

STUDI PENENTUAN LENGKUNG DEBIT (*RATING CURVE*) UNTUK MENUNJANG SISTEM PERINGATAN DINI (*EARLY WARNING SYSTEM*) DI DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) TEMEF KABUPATEN TIMOR TENGAH SELATAN, PROVINSI NUSA TENGGARA TIMUR

Novita Silfiani Christina¹, I Wayan Mundra², Mohammad Erfan³

^{1,2,3}) Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang
Email: Novichristina@yahoo.com

ABSTRACT

The Temef River is located in Oenino Village, Oenino District, South Central Timor Regency, East Nusa Tenggara Province. The problem that occurs in the Temef watershed is changes in the volume of water discharge and water level that occur during the rainy season, this can trigger flooding so that the flow of water can bring the results of hillside debris that can sweep residential areas and existing infrastructure.

To overcome this problem, it is necessary to determine the rating curve in order to help determine the relationship and influence of rain on water level associated with flood events so that it can provide disaster information to support the early warning system.

The results of the analysis show that by using the Rating Curve method using a linear equation, it is obtained that $h = 0.0102Q + 0.2572$ with an R^2 value of 0.9833 meaning that the river discharge that occurs is 98% influenced by the water level factor. The higher the water level, the higher the discharge will occur. From the discharge curve equation obtained using the help of Microsoft Excel, calculations are carried out to obtain the water level based on the flood discharge using the Nakayasu method. So that the flood alert status can be determined based on one cross section of the river with Normal state 234 m³/s, Alert 315 m³/s, Alert 332 m³/s, Danger 434 m³/s

Keywords : Rainfall, Discharge, Rating curve, Water level

ABSTRAK

Sungai Temef terletak di Desa Oenino, Kecamatan Oenino, Kabupaten Timor Tengah Selatan, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Masalah yang terjadi pada DAS Temef adalah perubahan volume debit air dan tinggi muka air yang terjadi pada saat musim hujan, hal ini dapat memicu terjadinya banjir sehingga aliran air yang dapat membawa hasil rombakan / runtuhnya bukit yang dapat menyapu kawasan hunian dan infrastruktur yang ada.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka diperlukan penentuan lengkung debit (*rating curve*) agar dapat membantu mengetahui hubungan dan pengaruh hujan terhadap tinggi muka air yang dikaitkan dengan kejadian banjir sehingga dapat memberi informasi kebencanaan untuk menunjang sistem peringatan dini.

Hasil analisa menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode lengkung debit (*Rating Curve*) menggunakan persamaan linear diperoleh $h = 0.0102Q + 0.2572$ dengan nilai R^2 : 0.9833 artinya debit sungai yang terjadi sebesar 98% dipengaruhi faktor tinggi muka air. Semakin besar tinggi muka airnya maka debit yang akan terjadi semakin tinggi. Dari persamaan lengkung debit yang diperoleh menggunakan bantuan Microsoft Excel dilakukan perhitungan untuk mendapatkan tinggi muka air berdasarkan debit banjir metode nakayasu. Sehingga dapat ditentukan status siaga banjir berdasarkan salah satu penampang sungai dengan status Normal 234 m³/det, Siaga 315 m³/det, Waspada 332 m³/det, Bahaya 434 m³/det

Kata kunci : Curah Hujan, Debit, Lengkung Debit (*Rating Curve*), Tinggi Muka Air

1. PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) (*catchment, basin, watershed*) merupakan daerah dimana seluruh airnya mengalir ke dalam suatu sungai yang dimaksudkan. Daerah ini umumnya dibatasi oleh batas topografi, yang berarti ditetapkan berdasarkan aliran air permukaan (Sri Harto, 1993). Daerah Aliran Sungai (DAS) dapat digunakan sebagai batas kajian suatu

studi, mengingat DAS merupakan suatu sistem yang sangat kompleks.

Sungai Temef terletak di Desa Oenino, Kecamatan Oenino, Kabupaten Timor Tengah Selatan, Provinsi Nusa Tenggara Timur dengan koordinat 124°27'22,4" BT dan 9°42'47,4" LS. Daerah Aliran Sungai Temef seluas 552,58 km². Dengan Panjang sungai Utama 46,48 km.

Masalah yang terjadi pada DAS Temef adalah perubahan volume debit air dan tinggi muka air yang terjadi pada saat musim hujan, banyaknya curah hujan memengaruhi jumlah volume air yang mengalir dari anak sungai ke sungai utama, hal ini dapat memicu terjadinya banjir sehingga aliran air yang dapat membawa hasil rombakan / runtuhannya bukit yang dapat menyapu kawasan hunian dan infrastruktur yang ada.

Dalam menangani permasalahan diatas maka diperlukan penentuan lengkung debit (*rating curve*) agar dapat membantu mengetahui hubungan dan pengaruh hujan terhadap tinggi muka air yang dikaitkan dengan kejadian banjir sehingga dapat memberi informasi kebencanaan untuk menunjang sistem peringatan dini.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Data Hujan

Beberapa dari hasil presipitasi, hujan lah yang paling biasa diukur dari hasil pengukuran. Karena menurut pakar-pakar hidrologi, dari beberapa hasil presipitasi tersebut yakni produk dari awan yang turun sebagai air hujan ataupun salju (sejauh tak menyangkut salju selanjutnya dianggap sebagai hujan), dan hanya seperempatnya yang kembali ke laut melalui limpasan langsung (direct runoff) atau melalui aliran air tanah (ground water flow).

