

# PENELUSURAN BANJIR DI WADUK MANIKIN KABUPATEN KUPANG

Ralno Robson Klau<sup>1\*</sup>, Denik Sri Krisnayanti<sup>2</sup>, Remigildus Cornelis<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup>Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto, Kota Kupang-NTT

e-mail: [ralno\\_klau@staf.undana.ac.id](mailto:ralno_klau@staf.undana.ac.id)

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto, Kota Kupang-NTT

e-mail: [denik.krisnayanti@staf.undana.ac.id](mailto:denik.krisnayanti@staf.undana.ac.id)

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto, Kota Kupang-NTT

e-mail: [remi@staf.undana.ac.id](mailto:remi@staf.undana.ac.id)

## ABSTRAK

Nusa Tenggara Timur merupakan daerah semi-ringkai sehingga perlu dibangun infrastruktur seperti bendungan. Bendungan Manikin dapat menjadi solusi permasalahan kebutuhan air masyarakat dan irigasi bagi masyarakat Kabupaten Kupang dan Kabupaten Kota Kupang. Bendungan Manikin memiliki pelimpah utama yaitu tipe *morning glory*. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui apakah pelimpah *morning glory* mampu untuk mengalirkan limpasan debit banjir di Bendungan Manikin secara aman. Data yang digunakan berupa data hujan harian maksimum tahunan dari 3 Pos hujan (Baun, Tilong dan Penfui) selama 25 tahun (1997-2021) dan data elevasi serta luas tampungan Bendungan Manikin. Analisis debit banjir rancangan akan menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetis ITB-1. Analisis penelusuran banjir akan dilakukan dengan metode Muskingum, yang dianalisis melalui pelimpah utama *morning glory*. Hasil penelusuran banjir kala ulang 2, 10, 25, 50, 500, dan 1.000 tahun menunjukkan bahwa pelimpah *morning glory* dapat digunakan sebagai pengendali banjir. Nilai debit *inflow* kala ulang 1.000 tahun sebesar 877,49 m<sup>3</sup>/s dengan debit *outflow* sebesar 691,13 m<sup>3</sup>/s. Hal ini menunjukkan Waduk Manikin dapat mereduksi banjir sebesar 21,24 %. Ketinggian air di atas pelimpah pada kala ulang 1.000 tahun yaitu 4,17 m terdapat pada elevasi + 151,67 m. Ketinggian air diatas pelimpah tergolong aman karena puncak bendungan berada dielevasi +153,00.

Kata kunci: Muskingum, *Morning Glory*, Pelimpah, HSS ITB-1, Banjir

## 1. LATAR BELAKANG

Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) merupakan wilayah timur Indonesia dengan kondisi iklim unik yang disebut semi-kering (Krisnayanti dkk., 2021). Kondisi ini sangat berpengaruh pada jadwal musim tanam dan kebutuhan air minum bagi manusia dan ternak. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, perlu adanya pembangunan tempat penampungan air seperti bendungan. Salah satunya yaitu pembangunan Bendungan Manikin di Kabupaten Kupang. Bendungan Manikin berlokasi di Desa Kuaklao dan Desa Bokong, Kecamatan Taebenu. Bendungan ini terletak di Sungai Manikin dengan panjang sungai 9,62 km dari hulu sungai sampai ke titik *outlet* bendungan dan terletak di Sub Daerah aliran sungai Manikin dengan luas Sub DAS sebesar 45,66 Km<sup>2</sup>. Bendungan ini merupakan jenis bendungan dengan tipe urugan random batu gamping (Nota Desain Bendungan Manikin, 2018).

Manfaat dari pembangunan bendungan adalah untuk membantu masyarakat dalam memenuhi suplai air bersih dan irigasi bagi masyarakat di wilayah Kabupaten Kupang dan Kota Kupang. Karena pada musim kemarau masyarakat sering kali mengalami krisis air bersih dan masih banyak lahan pertanian yang belum tersentuh karena terbatasnya air. Karena itu dengan adanya tampungan Waduk/Bendungan Manikin memberikan banyak manfaat positif bagi masyarakat.

Bendungan juga selain memiliki fungsi positif untuk pemenuhan kebutuhan air, juga dapat membahayakan masyarakat yang berada di daerah hilir. Oleh karena itu perlu dilakukannya penelusuran banjir di Waduk untuk mengetahui debit *outflow* terbesar dan tinggi air maksimum. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah Waduk Manikin aman atau tidak bagi masyarakat yang tinggal di hilir bendungan. Fasilitas pengeluaran di waduk berupa pelimpah utama tipe *morning glory* dan juga ada pelimpah tambahan yaitu tipe *Ogee*. *Spillway morning glory* merupakan suatu struktur yang digunakan untuk mengendalikan pelepasan air yang mengalir dari bendungan ke daerah hilir, berbentuk menara/cerobong (Prayoga dkk., 2020).

