Metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu, Hasper, Weduwen, Manonobe Dan Analisa Frekuensi', *Konstruksia*, 14(1), p. 152.
- Rahman, F., Nurudin, F. A. and Laksmi, A. A. (2025) 'Studi Perbandingan Hidrograf Satuan Sintetik pada Daerah Aliran Sungai Ciherang', *Jurnal Komposit*, 9(1), pp. 27–38.
- Sosrodarsono, S. and Takeda, K. (1977) *Bendungan Type Urugan*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Triatmodjo, B. (2008) *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset Yogyakarta.
- Wibisono, G. R. et al. (2023) 'Potensi Penurunan Debit Banjir Di Sungai Jragung Akibat Pembangunan Bendungan Jragung', *G-Smart*, 7(1), pp. 45–54.