Analisa Curah Hujan

Data hujan suatu titik (point rainfall) merupakan hasil pengukuran data hujan dari masing-masing alat pengukuran hujan. Ada beberapa metode untuk mendapatkan data curah hujan yaitu, metode aritmatik, metode polygon thiessen dan metode isohyet.

Metode Aritmatik

Metode ini menggunakan perhitungan curah hujan wilayah dengan merata- ratakan semua jumlah curah hujan yang ada pada wilayah tersebut menggunakan persamaan (Triatmodjo B, 2008):

$$P = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_n}{n}$$

Dimana

P = curah hujan rata-rata (mm)

n = jumlah stasiun pengukuran hujan

P_1, P_2, P_3, P_n = besarnya curah hujan pada masing-masing stasiun (mm)

Metode Polygon Thiessen

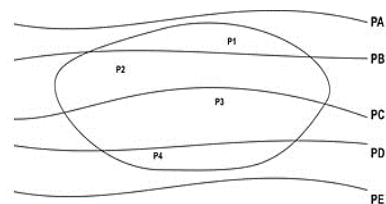
Metode ini memperhitungkan bobot dari masing-masing Pos Hujan yang mewakili luasan di sekitarnya. Pada suatu luasan di dalam DAS dianggap bahwa hujan adalah sama dengan yang terjadi pada Pos Hujan yang terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu Pos Hujan mewakili luasan tersebut.

Perhitungan hujan rata-rata metode polygon thiessen dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- Menghubungkan masing-masing Pos Hujan dengan garis polygon.
- Membuat garis berat antara 2 Pos Hujan hingga bertemu dengan garis berat lainnya pada satu titik dalam polygon.
- Luas area yang mewakili masing-masing Pos Hujan dibatasi oleh garis berat pada polygon.
- Luas sub-area masing-masing Pos Hujan dipakai sebagai faktor pemberat dalam menghitung hujan rata-rata.

Metode Isohyet

Isohyet adalah garis kontur yang menghubungkan tempat-tempat yang mempunyai jumlah hujan yang sama. Pada metode isohyet, dianggap bahwa hujan pada suatu daerah di antara dua garis isohyet adalah merata dan sama dengan nilai rata-rata dari kedua garis isohyet tersebut. Sehingga menggunakan persamaan (Triatmodjo B, 2008):



Gambar 1. Garis Isohyet

Hujan Rencana

Periode ulang adalah terminologi yang sering digunakan dalam bidang sumberdaya air, yang kadang difahami secara berbeda oleh berbagai pihak. Definisi fundamental dari hidrologi statistik mengenai "periode ulang" (Haan,1977): "Periode Ulang adalah rerata selang waktu terjadinya suatu kejadian dengan suatu besaran tertentu atau lebih besar"

Pada studi ini analisis periode ulang dengan menggunakan Metode E.J Gumbel.

Persamaan Metode E.J Gumbel sebagai berikut

:

$$X_T = \bar{X} + k.Sx$$

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{n}$$

$$S = \frac{\sqrt{\sum (Xi - \bar{x})^2}}{n-1}$$

Keterangan :

XT = besarnya curah hujan yang terjadi dengan kala ulang T tahun

X = rata-rata x maksimum dari seri data Xi

k = faktor frekuensi

$$K = \frac{Yt - Yn}{Sn}$$

Yn,Sn = besaran yang mempunyai fungsi dari jumlah pengamatan
Yt = reduksi sebagai fungsi dari probabilitas
n = jumlah data

Uji Kesesuaian Distribusi (Smirnov-Kolmogorov)

Uji *Smirnov-Kolmogorov*, sering juga disebut uji kecocokan non parametrik (*non parametric test*), karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu (Soewarno, 1995:198).
Distribusi dianggap sesuai apabila :

$$\Delta_{maks} < \Delta_{cr}$$

Keterangan :

Δ_{maks} = simpangan maksimum dari data
 Δ_{cr} = simpangan yang diperoleh tabel *Smirnov-Kolmogorov*

Tahapan pengujian dengan menggunakan metode *Smirnov Kolmogorov* adalah sebagai berikut :

1. Urutkan data (X_i) dari besar ke kecil atau sebaliknya.
2. Tentukan peluang empiris masing-masing data yang sudah diurut tersebut P(X_i) dengan rumus tertentu, rumus *Weibull* misalnya.

$$P(X_i) = \frac{n+1}{i}$$

Keterangan :

n = jumlah data

i = nomor urut data (setelah diurut dari besar ke kecil atau sebaliknya)

3. Menghitung peluang teoritis dari masing-masing data (P')
4. Dari kedua nilai peluang di atas kemudian ditentukan selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis. $D_{maks} = P - P'$

Bila $D_{maks} < D_{cr}$, maka pemilihan metode frekuensi tersebut dapat diterapkan untuk data yang ada.