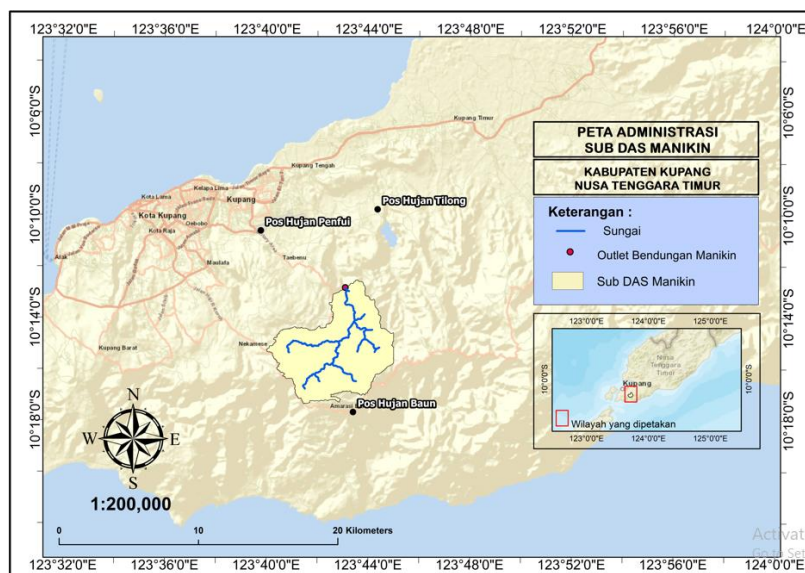
*Spillway* pada waduk berfungsi untuk melepaskan bagian banjir yang tidak bisa ditampung (Limbong dan Wulandari, 2022). *Spillway* harus didesain agar mampu berfungsi sebagai pengaman terhadap bahaya banjir. Banjir merupakan salah satu kejadian bencana yang cukup sering menelan kerugian materi dan jiwa. Untuk itu banyak yang meneliti tentang pergerakan banjir dan pemantauan banjir, baik di sungai maupun lewat kolam penampungan (*reservoir*) (Susilo dkk., 2016). Upaya pencegahan bahaya banjir dapat dilakukan melalui analisis penelusuran banjir. Penelusuran banjir lewat waduk bisa dianalisis dari sistem fasilitas pengeluaran waduk yaitu pelimpah (*spillway*).

Penelusuran banjir merupakan peramalan hidrograf di suatu titik pada suatu aliran atau bagian sungai yang didasarkan atas pengamatan hidrograf di titik lain (Soemarto, 1987). Penelusuran Banjir di Waduk Manikin dilakukan dengan metode Muskingum, yang dianalisis melalui pelimpah utama yaitu *morning glory* sehingga didapat hasil perhitungan debit keluarannya (*outflow*). Debit masukan (*inflow*) Waduk didapat dari perhitungan debit banjir rancangan

menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetis ITB-1. Penelitian yang dilakukan di DAS Manikin pernah diteliti terkait debit banjir yang terjadi (Wuwur dkk., 2019 dan Damayanti dkk., 2022). Selain itu penelitian untuk penelusuran banjir juga pernah dilakukan di Situ Lebak Wangi Bogor (Sriyono, 2013), Waduk Semantok (Surya, 2020), dan Bendungan Cipanas (Naufal, 2021). Berdasarkan uraian tersebut, maka tujuan dari penelitian ini lebih difokuskan pada penelusuran banjir yang terjadi pada Waduk Manikin di Kabupaten Kupang dengan menggunakan Metode Muskingum. Penelusuran banjir ini melalui pelimpah *morning glory* pada Bendungan Manikin.

## 2. METODOLOGI STUDI

Lokasi penelitian ini berada di Bendungan Manikin kawasan wilayah Sub daerah aliran sungai Manikin. Berlokasi di Desa Kuaklao dan Desa Bokong, Kecamatan Taebenu, Kabupaten Kupang. Pada penelitian ini digunakan data sekunder yaitu data hujan harian maksimum tahunan selama 25 tahun (1997-2021) dari 3 stasiun hujan yaitu stasiun hujan Baun, stasiun hujan Tilong, dan Stasiun hujan Penfui.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut:

- 1) Mengumpulkan data yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu data hujan harian tahunan dan data teknis Bendungan Manikin berupa data elevasi dan Luas tampungan Waduk Manikin. Kemudian dilakukan tabulasi data curah hujan bulanan dari masing-masing pos hujan yakni Pos Hujan Baun, Tilong dan Penfui.
- 2) Melakukan pengisian data curah hujan yang kosong pada Pos hujan Tilong yang terdapat curah hujan kosong pada tahun 2006, 2007, dan 2008 dengan metode *Normal Ratio Method* (Triatmodjo, 2010).

$$P_x = \frac{1}{n} \left( P_A \frac{N_x}{N_A} + P_B \frac{N_x}{N_B} + \dots + P_m \frac{N_x}{N_m} \right) \quad (1)$$

dengan  $P_x$  = Hujan pada stasiun x yang diperkirakan,  $N_x$  = Hujan normal tahunan di stasiun x,  $N_A, N_B, N_m$  = Hujan normal tahunan di stasiun A, B dan m,  $P_A, P_B, P_m$  = Hujan di stasiun A, B dan m yang diketahui,  $n$  = Jumlah stasiun referensi.

- 3) Melakukan uji konsistensi data curah hujan dengan metode *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS). Cara ini dilakukan dengan cara menghitung nilai kumulatif penyimpangannya terhadap nilai rata-rata (*mean*). Bila  $Q/n$  yang didapat lebih kecil dari nilai kritik untuk tahun dan *confidence level* yang sesuai, maka data dinyatakan panggah (Soewarno, 1995).
- 4) Melakukan perhitungan curah hujan wilayah rata-rata dengan metode *polygon thiessen* (Suripin, 2004). Perhitungan curah hujan rerata daerah dengan metode Polygon Thiessen yaitu dengan didasarkan atas rata-rata timbang (Ahmadi et al, 2017).

$$\bar{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2)$$

dengan  $\bar{R}$  = Curah hujan daerah (mm),  $n$  = Jumlah titik-titik pengamatan,  $R_1, R_2, \dots, R_n$  = Curah hujan dititik pengamatan 1, 2,...,n (mm),  $A_1, A_2, \dots, A_n$  = Bagian daerah yang mewakili titik pengamatan 1, 2,...,n.

- 5) Penentuan curah hujan rencana dilakukan dengan cara statistik yaitu dengan analisis frekuensi (Arifin dan Budiyo, 2021). Analisis frekuensi curah hujan kala ulang 2, 10, 25, 50, 100, dan 1000 tahun menggunakan

analisis frekuensi normal, log normal, log Pearson tipe III, dan Gumbel tipe I. Melakukan uji kesesuaian distribusi frekuensi dengan 2 metode yaitu Uji *Chi-Square* dan Uji *Smirnov Kolmogorov*.

- 6) Melakukan perhitungan koefisien pengaliran (C). Penentuan Koefisien pengaliran dipengaruhi oleh jenis penggunaan lahan dan kemiringan lereng pada DAS (Krisnayanti et al.,2021; Utung, et al, 2021).
- 7) Melakukan perhitungan analisis hujan efektif. Analisis hujan efektif dilakukan dengan metode Huff-1 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Distribusi Hujan Kumulatif Huff-1

Jam	Presentase		
	6 Jam	12 Jam	24 Jam
1	35%	15,00%	5,00%
2	40%	24,00%	9,00%
3	10%	23,00%	13,50%
4	7%	12,50%	13,90%
5	5%	6,50%	10,60%
6	3%	5,00%	10,00%
7		3,00%	6,90%
8		3,00%	4,90%
9		2,50%	3,80%
10		2,50%	3,70%
11		1,50%	2,60%
12		1,50%	2,60%
13			1,50%
14			1,50%
15			1,40%
16			1,40%
17			1,30%
18			1,30%
19			0,90%
20			0,90%
21			0,90%
22			0,80%
23			0,80%
24			0,80%

- 8) Melakukan perhitungan debit banjir rancangan dengan Metode Hidrograf Satuan Sintetik ITB-1 untuk mendapatkan debit banjir rancangan 2, 10, 25, 50, 500 dan 1000 tahun. (Natakusumah dkk., 2011). Hasil dari perhitungan ini akan digunakan sebagai data debit *inflow* pada Waduk Manikin.

Rumus standar untuk menghitung *Time Lag* (TL) merupakan penyederhanaan dari rumus Nakayasu sebagai berikut:

$$T_L = \begin{cases} 0,21 L^{0,7} & (L < 15 \text{ km}) \\ 0,527 + 0,058 L & (L \geq 15 \text{ km}) \end{cases} \quad (3)$$

dengan  $T_L$  = *time lag* (jam),  $L$  = panjang sungai (km), Waktu puncak ( $T_p$ ) dirumuskan sebagai berikut :

$$T_p = 1,6 T_L \quad (4)$$

dengan  $T_p$  = waktu puncak,  $T_L$  = *time lag*, Waktu Dasar ( $T_b$ )

Pada DAS yang luasan kecil ( $A < 2 \text{ km}^2$ ) menurut *Soil Conservation Service* (SCS) harga  $T_b$  dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$T_b = \frac{8}{3} \cdot T_p \quad (5)$$

dengan  $T_b$  = waktu dasar,  $T_p$  = waktu puncak, Nilai  $T_b$  dapat dibatasi sampai lengkung turun mendekati nol atau dapat menggunakan rumus berikut:

$$T_b = 10(10 \text{ s/d } 20) \cdot T_p \quad (6)$$

dengan  $T_b$  = waktu dasar,  $T_p$  = waktu puncak

HSS ITB-1 memiliki persamaan lengkung naik dan lengkung turun seluruhnya yang dinyatakan dengan satu persamaan yang sama yaitu:

$$q(t) = \exp \left\{ 2 - t - \frac{1}{t} \right\} \alpha C_p \quad (7)$$

Pada perhitungan debit banjir rancangan dengan metode HSS ITB-1 menggunakan nilai  $\alpha = 1,500$  dan  $C_p = 1,00$ .

Untuk menentukan Luasan HSS tak berdimensi menggunakan rumus sebagai berikut :

$$A_i = \frac{1}{2} \times \left( (t_i - t_{i-1}) (q_i + q_{i-1}) \right) \quad (8)$$

dengan  $q_i$  = Debit ke-I,  $t_i$  = Waktu ke-I,  $A_i$  = Luasan HSS Tak berdimensi. Untuk menentukan Q HSS berdimensi menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Q_i = q_i \times Q_p \quad (9)$$

dengan  $Q_i$  = Debit ke-I,  $Q_p$  = Debit puncak ( $m^3/s$ ),  $q_i$  = Debit ke-i tak berdimensi. Untuk menentukan V HSS berdimensi menggunakan rumus sebagai berikut :

$$V = \frac{1}{2} \times 3600 \times ((T_i - T_{i-1})(Q_i + Q_{i+1})) \quad (10)$$

dengan  $Q_i$  = Debit ke-I,  $T_i$  = Waktu ke-I,  $V$  = Volume HSS ( $m^3$ )