Distribusi Hujan Jam-Jaman

Curah hujan jam-jaman digunakan untuk distribusi hujan jam-jaman didapat dengan menggunakan estimasi bahwa hujan perhari terpusat selama 5 jam, sehingga presentasi (%) kemungkinan hujan adalah sebagai berikut :

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

Keterangan :

R_t = rata-rata hujan awal sampai dengan hujan jam ke-t
T = Waktu dari awal sampai jam ke-t

T = Durasi Hujan dalam satuan jam
 R_{24} = Jumlah Hujan dalam sehari

Pembuatan Rating Curve

Rating curve adalah kurva yang menggambarkan hubungan antara tinggi muka air dan debit. Dibuat berdasarkan data pengukuran debit dari berbagai ketinggian muka air, yang mencakup keadaan tinggi muka air rendah sampai tinggi. Jumlah dan sebaran data pengukuran debit yang menggambarkan hubungan antara tinggi muka air dan debit dari muka air terendah sampai tertinggi harus cukup mewakili keadaan sebenarnya kejadian di lapangan.

Peringatan Dini Banjir

Pada suatu sungai perlu adanya flood warning system, terutama untuk sungai yang melewati daerah yang padat penduduk dan mempunyai sifat banjir yang membahayakan. Berdasarkan perkembangan kehidupan masyarakat yang semakin modern dan bahaya banjir yang semakin meningkat, maka perlu adanya peramalan datangnya banjir secara tepat dan cepat.

Siaga Banjir

Status siaga banjir merupakan hasil analisa dari informasi yang didapatkan dari stasiun-stasiun pengamatan Tinggi Muka Air (TMA) yang ada di sungai-sungai. Semakin tinggi TMA-nya, demikian tinggi pula status siaganya.

3. METODOLOGI PERENCANAAN

Pengumpulan Data

Data kondisi fisik sungai, hujan, debit, tinggi muka air, diperoleh berupa data sekunder yang didapatkan bukan melalui pengamatan secara langsung melainkan dari instansi terkait (Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara II) dan juga teori-teori yang menunjang dalam perhitungan melalui perpustakaan dan beberapa artikel di internet. Berikut ini merupakan data pendukung yang diperlukan dalam penentuan lengkung debit (*rating curve*) untuk menunjang sistem peringatan dini (*Early warning system*)

1. Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder merupakan bagian terpenting dalam proses penentuan lengkung debit di DAS Temef pada saat musim hujan. Data sekunder ini didapatkan bukan melalui pengamatan secara langsung di lapangan melainkan dari instansi terkait. Data sekunder yang diperlukan antara lain :

- a. Data Curah Hujan
 - b. Data Debit
 - c. Data Tinggi muka air
2. Data Primer

Data Primer yang diambil untuk studi ini berupa dokumentasi lokasi studi .

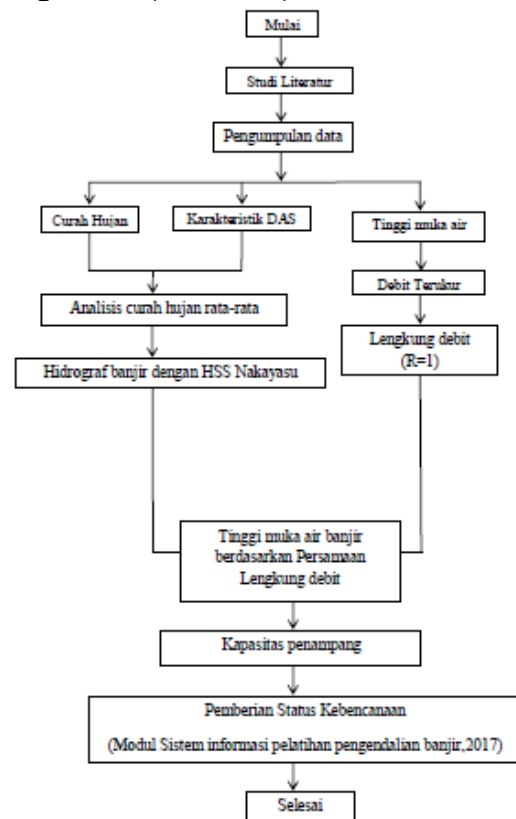
Analisis Data

Untuk mencapai hasil-hasil yang diharapkan dan sesuai dengan data yang tersedia, Langkah-langkah yang harus dipenuhi adalah:

Analisa Hidrologi :

- Menentukan curah hujan maksimum setiap tahun
- Mencari rata-rata hujan harian maksimum tahunan dari 3 pos hujan dengan menggunakan *polygon Thiessen*
- Menghitung besarnya hujan rencana menggunakan Metode E.J Gumbel
- Uji kesesuaian distribusi (*Sminrov Kolomogorov test*)
- Menghitung curah hujan jam-jaman
- Menghitung besarnya debit dengan menggunakan metode HSS Nakayasu
- Menghitung besarnya debit terukur Sungai Temef dengan menggunakan data pengukuran tinggi Muka air yang diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara II (BWS NT II)
- Menentukan hubungan tinggi muka air dan debit terukur (persamaan lengkung debit)
- Menghitung tinggi muka air banjir berdasarkan persamaan lengkung debit, sehingga dapat diketahui nilai tinggi muka air pada saat debit banjir dengan kala ulang tertentu
- Menghitung kapasitas salah satu penampang bagian hulu pada sungai temef
- Pemberian status kebencanaan

Bagan Alir (Flowchart)



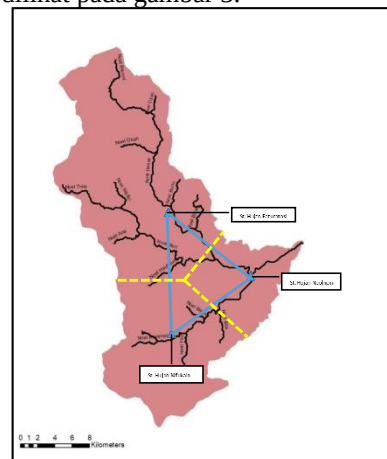
Gambar 2. Flowchart

4. PEMBAHASAN

Analisa Hidrologi

Perhitungan Curah Hujan

Analisis curah hujan rerata dilakukan untuk mendapatkan rata-rata hasil pengukuran hujan di tiga pos hujan yang ada yaitu St. Fatumnasi, St. Nifukain, St. Neolnoni. Dengan mengetahui luas pengaruh tiap pos hujan yang ada, maka curah hujan rerata dari setiap pos hujan dihitung dengan cara *polygon Thiessen*. Berdasarkan peta posisi stasiun hujan di DAS Temef maka digambarkan *polygon thiessen* dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Peta posisi stasiun hujan di DAS Temef dan Polygon Thiessen

Luas pengaruh dari ketiga stasiun yang digambarkan dengan cara polygon Thiessen pada gambar 3 tersebut yaitu St. Fatumnasi, St. Nifukain, St. Neolnoni, dapat menentukan nilai koefisien Thiessen perhitungannya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 1. Koef. Thiessen DAS Temef

No	Stasiun	Luas (km ²)	Koef. Thiessen
1	Fatumnasi	183.660,21	0,33
2	Nifukain	175.132,02	0,33
3	Neolnoni	188.298,81	0,34
	553,82		

Dari perhitungan nilai koefisien Thiessen pada masing- masing stasiun selanjutnya dilakukan perhitungan Curah hujan maximum rata-rata daerah yang dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Curah hujan maximum C.Thiessen

No	Tahun	Curah Hujan Maksimum			CH Maksimum Rerata Daerah (mm)
		St.Fatumnasi	St.Nifukain	St.Noelnoni	
C.Thiessen		0.33	0.33	0.34	
1	2007	58	44	92	64.940
2	2008	58	60	42	53.220
3	2009	72	79	45	65.130
4	2010	45	52	54	50.370
5	2011	70	50	54	57.960
6	2012	165	62	56	93.950
7	2013	150	68	46	87.580
8	2014	67	40	52	52.990
9	2015	105	58	84	82.350
10	2016	100	45	50	64.850

Sumber: Hasil Perhitungan (2021)

Berdasarkan tabel 2 didapat hujan harian maksimum rata-rata daerah yang akan digunakan untuk perhitungan selanjutnya yaitu perhitungan curah hujan rancangan menggunakan metode Ej. Gumbel.

Hujan Rencana

Tabel 3. Curah hujan Rancangan Dengan Metode Gumbel

No	Tahun	xi	Xi - X	(Xi - X) ²
1	9 Mei 2011	49.92	-16.52	273.04
2	9 Maret 2015	52.32	-14.12	199.49
3	13 Febuari 2009	52.64	-13.80	190.55
4	14 Maret 2012	57.26	-9.18	84.35
5	6 Febuari 2017	63.85	-2.59	6.73
6	13 Febuari 2008	64.36	-2.08	4.34
7	23 Juli 2010	64.41	-2.03	4.14
8	20 Maret 2016	81.30	14.86	220.70
9	31 Januari 2014	86.08	19.64	385.57
10	21 Desember 2013	92.30	25.86	668.53
Σ	Jumlah	664.44	0.00	2037.44

Dari hasil perhitungan diatas, maka diperoleh nilai Rerata Curah Hujan =

Dari hasil perhitungan diatas, maka diperoleh nilai Rerata Curah Hujan = 66.444 dan nilai SD = 15.046. Berikut ini merupakan contoh perhitungan nilai Rerata, Standar Deviasi, dan Faktor Frekuensi di tiap kala ulang .

a. Curah Hujan rata-rata

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$= \frac{1}{2} \times 664 = 66.444$$

b. Standar Deviasi

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X)^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{2037,44}{9}} = 15,046$$

c. Faktor Frekuensi

$$K = \frac{Y_T - Y_n}{S_n}$$

Dengan

$$Y_T = - \ln \left[- \ln \left\{ \frac{T_r - 1}{T_r} \right\} \right]$$

Nilai S_n didapatkan dari tabel hubungan antara reduced mean (Y_n) dengan besarnya sampel n dan Y_n dapat dilihat pada tabel hubungan antara reduced Standart Deviation (S_n) dengan besarnya sampel n. Dari tabel didapatkan :

$$n = 10, \text{ maka,}$$

$$Y_n = 0.4952$$

$$S_n = 0.9496$$

Maka Y_T untuk kala ulang 2 tahun :

$$Y_T = -\ln \left[-\ln \left\{ \frac{T_r - 1}{T_r} \right\} \right]$$

$$= -\ln \left[-\ln \left\{ \frac{2-1}{2} \right\} \right] = 0,367$$

Faktor Frekuensi untuk kala ulang 2 tahun :

$$K = \frac{Y_T - Y_n}{S_n}$$

$$= \frac{0,367 - 0,4952}{0,95}$$

$$= -0,135$$

Uji Kesesuaian Distribusi (Sminrov Kolomogorov Test)

Uji ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah metode analisa yang digunakan diterima atau tidak. Berikut proses Penyelesaian uji keseuaian distribusi.