Prinsip konservasi masa dan definisi hidrograf satuan sintesis maka dapat disimpulkan bahwa volume satuan hujan efektif yang jatuh merata diseluruh DAS harus sama dengan volume hidrograf satuan sintesis dengan waktu puncak dirumuskan sebagai berikut:

$$V_{DAS} = R \cdot A_{DAS} = 1000 A_{DAS} \quad (11)$$

atau

$$1000 A_{DAS} = A_{HSS} \cdot Q_p \cdot T_p \cdot 3600 \quad (12)$$

Rumus debit puncak ( $Q_p$ ) adalah :

$$Q_p = \frac{R}{3.6 T_p} \cdot \frac{A_{DAS}}{A_{HSS}} \quad (13)$$

dengan  $Q_p$  = Debit puncak hidrograf satuan sintesis ( $m^3/s$ ),  $R$  = Curah hujan satu satuan (1 mm),  $T_p$  = Waktu Puncak (jam),  $A_{DAS}$  = Luas DAS ( $km^2$ )  $A_{HSS}$  = Luas HSS yang tak berdimensi.

- 11) Melakukan perhitungan penelusuran banjir dengan metode muskingum agar mengetahui debit *outflow* maksimum dan tinggi air maksimum di Waduk Manikin. Pada penelitian ini dihitung penelusuran banjir dengan metode Muskingum. Prosedur penelusuran banjir pada prinsipnya menggunakan dasar persamaan kontinuitas massa aliran sederhana yaitu sebagai berikut (Soemarto, 1987).

$$I - Q = \frac{ds}{dt} \quad (14)$$

dengan  $I$  = debit yang masuk ke dalam permulaan bagian memanjang palung sungai yang ditinjau ( $m^3/s$ ),  $Q$  = debit yang keluar dari akhir bagian memanjang palung sungai yang ditinjau ( $m^3/s$ ),  $S$  = besarnya tampungan (*storage*) dalam bagian memanjang palung sungai yang ditinjau ( $m^3$ ),  $dt$  = periode penelusuran (detik, jam atau hari). Kalau periode penelusurannya diubah dari  $dt$  menjadi  $\Delta t$  maka :

$$I = \frac{I_1 + I_2}{2}$$

$$Q = \frac{Q_1 + Q_2}{2}$$

$$ds = S_2 - S_1$$

sehingga persamaan (14) dapat diubah menjadi:

$$\frac{I_1 + I_2}{2} + \frac{Q_1 + Q_2}{2} = \frac{S_2 - S_1}{\Delta t} \quad (15)$$

Dalam hal ini indeks-indeks 1 merupakan keadaan pada saat permulaan periode penelusuran, dan indeks-indeks 2 merupakan keadaan pada akhir periode penelusuran.

Persamaan (15) dapat ditulis sedemikian rupa, sehingga faktor-faktor yang diketahui ditempatkan di ruas kiri seperti berikut ini :

$$\frac{I_1 + I_2}{2} \Delta t - \left( S_1 - \frac{Q_1}{2} \Delta t \right) = \left( S_2 + \frac{Q_2}{2} \Delta t \right) \quad (16)$$

atau,

$$\frac{I_1 + I_2}{2} + \left( \frac{S_1}{\Delta t} - \frac{Q_1}{2} \right) = \left( \frac{S_2}{\Delta t} + \frac{Q_2}{2} \right) \quad (17)$$

jika,

$$\frac{S_1}{\Delta t} - \frac{Q_1}{2} = \psi_1 \quad (18)$$

$$\frac{S_2}{\Delta t} + \frac{Q_2}{2} = \phi_2 \quad (19)$$

Maka persamaan (18) dan (19) bisa ditulis :

$$\frac{I_1 + I_2}{2} + \psi_1 = \phi_2 \quad (20)$$

dengan  $I_1$  = debit yang masuk di atas debit yang dicari ( $m^3/s$ ),  $I_2$  = debit masuk yang dicari ( $m^3/s$ ),  $Q_1$  = debit yang keluar saat permulaan periode penelusuran ( $m^3/s$ ),  $Q_2$  = debit yang keluar saat akhir periode penelusuran ( $m^3/s$ ),  $\psi_1$  = keadaan pada saat permulaan penelusuran,  $\phi_2$  = keadaan pada saat akhir penelusuran,  $S_1$  = tampungan waduk pada permulaan periode penelusuran ( $m^3$ ),  $S_2$  = tampungan waduk pada akhir periode penelusuran ( $m^3$ ),  $\Delta t$  = periode penelusuran (detik, jam atau hari),

Suatu waduk dilengkapi dengan bangunan pelimpah (*spillway*). Aliran melalui bangunan pelimpah tergantung pada lebar bangunan pelimpah (B), tinggi peluapan (H) dan koefisien debit (Cd). Maka untuk perhitungan debit *outflow* digunakan Persamaan (21) sebagai berikut (C. D. Soemarto, 1987):

$$Q = C_d \cdot B \cdot H^{\frac{3}{2}} \quad (21)$$

dengan  $C_d$  = koefisien debit limpahan pada saat  $h = H_d$ ,  $B$  = panjang ambang bangunan pelimpah (m),  $H$  = tinggi tekanan air di atas mercu (m), Besarnya koefisien debit limpahan (C) dari tipe standar suatu bendungan juga dapat diperoleh dengan rumus Iwasaki sebagai berikut :