Tabel 4. Uji Semi Kolomogorov pada Probabilitas Distribusi Gumbel

No	Prob Empiris		Prob Teoritis	Δ
	Hujan (mm)	Pe(X) %	Pt(X) %	
1	49.92	9.091	5.00	4.091
2	52.32	18.182	33.80	15.618
3	52.64	27.273	57.80	30.527
4	57.26	36.364	63.80	27.436
5	63.85	45.455	66.10	20.645
6	64.36	54.545	67.80	13.255
7	64.41	63.636	71.70	8.064
8	81.3	72.727	74.20	1.473
9	86.08	81.818	76.20	5.618
10	92.3	90.909	79.10	11.809
Jumlah	689.60706		Yn	138.536
Rerata	66.44400		Sn	0.4952
			Δ Maks	30.53
St Dev	15.04601		Δ Cr dari tabel	41%
			Δ Maks < Δ Cr	Memenuhi

Pada tabel di atas, menunjukan bahwa Δ Maks < Δ . Maka 10 Uji Semi Kolomogorov pada Probabilitas Distribusi Gumbel Memenuhi

Distribusi Hujan Jam-jaman

Distribusi hujan jam-jaman dari curah hujan terpusat selama 5 jam dapat dilihat pada perhitungan berikut ini:

$$1 \text{ jam } R_1 = 1 \times R_1 - (1-1) \times R (1-1)$$

$$= 1 \times 0,58 \times R_{24}$$

$$= 0,58 \times 100\%$$

$$= 58\%$$

$$2 \text{ jam } R_2 = 2 \times R_2 - (2-1) \times R_1$$

$$= 2 \times 0,37R_{24} - 1 \times 0,58 R$$

$$= 0,74 \times 100\% - 0,58 \times 100\%$$

$$= 16\%$$

$$3 \text{ jam } R_3 = 3 \times R_3 - (3-1) \times R_2$$

$$= 3 \times 0,28R_{24} - 2 \times 0,37 R_{24}$$

$$= 0,84 \times 100\% - 0,74 \times 100\%$$

$$= 10\%$$

$$4 \text{ jam } R_4 = 4 \times R_4 - (4-1) \times R_3$$

$$= 4 \times 0,23R_{24} - 3 \times 0,28 R_{24}$$

$$= 0,92 \times 100\% - 0,84 \times 100\%$$

$$= 8\%$$

$$5 \text{ jam } R_5 = 5 \times R_3 - (2-1) \times R_4$$

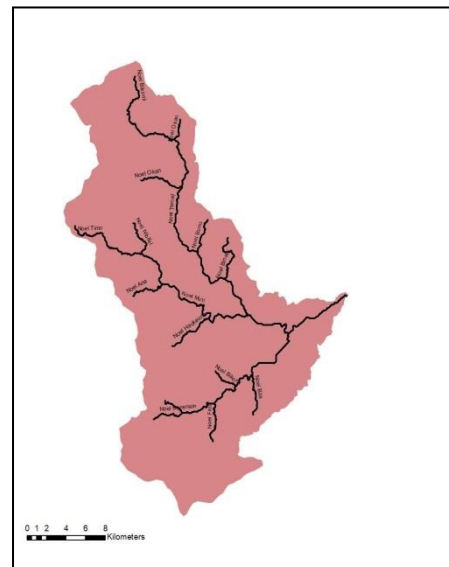
$$= 5 \times 0,20R_{24} - 4 \times 0,23 R_{24}$$

$$= 1 \times 100\% - 0,92 \times 100\%$$

$$= 7,8\%$$

Analisa Debit Banjir Rencana

Dalam perhitungan debit banjir rencana sungai Temef menggunakan Metode Nakayasu, Perhitungan metode nakayasu diperlukan Luas DAS, Panjang Sungai, Parameter Hidrograf, Hujan Efektif dan Koefisien pengaliran. Luas DAS dan Panjang sungai pada studi ini ditentukan menggunakan bantuan program Archgis.



Gambar 4. DAS Sungai Temef

Diketahui data daerah studi, Berdasarkan gambar 4.5 menggunakan bantuan program archgis dapat diketahui luas DAS Temef 552,83 km² dan panjang sungai utama adalah 56,03 km. besar hujan yang digunakan 1 mm dengan asumsi bahwa hujan yang terjadi merata pada daerah aliran sungai pada DAS Temef. Sedangkan nilai koefisien pengaliran diperoleh dari tabel 2.3 dengan nilai 0,49.

Berikut ini perhitungan metode Hidrograf satuan sintetik nakayasu pada DAS Temef :

1. Waktu konsentrasi (tg)

Untuk $L < 15$ km nilai $tg = 0,21 \times L^{0.70}$ Untuk L

> 15 km nilai $tg = 0,40 + 0,058L$ Karena panjang sungai lebih dari 15 km maka:

$$\begin{aligned} t_g &= 0,40 + 0,058L \\ &= 3,65 \text{ jam} \\ \text{Waktu hujan (tr)} &= t_g \\ tr &= 3,65 \text{ jam} \end{aligned}$$

2. Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir

$$\begin{aligned} (T_p)T_p &= t_g + 0,8tr \\ &= 3,65 + 0,8 \times 3,65 \\ &= 6,57 \end{aligned}$$

Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit dari puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak

$$\begin{aligned} T_{0.30} &= \alpha \times t_g \\ &= 3 \times 3,65 \\ &= 10,95 \end{aligned}$$

Debit Banjir Puncak

$$Q_p = \frac{CAR_0}{3,60 (0,30 - T_p + T_0)}$$

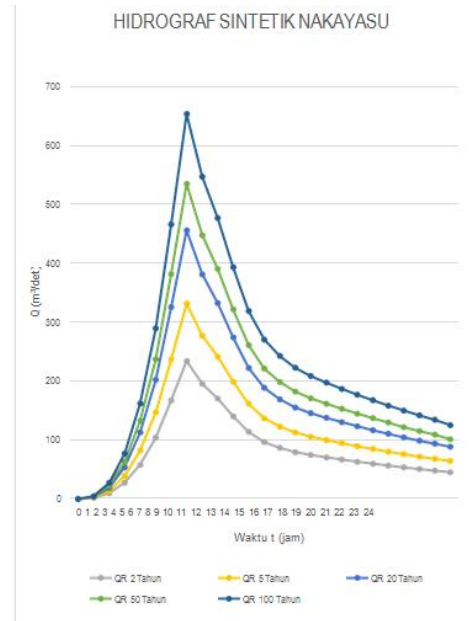
$$Q_p = \frac{0,49 \times 553,82 \times 1}{3,60 (6,57 + 10,95)} = 4,302$$

Dari data perencanaan diatas maka di dapatkan hidrograf satuan Nakayasu dapat dilihat pada Tabel Berikut.

Tabel 5. Rekapitulasi untuk berbagai kala ulang

Jam	UH	Q2th	Q5th	Q20th	Q50th	Q100th
0	0	0	0	0	0	0
1	0.045464	1.795235	2.535126	3.479392	4.080877	4.97987
2	0.23996	9.93011	14.02759	19.25689	22.58789	27.56647
3	0.634976	27.79284	39.27655	53.93233	63.26785	77.22096
4	1.266516	58.30087	82.41785	113.1965	132.8021	162.1051
5	2.163688	104.1182	147.2296	202.2495	237.2964	289.6784
6	3.351426	167.5494	236.9805	325.5901	382.0332	466.3945
7	3.8231	234.228	331.6548	455.9931	535.1949	653.5718
8	2.51193	195.6044	277.2535	381.4561	447.8317	547.0383
9	2.012	170.4933	241.7357	332.6568	390.5723	477.1343
10	1.5632	140.4959	199.2436	274.2188	321.977	393.3575
11	1.324021	114.1065	161.7966	222.6598	261.4289	319.374
12	1.253196	96.78952	137.1871	188.7434	221.584	270.6684
13	1.18616	86.88993	123.1298	169.3799	198.8406	242.8733
14	1.12271	79.76348	113.0167	155.4553	182.4881	222.892
15	1.062654	74.7629	105.9271	145.6995	171.034	208.8995
16	1.005811	70.76368	100.2608	137.9057	161.885	197.725
17	0.952008	66.97839	94.89764	130.5289	153.2255	187.1483
18	0.901083	63.39557	89.82137	123.5466	145.0291	177.1374
19	0.852882	60.00441	85.01664	116.9378	137.2712	167.6619
20	0.80726	56.79465	80.46892	110.6826	129.9283	158.6933
21	0.764078	53.75659	76.16447	104.7619	121.9819	150.2045
22	0.723206	50.88104	72.09028	99.15801	115.4568	142.1698
23	0.68452	48.15931	68.23402	93.85385	109.2808	134.5648
24	0.647903	45.58317	64.58404	88.83341	101.7014	125.5364

Grafik Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu untuk berbagai kala ulang dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu Sungai Temef

Debit Terukur

Analisa debit terukur dihitung menggunakan data tinggi muka air sungai Temef di diperoleh dari BWS NT II. Perhitungan pada studi ini menggunakan data tinggi muka air pada tahun 2015-2019 dengan mengambil tinggi muka air max pada musim hujan (desember – mei). Letak penampang untuk menghitung debit terukur berada pada stasiun AWLR, Diperoleh data yang diperoleh dari instansi terkait yaitu saluran berbentuk trapesium dengan lebar dasar 26 m, kemiringan tebing 1:1, Kemiringan sungai 0.015, terbuat dari pasngan batu ($n = 0.023$). Hasil perhitungan debit terukur berdasarkan data tinggi muka air dari tahun 2015-2019 dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 6. Perhitungan debit terukur berdasarkan data TMA (2015)

h	A	P	R	V	Q
0.400	10.56	27.13	0.389	2.839	29.976
0.940	24.96	28.66	0.871	4.857	121.243
0.710	18.86	28.01	0.673	4.090	77.124
0.670	17.79	27.90	0.638	3.946	70.208
0.680	18.06	27.92	0.647	3.982	71.915
0.350	9.29	26.99	0.344	2.616	24.318

Tabel 7. Perhitungan debit terukur berdasarkan data TMA (2016)

h	A	P	R	V	Q
0.700	18.69	27.98	0.668	4.069	76.051
0.860	22.84	28.43	0.803	4.601	105.092
1.050	27.88	28.97	0.963	5.191	144.755
1.050	27.88	28.97	0.963	5.191	144.755
0.350	9.29	26.99	0.344	2.616	24.318
1.180	31.34	29.34	1.068	5.564	174.369

Tabel 8. Perhitungan debit terukur berdasarkan data TMA (2017)

h	A	P	R	V	Q
1.450	39.80	30.10	1.322	6.415	255.336
0.610	16.20	27.73	0.584	3.722	60.290
1.200	31.87	29.39	1.084	5.620	179.093
1.330	35.32	29.76	1.187	5.969	210.829
1.250	33.20	29.54	1.124	5.756	191.089
1.300	34.52	29.68	1.163	5.890	203.349