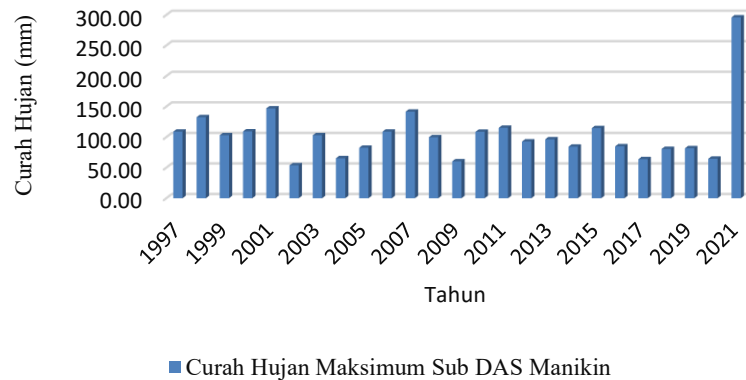
$$C_d = 2,20 - 0,0416 (H_d/W)^{0,99} \quad (22)$$

dengan  $H_d$  = tinggi tekan rencana di atas mercu bendung (m),  $W$  = tinggi bendung (m)

### 3. HASIL STUDI DAN PEMBAHASAN

#### Analisis Data Curah Hujan

Untuk Analisis Data Curah Hujan, didapatkan bahwa Pos Hujan yang memiliki pengaruh paling besar yaitu Pos Hujan Baun dengan presentase 89,67 % dari wilayah Sub DAS yang ditinjau. Pos Hujan Tilong dengan presentase 9,57 %. Pos Hujan Penfui dengan presentase hanya 0,76 % dari total daerah tinjauan. Rekapitulasi curah hujan maksimum dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Curah Hujan Maksimum Polygon Thiessen

Berikutnya didapatkan hasil perhitungan distribusi curah hujan menggunakan keempat metode seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Distribusi Curah Hujan

No	Kala Ulang (Tahun)	Curah Hujan Untuk Setiap Distribusi			
		Distribusi Normal (mm)	Distribusi Log Normal (mm)	Distribusi Log Pearson Tipe III (mm)	Distribusi Gumbel (mm)
1	2	104,04	97,24	91,55	96,98
2	10	164,07	152,59	155,88	177,92
3	25	184,16	177,43	200,33	218,66
4	50	200,18	200,11	239,54	248,88
5	500	239,11	268,02	387,88	348,21
6	1000	248,96	288,59	491,36	378,01

Hasil distribusi curah hujan ini selanjutnya dilakukan uji persyaratan statistik dan uji kecocokan distribusi frekuensi. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan distribusi curah hujan yang akan digunakan untuk analisis selanjutnya. Berdasarkan hasil uji statistik dan hasil uji kecocokan distribusi frekuensi didapatkan metode distribusi log Pearson tipe III yang memenuhi persyaratan. Nilai Koefisien Pengaliran (C) Perhitungan penggunaan lahan dan kemiringan lereng pada Sub DAS Manikin dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Koefisien Pengaliran

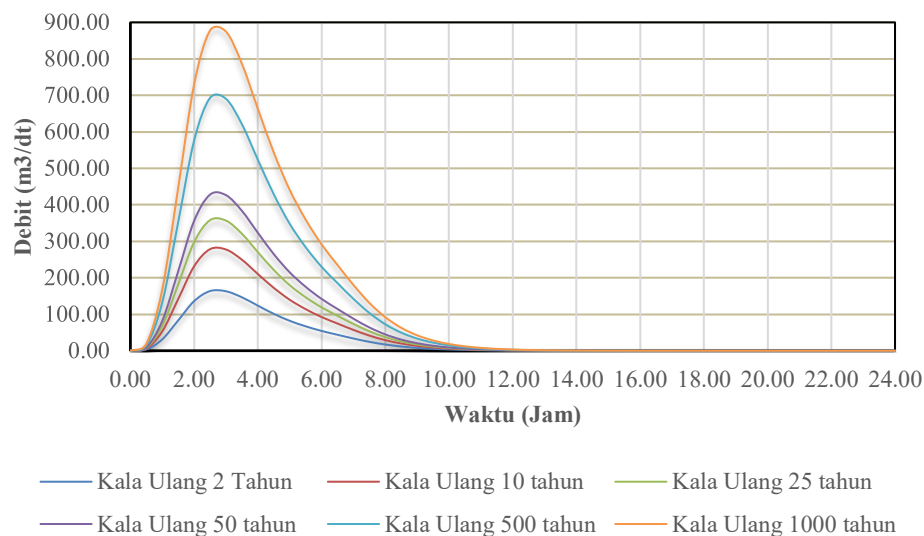
Perhitungan Penggunaan Lahan				
No	Tata Guna Lahan	Luas	C	C x A
1	Semak/belukar	45,07	0,53	23,88
2	Pertanian Lahan Kering	0,59	0,10	0,06
	$\Sigma$	45,66	0,63	23,94
Perhitungan Kemiringan Lereng				
No	Kemiringan	Luas Area	Kelas Kemiringan	Luas Area x Kelas Kemiringan
1	0-3%	0,56	0,3	0,17
2	3-8%	3,22	0,4	1,29
3	8-15%	7,68	0,5	3,84
4	15-25%	15,98	0,6	9,59
5	>25%	18,22	0,7	12,75
	$\Sigma$	45,66		27,64

## Distribusi Hujan Efektif dan Distribusi Hujan Jam-jaman

Untuk perhitungan hujan efektif dan distribusi hujan jam-jaman dapat dilihat pada Tabel 4. Berdasarkan nilai pada Tabel 1 dilakukan perhitungan untuk distribusi hujan jam-jaman.