Tabel 9. Perhitungan debit terukur berdasarkan data TMA (2018)

h	A	P	R	V	Q
1.100	29.81	29.11	1.024	5.410	161.268
1.160	30.81	29.28	1.052	5.508	169.690
1.150	30.54	29.25	1.044	5.480	167.367
1.120	29.74	29.17	1.020	5.395	160.464
0.330	8.76	26.93	0.325	2.519	22.077
0.180	4.78	26.51	0.180	1.700	8.125

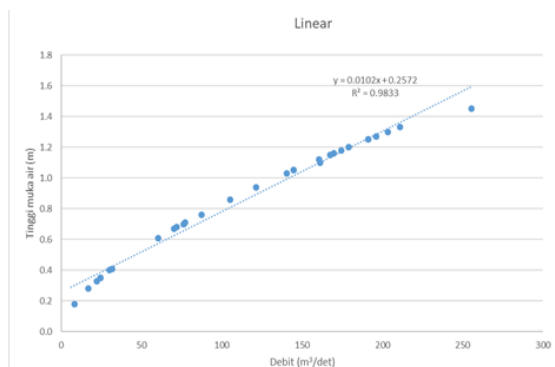
Tabel 10. Perhitungan debit terukur berdasarkan data TMA (2019)

h	A	P	R	V	Q
0.760	20.34	28.15	0.722	4.287	87.197
1.270	33.73	29.59	1.140	5.810	195.962
1.250	33.20	29.54	1.124	5.756	191.089
1.030	27.35	28.91	0.946	5.132	140.372
0.280	7.44	26.79	0.278	2.266	16.848
0.410	10.89	27.16	0.401	2.895	31.524

Berdasarkan perhitungan debit terukur tahun 2015-2019 kemudian dilakukan analisa lengkung debit agar memperoleh persamaan garis linear.

Lengkung Debit

Analisa lengkung debit bertujuan untuk menghubungkan Tinggi Muka air dan Debit sehingga memperoleh persamaan dengan nilai korelasi $R = 1$ atau mendekati 1. Dalam meningkatkan kualitas uji pembuatan lengkung debit dibantu dengan program bantuan *Microsoft excel*. Lengkung debit dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 6. Kurva lengkung debit linear

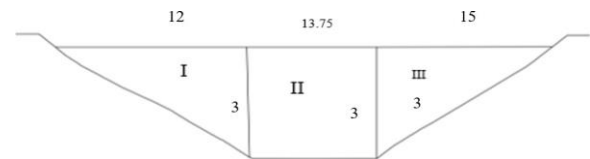
Berdasarkan kurva lengkung debit diperoleh persamaan linear $h = 0.0102Q + 0.2572$ dengan nilai R^2 : 0.9833. Dari hasil perhitungan antara debit dengan

koefisien determinasi (R^2) persamaan garis lengkung debit lokasi studi sebesar 0.9833, artinya debit sungai yang terjadi sebesar 98% dipengaruhi faktor tinggi muka air. Semakin besar tinggi muka airnya maka debit yang akan terjadi semakin tinggi.

Dari persamaan lengkung debit yang diperoleh dari debit terukur yaitu $h = 0.0102Q + 0.2572$ dilakukan perhitungan untuk mendapatkan tinggi muka air berdasarkan debit banjir metode nakayasu. Sebagai contoh debit maksimal pada kala ulang 2 tahun menggunakan metode nakayasu diperoleh debit 223,329 m³/det (tabel 4.7), dari persamaan lengkung debit $h = 0.0102Q + 0.2572$ sehingga diperoleh tinggi muka air 1,938 m.

Analisis Kapasitas Penampang Sungai

Perhitungan kapasitas penampang sungai pada salah satu penampang sungai temef bagian hulu dilakukan agar dapat mengetahui debit maksimum yang dapat ditampung.



Gambar 7. Penampang sungai temef

Perhitungan Luas:

$$I. m = \sqrt{3^2 + 12^2} = 12,369$$

$$L = (3 \times 12)^{0.5} = 18$$

$$II. L = 3 \times 13.75 = 60$$

$$III. m = \sqrt{3^2 + 15^2} = 15,297$$

$$L = (3 \times 15)^{0.5} = 22.5$$

Perhitungan penampang

$$\text{Perimeter Basah} = m_1 + m_2 + m_3$$

$$= 12.369 + 13.75 + 15.297$$

$$= 37.66$$

$$\text{Penampang Basah} = L_1 + L_2 + L_3$$

$$= 18 + 60 + 22.5$$

$$= 100.5$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{37.66}{100.5} = 2.67$$

$n = 0.0023$ (berdasarkan tabel kekasaran manning)