Tabel 4. Perhitungan Curah Hujan Efektif dan Distribusi Hujan Jam-jaman							
Perhitungan Curah Hujan Efektif Untuk Berbagai Periode Ulang							
Kala Ulang	2 th	10 th	25 th	50 th	500 th	1000 th	
Probabilitas Hujan	91,55	155,88	200,33	239,54	387,88	491,36	
Koefisien Pengaliran	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	
Hujan Efektif	51,71	88,05	113,16	135,31	219,09	277,55	
Distribusi Curah Hujan Jam-jaman Untuk Berbagai Periode Ulang							
Waktu (jam)	Distribusi	Tinggi Hujan (mm)					
1	15,0%	7,76	13,21	16,97	20,30	32,86	41,63
2	24,0%	12,41	21,13	27,16	32,47	52,58	66,61
3	23,0%	11,89	20,25	26,03	31,12	50,39	63,84
4	12,5%	6,46	11,01	14,14	16,91	27,39	34,69
5	6,5%	3,36	5,72	7,36	8,79	14,24	18,04
6	5,0%	2,59	4,40	5,66	6,77	10,95	13,88
7	3,0%	1,55	2,64	3,39	4,06	6,57	8,33
8	3,0%	1,55	2,64	3,39	4,06	6,57	8,33
9	2,5%	1,29	2,20	2,83	3,38	5,48	6,94
10	2,5%	1,29	2,20	2,83	3,38	5,48	6,94
11	1,5%	0,78	1,32	1,70	2,03	3,29	4,16
12	1,5%	0,78	1,32	1,70	2,03	3,29	4,16
Σ	100,0%	51,71	88,05	113,16	135,31	219,09	277,55

Langkah berikutnya adalah melakukan superposisi pada Metode HSS ITB-1 menjadi hidrograf banjir. Hasil debit banjir pada periode ulang 2 tahun yaitu 163,50 m<sup>3</sup>/s, 10 tahun yaitu 278,37 m<sup>3</sup>/s, 25 tahun yaitu 357,75 m<sup>3</sup>/s, 50 tahun yaitu 427,78 m<sup>3</sup>/s, 500 tahun yaitu 692,69 m<sup>3</sup>/s dan 1000 tahun yaitu 877,49 m<sup>3</sup>/s. Hasil perhitungan Debit banjir rancangan HSS ITB-1 jam puncak terjadi pada jam ke 02,50 dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Debit Banjir Rancangan ITB-1

## Penelusuran Banjir di Waduk Manikin

Analisis hubungan antara tinggi air di atas pelimpah (H), tampungan (S) dan debit outflow (Q) pada pelimpah *morning glory* dilakukan dengan  $\Delta t = 3.600$  sekon. Nilai hasil perhitungan koefisien debit (Cd) yaitu 2,20. Analisis hubungan antara tinggi air diatas pelimpah, tampungan, dan debit dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hubungan antara H, S dan Q dengan Lebar Pelimpah 37 m

Elevasi (m)	Lebar Efektif, L (m)	Q Pelimpah (m <sup>3</sup> /dt)	Tampungan, S		Qrata-rata (m <sup>3</sup> /dt)	Awal Penelusuran $\Psi$ (m <sup>3</sup> /dt)	Akhir Penelusuran $\phi$ (m <sup>3</sup> /dt)
			(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> /dt)			
147,50	37,00	0,00	19322063,21	5367,24	0,00	5367,24	5367,24
148,00	36,90	28,66	20120797,96	5589,11	14,33	5574,78	5603,44
148,50	36,80	80,96	20968483,32	5824,58	40,48	5784,10	5865,06
149,00	36,70	148,61	21792653,63	6053,51	74,30	5979,21	6127,82
149,50	36,60	228,73	22663392,73	6295,39	114,36	6181,02	6409,75
150,00	36,50	319,68	23510440,67	6530,68	159,84	6370,84	6690,52

150,50	36,40	420,39	24403557,67	6778,77	210,19	6568,57	6988,96
151,00	36,29	530,06	25272504,48	7020,14	265,03	6755,11	7285,17
151,50	36,19	648,10	26189019,00	7274,73	324,05	6950,68	7598,78
152,00	36,09	774,01	27081087,93	7522,52	387,00	7135,52	7909,53
152,50	35,98	907,38	28021939,60	7783,87	453,69	7330,18	8237,56
153,00	35,88	1047,85	28938466,26	8038,46	523,93	7514,54	8562,39
153,50	35,77	1195,12	29903636,51	8306,57	597,56	7709,01	8904,13
154,00	35,67	1348,90	30845051,95	8568,07	674,45	7893,62	9242,52
154,50	35,56	1508,93	31835285,11	8843,13	754,47	8088,67	9597,60
155,00	35,45	1674,98	32804413,63	9112,34	837,49	8274,85	9949,83
155,50	35,35	1846,82	33822888,75	9395,25	923,41	8471,84	10318,66
156,00	35,24	2024,25	34829549,90	9674,87	1012,13	8662,75	10687,00
156,50	35,13	2207,07	35880972,16	9966,94	1103,53	8863,40	11070,47
157,00	35,02	2395,09	36933477,61	10259,30	1197,54	9061,76	11456,84
157,50	34,91	2588,13	38003683,09	10556,58	1294,06	9262,52	11850,64
158,00	34,80	2786,01	39074126,51	10853,92	1393,01	9460,92	12246,93
158,50	34,69	2988,58	40150615,68	11152,95	1494,29	9658,66	12647,24
159,00	34,58	3195,67	41229976,47	11452,77	1597,84	9854,93	13050,61
159,50	34,47	3407,13	42316676,28	11754,63	1703,57	10051,07	13458,20
160,00	34,36	3622,81	43435272,98	12065,35	1811,41	10253,95	13876,76

Adapun Pelimpah Utama berada di elevasi ambang 147,50 dan pelimpah tambahan berada di elevasi ambang 150,00. Untuk Hasil perhitungan penelusuran banjir kala ulang 2 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 500 tahun dengan lebar pelimpah 37 m, selanjutnya direkapitulasi dalam Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Rekapitulasi Penelusuran Banjir Pada Berbagai Periode Ulang

No	Kala Ulang (T)	Inflow (m <sup>3</sup> /dt)	Outflow (m <sup>3</sup> /dt)	Elevasi MAW	H
1	2	163,50	101,41	148,66	1,16
2	10	278,37	187,67	149,25	1,75
3	25	357,75	250,60	149,62	2,12
4	50	427,78	309,11	149,94	2,44
5	500	692,69	533,21	151,01	3,51
6	1000	877,49	691,13	151,67	4,17

Hasil penelusuran banjir pada kala ulang 2, 10, 25, 50, 500, dan 1000 tahun bisa dilimpaskan oleh pelimpang utama *morning glory*. Ketinggian air di atas pelimpah juga tergolong aman karena puncak bendungan berada di elevasi +153,00. Penelusuran banjir kala ulang 1000 tahun menghasilkan debit *inflow* 877,49 m<sup>3</sup>/s dan debit *outflow* sebesar 691,13 m<sup>3</sup>/s. Hal ini menunjukkan terdapat sisa air baku yang bisa ditampung di Waduk Manikin sebesar 186,36 m<sup>3</sup>/s. Hasil penelusuran banjir menunjukkan bahwa pelimpah *morning glory* dapat melimpaskan banjir dengan beberapa kala ulang yang sudah dihitung. Waduk Manikin dapat mereduksi banjir kala ulang 1000 tahun sebesar 21,24 %. Berdasarkan hasil rekapitulasi penelusuran banjir Bendungan Manikin aman sebagai pengendali banjir.

Penelitian yang dilakukan di DAS Manikin pada 2019 dan 2022 menunjukkan bahwa debit banjir rancangan yang terjadi lebih kecil dari debit banjir yang dihasil pada penelitian ini (Wuwur et al, 2019) dan (Damayanti et al, 2022). Kondisi ini disebabkan karena penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data curah hujan dimana telah terjadi badai seroja yang menimpa Nusa Tenggara Timur tahun 2021 lalu.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil dari nilai debit masukan (*inflow*) pada kala ulang 2, 10, 25, 50, 500 dan 1000 tahun yaitu masing-masing sebesar 163,50 m<sup>3</sup>/s, 278,37 m<sup>3</sup>/s, 357,75 m<sup>3</sup>/s, 427,78 m<sup>3</sup>/s, 692,69 m<sup>3</sup>/s, dan 877,49 m<sup>3</sup>/s. Nilai debit keluar (*outflow*) pada kala ulang 2, 10, 25, 50, 500 dan 1000 tahun yaitu masing-masing sebesar 101,41 m<sup>3</sup>/s, 187,67 m<sup>3</sup>/s, 250,60 m<sup>3</sup>/s, 309,11 m<sup>3</sup>/s, 533,21 m<sup>3</sup>/s, dan 691,13 m<sup>3</sup>/s.

Elevasi muka air pada kondisi debit *inflow* dan *outflow* pada kala ulang 2, 10, 25, 50, 500 dan 1000 tahun yaitu masing-masing sebesar +148,66, +149,25 +149,62, +149,94, +151,01, dan +151,67. Ketinggian air di atas pelimpah setelah terjadi peluapan dikategorikan aman karena puncak bendungan berada pada elevasi +153,00 m. Berdasarkan hal ini, pelimpah *morning glory* dapat berfungsi sebagai pengendali banjir di Waduk Manikin.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, M. dan Muchamad Arif Budiyo, M. A. (2021). Analisis Keruntuhan Bendungan (DAM Break Analysis) Dalam Upaya Mitigasi Bencana (Studi Kasus di Waduk/Bendungan Tempuran. Civil Engineering and Technology Journal, Vol. III No.1, Februari 2021.  
<https://jurnal.ucy.ac.id/index.php/CivETech/article/view/707/811>
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (n.d.). Data Hujan Harian.
- Balai Wilayah Nusa Tenggara II. (n.d.). Data Hujan Harian.
- Damayanti, A. C., Lily Montarich Limantara, L. M. dan 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 Vol. 2 No. 2 (2022) p. 300-313  
<https://jtresda.ub.ac.id/index.php/jtresda/article/view/300/284>
- Krisnayanti, D. S., Ihut, K. V. D. dan Sir, T. M. W. (2021). Analisis Debit Banjir Rancangan Dengan Metode HSS ITB-1, HSS ITB-2 Dan HSS Gama-1 Pada DAS Temef. Jurnal Teknik Sipil, Vol. 10, No. 1, April 2021.  
<https://sipil.ejournal.web.id/index.php/jts/article/view/391/350>
- Krisnayanti, D. S., Bunganaen, W., Frans, J. H., Seran, Y. A. Dan Legono, D. (2021). Curve Number Estimation for Ungauged Watershed in Semi-Arid Region. Civil Engineering Journal, Vol. 7, No. 06, June 2021.  
<https://www.civilejournal.org/index.php/cej/article/view/2735>
- Limbong, B dan Wulandari, D. A. (2022). Reservoir Routing di Waduk Greneng, Blora Dengan Model HEC-HMS. Siklus : Jurnal Teknik Sipil Vol 8, No. 2, Oktober 2022, pp 230-247.  
<https://journal.unilak.ac.id/index.php/SIKLUS/article/view/10717>
- Natakusumah, D. K., Hatmoko, W., & Harlan, D. (2011). Prosedure Umum Perhitungan Hidrograf Satuan Sintesis (HSS) dan Contoh Penerapannya dalam Pengembangan HSS ITB-1 dan HSS ITB-2. Journal Teknik Sipil ITB, Vol. 18 No. 3.
- Nota Perhitungan Desain. Sertifikasi Desain Dan Model Test Bendungan Tefmo/Manikin Kabupaten Kupang. 2018.
- Prayoga, P., Wibowo, L. S. B., Cahyono, M. S. D., Ray, N. (2020). Studi Perencanaan Spillway Morning Glory Pada Bendung Wai Woki Kabupaten Ngada. Narotama Jurnal Teknik Sipil, Volume 4 Nomor 1 Juni 2020.  
<https://jurnal.narotama.ac.id/index.php/njts/article/view/978>
- PUPR, B. B. (2019). Bimbingan Teknis Perhitungan Debit Banjir pada Keterbatasan Data Curah Hujan Satelit.
- Qais, A. N dan Permana, S. (2021). Analisis Debit Banjir dan Penelusuran Banjir di Bendungan Cipanas Kabupaten Sumedang. Jurnal Konstruksi Vol. 19; No. 1; 2021; Hal 157168.  
<https://jurnal.itg.ac.id/index.php/konstruksi/article/view/901>
- Soemarto, C. (1987). Hidrologi Teknik. Surabaya: Usaha Nasional.
- Soewarno. (1995). Hidrologi, Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data, Jilid 1. Bandung: Penerbit Nova.
- Sriyono, E. (2013). Penelusuran Banjir dan Kapasitas Pelimpah Situ Lebakwangi, Bogor Jawa Barat. Jurnal Teknik Vol. 3 No. 2/Oktobre 2013.  
<https://ejournal.janabadra.ac.id/index.php/jurnalteknik/article/view/1704/1167>
- Surya, A.P.A. Penelusuran Banjir Pada Waduk Semantok Kabupaten Nganjuk Jawa Timur. Jawa Timur: Universitas Jember, 2020.  
<https://repository.unej.ac.id/xmlui/handle/123456789/103710?show=full>
- Suripin. (2004). Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan. Yogyakarta: ANDI.
- Susilo, Adhi., Qomariah, S. dan Agus Hari Wahyudi, A. H. (2016), Analisis Routing Aliran Melalui Reservoir (Studi Kasus Waduk Diponegoro). e-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL/Juni2016/313.  
<https://jurnal.uns.ac.id/matriks/article/view/36982/24207>
- Triatmodjo, Bambang. (2010). Hidrologi Terapan. Beta Offset, Yogyakarta.
- Triatmodjo, Bambang (2008). Hidrologi Terapan. Beta Offset, Yogyakarta.
- Utung, M. T. R., Nasjono, J. K. dan Elia Hunggurami, E. (2021). Debit Puncak Harian Tahunan Metode HSS Nakayasu dan Debit Terukur di DAS Muke Kabupaten TTS. Jurnal Forum Teknik Sipil, Vol. 1No. 2 Tahun 2021, pp.25-35. <https://ejurnal.undana.ac.id/index.php/ForTekS/article/view/4846>
- Wuwur, C. W., Nasjono, J. K. dan Utomo, S. (2019). Analisis atas Debit Maksimum DAS Manikin Menggunakan Metode Rasional dan Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu. Jurnal Teknik Sipil, Vol. VIII, No. 1, April 2019  
<https://sipil.ejournal.web.id/index.php/jts/article/view/239>
- Yudha Tantra Ahmadi, Y. T., Soetopo, W. Dan Trijuwono, P. (2019). Kajian Pola Operasi Waduk Tugu dengan Inflow Debit Andalan dan Inflow Debit Bangkitan AWLR. Jurnal Teknik Pengairan, Volume 8, Nomor 2, Nopember 2017, hlm 205 – 213.  
<https://jurnalpengairan.ub.ac.id/index.php/jtp/article/view/333>