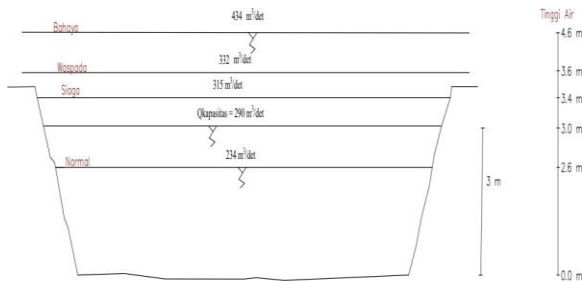
$$s = 0.0011$$

$$Q = A \times \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

$$Q = 37.66 \times \frac{1}{0.0025} \times 2.67^{\frac{2}{3}} \times 0.0011^{\frac{1}{2}}$$

$$= 290 \text{ m}^3/\text{det}$$

Berdasarkan perhitungan Qkapasitas pada salah satu penampang diperoleh penampang pada sungai temef dapat menampung Debit maksimum sebesar $290 \text{ m}^3/\text{det}$, dibandingkan dengan Qperamal ternyata pada saat kala ulang 5 tahun akan mengalami pelimpasan, adanya limpasan (overtopping) pada sungai menyebabkan perlu dilakukan perlindungan terhadap kawasan ini,terlebih kawasan sekitar sungai, salah satu perlindungan yang dapat dilakukan yaitu memperingatkan warga agar siaga terhadap banjir, oleh karena itu pada studi ini memberikan status siaga banjir dari tinggi muka air berdasarkan persamaan lengkung debit yang dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 8. Status Siaga Banjir

5. PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan studi yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil perhitungan debit terukur dari tahun 2015-2019 berdasarkan data tinggi muka air yang diperoleh dari BWS NT II dihasilkan debit sebesar $255.336 \text{ m}^3/\text{det}$
2. Berdasarkan hubungan tinggi muka air dan debit diperoleh persamaan linear $h = 0.0102Q + 0.2572$ dengan nilai $R^2 : 0.9833$. Dari hasil perhitungan antara debit dengan koefisien determinasi (R^2) persamaan garis lengkung debit lokasi studi sebesar 0.9833, artinya debit sungai yang terjadi sebesar 98% dipengaruhi faktor tinggi muka air. Semakin besar tinggi muka airnya maka debit yang akan terjadi semakin tinggi.
3. Berdasarkan hasil analisis menggunakan Hidrograf satuan sintetik nakayasu, penampang sungai temef sudah tidak dapat menampung debit banjir pada kala ulang 5th yaitu sebesar $331.654 \text{ m}^3/\text{det}$, dikarenakan penampang sungai temef bagian hulu hanya dapat menampung $290 \text{ m}^3/\text{det}$, sehingga terjadinya pelimpasan disebabkan elevasi muka air banjir melebihi elevasi tebing sungai.

Saran

Berdasarkan hasil studi yang telah diperoleh maka peneliti merekomendasikan dua hal, yaitu Dengan melihat tingkat risiko berdasarkan hasil analisis yang ada dan kondisi pemukiman setiap kali

banjir diharapkan pemerintah dapat mempertimbangkan rencana relokasi kawasan pemukiman di kawasan rawan banjir ke kawasan yang lebih aman dan nyaman untuk ditinggali dan Pengaturan tata ruang yang berbasis mitigasi bencana banjir, khususnya pada daerah aliran sungai.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C. 2014. Hidrologi dan pengelolaan Daerah aliran sungai. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Badan Penanggulangan Bencana Daerah, 2016, kejadian banjir di Kabupaten Malaka, Malaka
- Fahmi N. M., Suprayogi I, dan Fauzi M. 2017. Model Hubungan Antara Tinggi Muka Air-Debit Menggunakan Pendekatan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)(Studi Kasus : Pos Duga AWLR Stasiun Pantai Cermin). Jom FTEKNIK. 4: 1-7.
- Gurum A. P., Kalpataru I, dan Warsito. 2015. Perhitungan Debit Aliran Pada Sistem Aliran Terbuka Melalui Pengukuran Tinggi Muka Air Menggunakan Transduser Ultrasonik. Prosiding. Semirata 2015 bidang MIPA BKS-PTN Barat. Pontianak. hlm 157-168.
- Indriatmoko, H, R. 2007. Aplikasi Sistem Informasi Geografi Untuk Penghitungan Koefisien Aliran Daerah Sungai (DAS) Ciliwung. Pusat Teknologi Lingkungan, BPPT, 182-190.
- Ismuandar, S. 2017. Tinjauan Hidrolika Aliran Melalui Tikungan Sungai Dengan HEC-RAS. Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 32- 33.
- Kamiana, M, I. 2010. Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. 2019. Bimbingan Teknis Perhitungan Debit Banjir Pada Keterbatasan Data Curah Hujan Satelit. Palembang. Balai Bendungan.
- Kodoatie R. J. dan Syarief R. 2006. Pengelolaan Bencana Terpadu. Andy, Yogyakarta.
- Kodoatie R. J. dan Sugiyanto. 2001. Banjir. Pustaka Pelajar, Semarang.
- Loebis J, dan Suwarno, B S. 1993. Hidrologi Sungai. Erlangga. Jakarta.
- Mulyanto, H, R . 2007. Sungai. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi. 2017. Modul Sistem Informasi Banjir Pelatihan Pengendalian Banjir

- Soemarto, C, D. 1999. Hidrologi Teknik. Jakarta: Erlangga.
- Sosrodarsono, Suyono, (1985). Hidrologi untuk Pengairan, PT.Pradnya Paramitha, Jakarta.
- Sri, Harto, B, R. 1993. Analisis Hidrologi. Jakarta: PT.Gramedia Pustaka Ut.
- Soemarto, C, D. 1995. Hidrologi Teknik. Surabaya: Usaha Nasional.
- Triatmodajo, B, T. 2010. Hidrologi Terapan. Yogyakarta: Beta Offset
- Undang-Undang Republik Indonesia No. 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana.