

# KAJIAN EFEKTIVITAS TINGGI TANGGUL BANJIR DI DESA SIMBEL KECAMATAN KAKAS BARAT KABUPATEN MINAHASA

Meivi Mareike Lomo

Alex Binilang, Eveline M. Wuisan

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: [mmeivilomo@gmail.com](mailto:mmeivilomo@gmail.com)

## ABSTRAK

Pembangunan tanggul banjir di Desa Simbel Kecamatan Kakas Barat Kabupaten Minahasa, sebagai upaya masyarakat menanggulangi banjir yang terjadi. Efektivitas tinggi tanggul dihitung berdasarkan analisis debit banjir dengan menggunakan Metode Rasional berdasarkan data-data yang didapat dari studi lapangan dan studi kepustakaan. Data-data yang diperoleh berupa data curah hujan, data debit, dan tinggi tanggul. Untuk menentukan tipe distribusi mana yang akan dipilih, maka dilakukan uji kecocokan dengan metode Smirnov-Kolmogorov. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa semua tipe sebaran (Gumbel, Normal, Log Normal, Log Pearson III) memenuhi syarat untuk uji Smirnov-Kolmogorov karena memiliki nilai  $D_{max}$  (selisih peluang terbesar antara distribusi data dan teoritisnya) lebih kecil dari nilai kritis ( $D_0 = 0,409$ ). Namun dari ke empat sebaran yang ada tipe distribusi Log Pearson III yang memiliki  $D_{max}$  paling besar yaitu 0,189, sehingga curah hujan rencana yang digunakan adalah curah hujan rencana yang mengikuti distribusi Log Pearson III. Curah hujan rencana untuk berbagai periode ulang menurut Log Pearson III sebagai berikut : periode 1 tahun sebesar 168,792 mm, periode ulang 2 tahun sebesar 269,060 mm, periode ulang 5 tahun sebesar 335,768 mm, periode ulang 10 tahun sebesar 376,066 mm, periode ulang 50 tahun sebesar 457,132 mm, periode ulang 100 tahun sebesar 489,013 mm.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa debit puncak banjir rencana diperoleh untuk kala ulang 1 tahun sebesar 9,262 m<sup>3</sup>/det, untuk kala ulang 2 tahun sebesar 14764 m<sup>3</sup>/det, untuk kala ulang 5 tahun sebesar 18,424 m<sup>3</sup>/det, untuk kala ulang 10 tahun sebesar 20,635 m<sup>3</sup>/det, untuk kala untuk kala ulang 50 tahun sebesar 25,084 m<sup>3</sup>/det, untuk kala ulang 100 tahun sebesar 26,833 m<sup>3</sup>/det. Sedangkan berdasarkan Rumus Manning, Strickler dan Chezy untuk mencari debit yang aman bagi tanggul sebesar 23,823 m<sup>3</sup>/det, Dari hasil perhitungan debit puncak banjir rencana dapat dilihat bahwa ketinggian tanggul banjir masih efektif mengatasi banjir untuk kala ulang 20 tahun yaitu 22,777 m<sup>3</sup>/det dengan tinggi jagaan hanya 1 m.

**Kata kunci :** Curah Hujan, Debit Banjir, Tinggi Tanggul, Metode Rasional, Desa Simbel.

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Genangan yang terjadi di Desa Simbel Kecamatan Kakas Barat Kabupaten Minahasa merupakan suatu yang patut menjadi perhatian Pemerintah dan Masyarakat sekitar.

Menurut informasi masyarakat sekitar, ketika terjadi hujan lebat, air akan naik dan melewati tanggul menuju daerah pemukiman. Setelah hujan lebat, ketinggian genangan air bisa mencapai hingga 40-50 cm. Akibat banjir yang terjadi di Desa Simbel, maka pemerintah setempat telah melakukan pembangun tanggul banjir tahap satu yang ternyata masih belum dapat mengatasi genangan yang terjadi.

Pembangunan tahap kedua telah dilakukan dengan meninggikan tanggul yang ada untuk

mengamankan daerah pemukiman. Berdasarkan informasi tersebut maka perlu dilakukan penelitian untuk mengkaji efektivitas tinggi tanggul banjir setempat.

### Rumusan Masalah

Permasalahan pokok yang dilihat dari latar belakang di atas adalah adanya genangan air yang terjadi akibat banjir di Desa Simbel.

### Pembatasan Masalah

Penelitian ini memberikan batasan masalah terhadap hal-hal sebagai berikut :

- Debit banjir dihitung berdasarkan kala ulang dengan menggunakan data curah hujan harian minimal 10 tahun.
- Struktur tanggul tidak diperhitungkan.

### **Tujuan Penelitian.**

Tujuan penulisan ini adalah untuk mengkaji efektivitas tinggi tanggul banjir yang ada di Desa Simbel.

### **Manfaat Penulisan**

Memberikan informasi bagi mahasiswa S1 yang akan menyelesaikan tugas akhir tentang Efektivitas Tinggi Tanggul dan sebagai bahan pertimbangan bagi pihak terkait dalam upaya pembangunan Tanggul Banjir yang aman.

## **LANDASAN TEORI**

### **Pengertian Umum Sungai**

Sungai merupakan jaringan alur-alur pada permukaan bumi yang terbentuk secara alamiah, mulai dari bentuk kecil di bagian hulu sampai besar di bagian hilir.

### **Morfologi daerah aliran sungai**

Morfologi daerah aliran sungai adalah istilah yang digunakan untuk menyatakan keadaan jaringan alur sungai secara kuantitatif.

### **Analisis Data Outlier**

Data outlier adalah data yang secara statistis menyimpang jauh dari kumpulan datanya. Penyimpangan data ini antara lain diakibatkan oleh kesalahan pembaca ataupun pencatatan. Uji outlier berfungsi untuk menilai apakah ada data debit aliran maksimum yang ada terlampaui menyimpang jauh dari kumpulan datanya

### **Curah Hujan Rencana**

#### ***Distribusi Curah Hujan***

Distribusi hujan adalah berbeda-beda sesuai dengan jangka waktu yang ditinjau yakni curah hujan tahunan (jumlah curah hujan dalam setahun), curah hujan bulanan (curah hujan dalam sebulan), curah hujan harian (jumlah curah hujan 24 jam), curah hujan perjam.

### **Parameter Statistik**

Dalam analisis statistik data, terdapat parameter-parameter yang akan membantu dalam menentukan jenis sebaran yang tepat dalam menghitung besarnya hujan rencana. Analisis Parameter Statistik yang digunakan dalam analisis data hidrologi yaitu : central tendency (*mean*), simpangan baku (*standar deviasi*), koefisien variasi, kemencengan (*skewness*) dan koefisien puncak (*kurtosis*).

### ***Persamaan Distribusi***

Kebenaran dari kesimpulan yang dibuat dari analisis data hidrologi sebenarnya tidak dapat dipastikan benar secara absolute, karena kesimpulan analisis hidrologi umumnya dibuat berdasarkan data-data sampel dari populasi. Oleh karena itu pengaplikasian persamaan distribusi untuk menentukan peluang sangat diperlukan dalam analisis hidrologi. Salah satu contoh adalah analisis hidrologi dalam menghitung banjir rencana.

Persamaan Gumbel

$$X_{TR} = \bar{X} + S \times K$$

Persamaan Normal

$$X_{TR} = \bar{X} + K_T \times S$$

Persamaan Log Normal

$$\overline{\log X} = \log X_{TR} + K_T \times S_{\log}$$

Persamaan Log Pearson III

$$\log X = \log X_{TR} + K_T \times S_{\log}$$

### ***Pemilihan Tipe Distribusi***

Masing-masing tipe distribusi memiliki sifat-sifat yang khusus sehingga setiap tiap data hidrologi harus diuji kesesuaiannya dengan sifat masing-masing tipe distribusi tersebut. Sebagai perkiraan awal, tipe distribusi yang sesuai dapat diketahui berdasarkan parameter statistik. Hal ini dilakukan dengan melakukan tinjauan terhadap syarat batas parameter statistik tipe distribusi dengan parameter statistik data pengamatan.

### ***Testing Of Goodness of Fit***

Pengujian Smirnov-Kolmogorov dilakukan dengan melihat penyimpangan peluang terbesar antara data pengamatan dengan data teoritis. Perhitungan selisih dilakukan secara grafis untuk tiap tipe distribusi. Dengan selisih tersebut dapat mewakili distribusi data pengamatan berdasarkan syarat-syarat Uji Smirnov-Kolmogorov.

### **Metode Rasional**

Metode Rasional merupakan rumus yang tertua dan yang terkenal di antara rumus-rumus empiris. Metode Rasional dapat digunakan untuk menghitung debit puncak sungai atau saluran namun dengan daerah pengaliran yang terbatas. Menurut Ponce (1989) dalam Bambang T (2008), Metode Rasional dapat digunakan untuk daerah pengaliran < 2,5 km<sup>2</sup>.

Menurut standar PU luas DAS < 5000 ha. Dengan demikian, untuk luas DAS di luar batas tersebut, koefisien limpasan (C) bisa dipecah-

pecah sesuai tata guna lahan dan luas yang bersangkutan.

Untuk memperkirakan besarnya air larian puncak (*peak runoff*,  $Q_p$ ) metode rasional (*U.S Soil Conversation Service*, 1973) adalah salah satu metode teknik yang dianggap baik. Metode ini merupakan salah satu metode yang dikategorikan praktis dalam memperkirakan besarnya  $Q_p$  untuk merancang bangunan pencegah banjir, erosi dan sedimen. Analisis debit puncak dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Q_p = 0,278 C \cdot I \cdot A \text{ (satuan A dalam ha)}$$

$$Q_p = 0,00278 C \cdot I \cdot A \text{ (satuan A dalam km}^2\text{)}$$

### Koefisien Pengaliran (C)

Koefisien aliran permukaan (C) didefinisikan sebagai laju puncak aliran permukaan terhadap intensitas hujan. Faktor utama yang mempengaruhi nilai C adalah laju infiltrasi tanah, tanaman penutup lahan, dan intensitas hujan.

Menurut Suripin (2003), untuk DAS dengan tata guna lahan yang tidak homogen nilai debit puncak ( $Q_p$ ) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_P = 0,278I \sum C_i A_i$$

### Intensitas Curah Hujan

Intensitas hujan adalah kedalaman air hujan atau tinggi persatuan waktu. Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan berlangsung, intensitasnya cenderung makin rendah dan makin besar periode ulangnya, makin tinggi pula intensitasnya. Apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia, yang ada hanya harian, maka intensitas hujan dapat dihitung dengan rumus Mononobe. Dengan persamaan sebagai berikut:

$$I = \frac{R^{24}}{24} \cdot \left(\frac{24}{t_c}\right)^{2/3}$$

### Waktu Konsentrasi ( $t_c$ )

Waktu konsentrasi  $t_c$  (*time of concentration*) adalah waktu perjalanan yang diperlukan oleh air dari tempat yang paling jauh (hulu DAS) sampai ke titik pengamatan aliran air (*outlet*).

Untuk menghitung waktu konsentrasi, rumus yang digunakan metode *Kirpich* (1940) dengan rumus :

$$t_c = 0,0195 \left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0,77}$$

### Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana pada tiap profil sungai merupakan data yang penting untuk perencanaan perbaikan dan pengaturan sungai. Debit banjir rencana pada setiap profil sungai ditetapkan, setelah diadakan perhitungan statistik dari data yang tercatat disesuaikan dengan tingkat pengamanan banjir yang diinginkan.

Untuk menentukan debit banjir di suatu sungai, dapat diperoleh berdasarkan data-data pengukuran debit maupun data rekaman AWLR (*automatic water level recorder*).

### Uji Kecocokan Distribusi

Dalam menentukan kecocokan distribusi data dengan distribusi teoritik diperlukan pengujian secara statistic. Ada dua cara pengujian yang umum digunakan yaitu :

#### Uji Chi Kuadrat (*Chi-Square test*)

Uji kecocokan Chi Kuadrat merupakan uji kecocokan dengan menggunakan nilai  $X^2$  yang dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$X^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(O_f - E_f)^2}{E_f}$$

#### Uji Smirnov Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov Kolmogorov, sering disebut uji kecocokan non parametric (*non parametric test*). Karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Pengujian Smirnov-Kolmogorov dilakukan dengan cara menggambarkan distribusi probabilitas teoritis di kertas probabilitas sesuai denhgan distribusi probabilitas teoritisnya, kemudian dicari perbedaan maksimum antara distribusi empiris dan teoritisnya.

### Pengukuran Kecepatan

Pengukuran kecepatan air dapat dilakukan secara langsung dengan menggunakan pelampung atau secara tidak langsung yang biasanya menggunakan *current meter*.

#### 1. Pelampung

Pengukuran kecepatan arus secara langsung dapat dilakukan dengan menggunakan pelampung, yaitu dengan mengukur selang waktu yang diperlukan oleh pelampung untuk menempuh suatu jarak tertentu. Biasanya cara ini dilakukan pada waktu banjir di mana pemakaian *current meter* sulit dilakukan.

Ada tiga macam pelampung, yaitu pelampung permukaan, pelampung dengan kaleng dan

pelampung batang. Pelampung tipe pertama mengukur kecepatan aliran pada permukaan, sedangkan tipe kedua dan ketiga untuk mengukur kecepatan rerata pada vertikal.

### Aliran Melalui Penampang Sungai

#### 1. Rumus Chezy

Seperti yang telah diketahui, bahwa perhitungan untuk aliran melalui saluran terbuka hanya dapat dilakukan menggunakan rumus-rumus empiris, karena adanya banyak variabel yang berubah-ubah. Untuk itu berikut ini disampaikan rumus-rumus empiris yang banyak digunakan untuk merencanakan suatu saluran terbuka.

$$v = C \times \sqrt{RS}$$

#### 2. Rumus Manning

Rumus Manning yang paling terkenal dan paling banyak digunakan karena mudah pemakaiannya.

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

#### 3. Rumus Strickler

Rumus Strickler merupakan hubungan antara nilai koefisien n dari rumus Manning dan Ganguillet-Kutter sebagai fungsi dari dimensi material yang membentuk dinding saluran. Untuk permukaan saluran dengan material yang tidak koheren, koefisien strickler dengan rumus sebagai berikut :

$$v = k \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

## Tanggul

### Perencanaan Tanggul

Tanggul disepanjang sungai adalah salah satu bangunan yang paling utama dan paling penting dalam usaha melindungi kehidupan dan harta benda masyarakat terhadap genangan-genangan yang disebabkan oleh banjir dan badai (gelombang pasang).

### Lapisan Pelindung Tebing (Revetment)

Perkuatan lereng adalah bangunan yang ditempatkan pada permukaan suatu lereng guna melindungi suatu teling alur sungai atau permukaan lereng tanggul dan secara keseluruhan berperan meningkatkan stabilitas alur sungai atau tubuh tanggul yang dilindunginya.

### Stabilitas Tanggul

a. Berbagai penyebab kerusakan tubuh tanggul.

Pada umumnya penyebab kerusakan tubuh tanggul adalah sebagai berikut :

1. Terbentuknya bidang gelincir yang merusak akibat kemiringan lereng tanggul terlalu curam
  2. Terjadinya keruntuhan lereng tanggul akibat kejenuhan air dalam tubuh tanggul yang disebabkan oleh rembesan air pada saat banjir atau pada saat terjadinya hujan yang terus menerus
  3. Terjadinya kebocoran-kebocoran pada pondasi tanggul
  4. Tergerusnya lereng depan tanggul oleh arus sungai
  5. Terjadinya limpasan pada mercu tanggul
  6. Terjadinya pergeseran pondasi akibat gempa
- b. Stabilitas Lereng Tanggul
- Kekuatan geser dan kohesi bekerja di antara partikel-partikel, karena adanya gaya gravitasi. Maka stabilitas lereng tanggul dapat dihitung berdasarkan konsep bidang gelincir lingkaran dengan formula.

### Perlindungan Tanggul Banjir

Tanggul banjir adalah penghalang yang didesain untuk menahan air banjir di palung sungai untuk melindungi daerah sekitarnya.

#### Pencegahan Kebocoran

1. Berbagai macam kebocoran  
Timbulnya kebocoran pada tanggul disebabkan adanya aliran air rembesan melalui tubuh tanggul atau melalui lapisan pondasi dari kaki depan ke arah kaki belakang pada saat permukaan air di dalam sungai sedang tinggi.
2. Kebocoran pada tubuh tanggul  
Kebocoran pada tubuh tanggul umumnya berarti munculnya aliran air pada lereng belakang tanggul, akibat adanya infiltrasi air dalam tubuh tanggul di saat permukaan air sungai meningkat. Karenanya haruslah dilakukan usaha-usaha agar infiltrasi air hujan ke dalam tubuh tanggul dapat dikurangi, yaitu dengan memperbaiki drainase lereng tanggul dengan pelindung lereng dan parit-parit, agar air hujan yang turun di atas tubuh tanggul segera keluar menjauhi tanggul sebelum sempat meresap ke dalam tubuh tanggul tersebut.
3. Pencegahan bocoran pada pondasi tanggul.
  1. Metode dinding sekat
  2. Metode pelebaran dasar tanggul
  3. Metode alas kedap air

## METODOLOGI PENELITIAN

### Lokasi Penelitian

Kajian efektivitas tinggi tanggul banjir dilakukan di Desa Simbel Kecamatan Kakas Barat Kabupaten Minahasa.

### Gambaran Umum Lokasi Penelitian

#### Geografis

Berdasarkan letak Geografis Kecamatan Kakas Barat terletak pada  $0^{\circ} 13' LU - 1^{\circ} 16' LU$  dan  $124^{\circ} 51' BT - 125^{\circ} 05' BT$  dengan batas-batas sebagai berikut :

- ✚ Sebelah Utara : Kecamatan Remboken dan Danau Tondano
- ✚ Sebelah Timur : Laut Maluku dan Kecamatan Kakas Barat
- ✚ Sebelah Barat : Kecamatan Langowan Timur dan Kecamatan Tompaso
- ✚ Sebelah Selatan : Kecamatan Langowan Selatan

#### Topografi dan Morfologi

Topografi wilayah Kabupaten Minahasa sebagian besar memiliki topografi relief datar sampai berombak dan sebagian lainnya bergelombang sampai curam. Menurut buku Minahasa Dalam Angka tahun 2013, dari 194 desa yang ada di Kabupaten Minahasa, terdiri atas 19 Kecamatan dan 43 Kelurahan.

#### Geologi

Desa simbel umumnya terdiri dari Tufa Gelas, merupakan batuan piroklastik yang disusun oleh material hasil gunung api yang banyak mengandung debu vulkanik dan mineral gelas, dengan warna putih kekuningan, abu-abu dan kuning kecoklatan. Alluvium (dari bahasa Latin, *alluvius*) adalah sejenis tanah liat, halus dan dapat menampung air hujan yang tergenang.

#### Hidrologi

Sebagian besar kondisi hidrologi dipengaruhi juga oleh :

- a. Air permukaan
- b. Air tanah
- c. Sumber daya mineral / bahan galian
- d. Bencana alam

Keadaan hidrologi di wilayah penelitian dapat ditinjau dari beberapa hal antara lain curah hujan dan keadaan sungai.

### Metode Penelitian

- a. Studi Kepustakaan
  - Mencari referensi yang berhubungan dengan materi penjelasan.

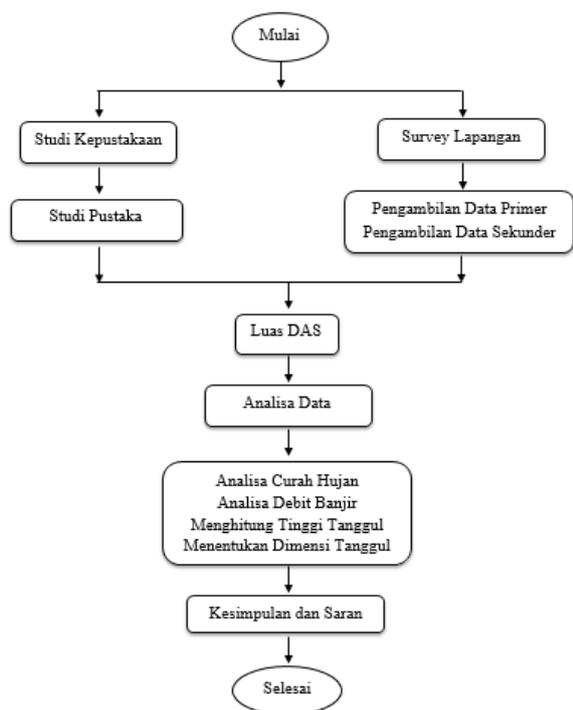
- Mencari referensi dari penelitian-penelitian terdahulu.
- b. Studi Lapangan
  - Metode yang digunakan dalam penelitian ini diawali dengan :
    - Melakukan survey lapangan misalnya meninjau lokasi penelitian, pengukuran tinggi muka air, pengukuran dimensi tanggul dan pengukuran kecepatan aliran air.
    - Mengumpulkan data-data primer yang diperoleh langsung dari lapangan meliputi:
      - a. Topografi sungai dan morfologi DAS
      - b. Parameter hidrolis sungai
      - c. Titik-titik/lokasi-lokasi yang mengalami genangan
    - Mengumpulkan data-data sekunder yang diperoleh langsung dari instansi terkait seperti BWS, BMKG, BPDAS Tondano dan lain-lain, meliputi data :
      - a. Curah hujan (jumlah, intensitas dan hari hujan)
      - b. Luas daerah tangkapan air (DTA)
      - c. Peta lokasi
  - c. Analisa data meliputi :
    - a. Analisa curah hujan
    - b. Analisa debit banjir
    - c. Menghitung tinggi tanggul
    - d. Menghitung dimensi tanggul

### Prosedur Penelitian

Analisis data

- ❖ Analisis permasalahan yang terjadi serta alternatif penanggulangannya. Setelah dilakukan pengamatan di lapangan dan mendapati permasalahan-permasalahan apa yang menyebabkan permasalahan-permasalahan itu ada, maka kita dapat menetapkan alternatif-alternatif apa saja yang dapat kita ambil untuk menanggulangi permasalahan yang terjadi di daerah penelitian.
- ❖ Analisis dan Pembahasan
  1. Analisis curah hujan  
Analisis ini dilakukan untuk mendapatkan curah hujan rencana.
  2. Analisis debit banjir  
Analisis ini dilakukan untuk mendapatkan debit banjir rencana dengan berbagai periode kala ulang.
  3. Kajian efektivitas tinggi tanggul  
Kajian ini dilakukan untuk mendapatkan tinggi tanggul yang aman.

**Bagan Alir**



Gambar 1. Bagan Alir

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Analisis Curah Hujan rencana**

Data curah hujan harian maksimum yang digunakan dalam analisis ini, bersumber dari periode pencatatan 2003 / 2012. Dipilih pos hujan yang berada di sekitar lokasi penelitian Desa Simbel, yaitu Stasiun Noongan dan Stasiun Wasian.

Tabel 1. Curah Hujan Maksimum Tahunan

No.	Tahun	Data Curah Hujan Harian Maksimum (mm)	
		Sta. Noongan	Sta. Wasian
1.	2003	425	104
2.	2004	358,5	128
3.	2005	389	126
4.	2006	366,2	146
5.	2007	372,2	126
6.	2008	287,9	87
7.	2009	369,4	342
8.	2010	211,7	391
9.	2011	405,2	346
10.	2012	319,5	436
Jumlah		3504,6	2232

**Uji Data Outlier**

Pengujian data outlier dimaksudkan untuk menganalisis data curah hujan jika ada data yang outlier.

a. Stasiun Noongan

Tabel 2. Analisis Data Outlier Stasiun Noongan

No.	Tahun	Rmaks (mm)	Log Xi	Log Xi - Log X	(Log Xi - Log X) <sup>2</sup>	(Log Xi - Log X) <sup>3</sup>
1.	2003	425	2,6284	0,0912	0,0083	0,0001
2.	2004	358,5	2,5545	-0,0173	0,0003	0,0000
3.	2005	389	2,5899	0,0528	0,0028	0,0001
4.	2006	366,2	2,5637	0,0265	0,0007	0,0000
5.	2007	372,2	2,5708	-0,0336	0,0011	0,0000
6.	2008	287,9	2,4592	-0,0780	0,0061	-0,0003
7.	2009	369,4	2,5675	0,0303	0,0009	0,0000
8.	2010	211,7	2,3257	-0,2113	0,0447	-0,0095
9.	2011	405,2	2,6077	0,0705	0,0050	0,0004
10.	2012	319,5	2,5045	-0,0327	0,0011	0,0000
Jumlah		3504,6	25,3719	0,0000	0,0710	-0,0086
Log X			2,5372			

Dari analisis didapat  $CSlog < -0,4$  jadi dilakukan uji outlier rendah, koreksi data kemudian uji outlier tinggi, koreksi data.

- Uji outlier rendah untuk  $n = 10$ ,  $Kn = 2,385$   
 $Log Xh = Log X - Kn$ .  $Slog = 2,5372 - (2,385 \times 0,0888) = 2,325$   
 $XI = 211,348$  mm

Data curah hujan terendah ada yang dalam seri data  $Xi = 211,7$  mm sedangkan syarat terendah untuk uji outlier adalah  $Xh = 211,348$  mm dari hasil ini diperoleh  $Xi > Xh$  jadi data curah hujan untuk Stasiun Noongan tidak terdapat data outlier rendah.

- Uji outlier tinggi untuk  $n = 10$ ,  $Kn = 2,385$   
 $Log Xh = Log X + Kn$ .  $Slog = 2,5372 + (2,385 \times 0,0888) = 2,749$   
 $Xh = 561,047$  mm

Data curah hujan tertinggi ada yang dalam seri data  $Xi = 425$  mm sedangkan syarat tertinggi untuk uji outlier tinggi adalah  $Xh = 561,047$  mm dari hasil ini diperoleh  $Xi < Xh$  jadi data curah hujan untuk Stasiun Noongan tidak terdapat data outlier tinggi.

Pengujian data outlier dimaksudkan untuk menganalisis data curah hujan jika ada data yang outlier.

b. Stasiun Wasian

Tabel 3. Analisis Data Outlier Stasiun Wasian

No.	Tahun	Rmaks (mm)	Log Xi	Log Xi - Log X	(Log Xi - Log X) <sup>2</sup>	(Log Xi - Log X) <sup>3</sup>
1.	2003	104	2,0170	-0,2563	0,0657	-0,0168
2.	2004	128	2,1072	-0,1662	0,0276	-0,0046
3.	2005	126	2,1004	-0,1730	0,0299	-0,0052
4.	2006	146	2,1644	-0,1090	0,0119	-0,0013
5.	2007	126	2,1004	-0,1730	0,0299	-0,0052
6.	2008	87	1,9395	-0,3338	0,1115	-0,0372
7.	2009	342	2,5340	0,2607	0,0679	0,0177
8.	2010	391	2,5922	0,3188	0,1016	0,0324
9.	2011	346	2,5391	0,2657	0,0706	0,0188
10.	2012	436	2,6395	0,3661	0,1340	0,0491
Jumlah		2232	22,7336	0,0000	0,6507	0,0477
Log X			2,2754			

Dari analisis didapat  $-0,4 < CSlog < 0,4$  jadi dilakukan uji outlier tinggi dan rendah baru dikoreksi lagi.

- Uji outlier tinggi untuk  $n = 10, Kn = 2,385$   
 $Log X_h = \overline{Log X} + Kn. Slog = 2,27336 + (2,385 \times 0,268) = 2,912$   
 $X_h = 817,598 \text{ mm}$

Data curah hujan tertinggi ada yang dalam seri data  $X_i = 436 \text{ mm}$  sedangkan syarat tertinggi untuk uji outlier tinggi adalah  $X_h = 817,598 \text{ mm}$  dari hasil ini diperoleh  $X_i < X_h$  jadi data curah hujan untuk Stasiun Noongan tidak terdapat data outlier tinggi.

- Uji outlier rendah untuk  $n = 10, Kn = 2,385$   
 $Log X_h = \overline{Log X} - Kn. Slog = 2,27336 - (2,385 \times 0,268) = 1,634$   
 $X_i = 43,070 \text{ mm}$

Data curah hujan terendah ada yang dalam seri data  $X_i = 87 \text{ mm}$  sedangkan syarat terendah untuk uji outlier adalah  $X_h = 43,070 \text{ mm}$  dari hasil ini diperoleh  $X_i > X_h$  jadi data curah hujan untuk Stasiun Noongan tidak terdapat data outlier rendah.

**Curah Hujan Rata-Rata**

Curah hujan rata-rata adalah data-data kedalaman hujan dari satu atau banyak stasiun pengukuran hujan yang dirata-ratakan dengan menggunakan beberapa metode yang dianggap mewakili.

Untuk mendapatkan curah hujan rata-rata digunakan beberapa metode, dalam skripsi ini digunakan metode Poligon Thiessen karena memberikan koreksi terhadap kedalaman hujan sebagai fungsi luas daerah yang mewakili.

Tabel 4. Curah Hujan Harian Maksimum Terkoreksi

No.	Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum (mm)	
		Sta. Noongan	Sta. Wasian
1.	2003	425	104
2.	2004	358,5	128
3.	2005	389	126
4.	2006	366,2	146
5.	2007	372,2	126
6.	2008	287,9	87
7.	2009	369,4	342
8.	2010	211,7	391
9.	2011	405,2	346
10.	2012	319,5	436
Jumlah		3504,6	2232

**Curah Hujan Rata-Rata**

Dari hasil analisis peta Topografi berdasarkan Global Mapper diperoleh :

A1 = Luas daerah yang mewakili Stasiun

Noongan = 3,098 km<sup>2</sup>

A2 = Luas daerah yang mewakili Stasiun

Wasian = 4,286 km<sup>2</sup>

Dari data hujan harian maksimum untuk tahun 2003; R1 = 425 mm

R2 = 104 mm

$$R = \frac{(3,098 \times 425) + (4,286 \times 104)}{(3,098 + 4,286)} = 238,677$$

Tabel 5. Curah Hujan Rata-Rata Dengan Cara Poligon Thiessen

No	Tahun	Data Curah Hujan		Curah Hujan Rata-Rata (mm)
		harian Maksimum (mm)		
		Sta. Noongan	Sta. Wasian	
1	2003	425	104	238,677
2	2004	358,5	128	224,708
3	2005	389	126	236,343
4	2006	366,2	146	238,386
5	2007	372,2	126	229,295
6	2008	287,9	87	171,289
7	2009	369,4	342	353,496
8	2010	211,7	391	315,774
9	2011	405,2	346	370,838
10	2012	319,5	436	387,122

**Analisis Distribusi Probabilitas Curah Hujan**

Ada beberapa metode distribusi probabilitas yang dapat digunakan untuk menghitung hujan rencana atau debit rencana, seperti Gumbel, Normal, Log Normal, Log Pearson Tipe III. Dalam penentuan jenis distribusi yang sesuai dengan data, maka harus dilakukan pengujian dengan menggunakan parameter statistik seperti di bawah ini :

Tabel 6. Analisis Parameter Statistik untuk Tipe Distribusi Normal dan Gumbel

No	Tahun	X	(X - X̄)	(X - X̄)²	(X - X̄)³	(X - X̄)⁴
1	2003	238,677	-47,915	2296,437	-110,000	5,270
2	2004	224,708	-61,885	3829,652	-245,600	16,300
3	2005	236,343	-50,250	2525,063	-127,000	6,750
4	2006	238,386	-48,207	2321,405	-112,000	5,400
5	2007	229,295	-57,298	3283,264	-170,000	7,200
6	2008	171,289	-115,304	13294,122	-1520,000	17,300
7	2009	353,496	26,391	696,488	18,300	0,480
8	2010	315,774	18,669	348,452	6,500	0,120
9	2011	370,838	73,733	5436,533	400,000	29,700
10	2012	387,122	90,017	8103,085	729,000	65,600
Jumlah		2765,927		49853,468	1113679,213	48751030,7
X̄		276,593				

Tabel 7. Analisis Parameter Statistik untuk Tipe Distribusi Log Normal dan Log Pearson III

No	Tahun	X	Log x	(Log x - log x̄)	(Log x - log x̄)²	(Log x - log x̄)³	(Log x - log x̄)⁴
1	2003	238,677	2,377	-0,0901	0,0081	-0,0007	0,000063
2	2004	224,708	2,351	-0,1161	0,0134	-0,0016	0,000189
3	2005	236,343	2,373	-0,0941	0,0088	-0,0011	0,000097
4	2006	238,386	2,377	-0,0881	0,0078	-0,0010	0,000087
5	2007	229,295	2,360	-0,0721	0,0052	-0,0007	0,000057
6	2008	171,289	2,233	-0,1991	0,0396	-0,0079	0,001596
7	2009	353,496	2,548	0,1181	0,0139	0,0017	0,000201
8	2010	315,774	2,501	0,0711	0,0051	0,0006	0,000081
9	2011	370,838	2,568	0,1381	0,0191	0,0026	0,000366
10	2012	387,122	2,589	0,1591	0,0253	0,0039	0,000543
Jumlah		2765,927	24,279		0,13274	0,000932	0,0007845
Log X̄			2,4376				

**Pemilihan Tipe Distribusi Melalui Penggambaran pada Kertas Probabilitas**

Pemilihan tipe distribusi yang sesuai dengan distribusi data pengamatan dilakukan dengan membuat garis kurva frekuensi berdasarkan persamaan matematis masing-masing tipe distribusi.

**Fungsi sebaran data dan probabilitasnya**

Penggambaran data pengamatan dilakukan pada kertas peluang yang sesuai untuk tipe distribusi. Data diurutkan dari yang terbesar sampai yang terkecil. Peluang untuk masing-masing dan pengamatan dihitung dengan metode Weibull.

Tabel 8. Perhitungan Peluang Terhadap Data Pengamatan

No	Data	P = m / (n+1)	T = 1/P
(m)	Pengamatan (mm)	(%)	(tahun)
1	171,289	9,091	11
2	224,708	18,182	6
3	229,295	27,273	3,67
4	236,343	36,364	2,75
5	238,386	45,455	2,20
6	238,677	54,545	1,83
7	315,774	63,636	1,57
8	353,496	72,727	1,38
9	370,838	81,818	1,22
10	387,122	90,909	1,10

**Fungsi sebaran teoritik**

Penggambaran sebaran teoritik dilakukan dengan menghubungkan nilai-nilai teoritis yang diperoleh dari persamaan matematis tipe distribusi. Hasil perhitungan nilai teoritis untuk tipe distribusi Gumbel, Normal, Log Normal dan Log Pearson III adalah sebagai berikut.

1. Tipe Distribusi Gumbel

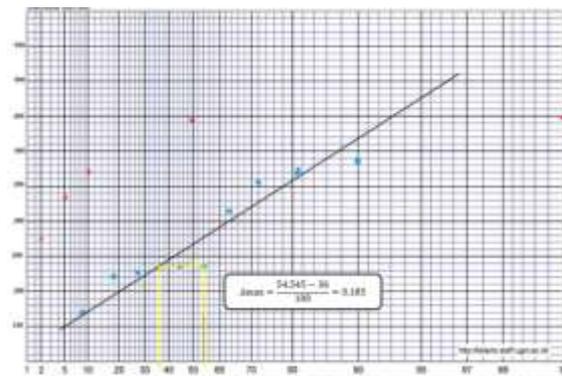
Analisis data sebagai berikut :

- $Tr = 2$  tahun
- $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Xi = \frac{2765,927}{10} = 276,593$
- $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Xi-x)^2}{n-1}} = 73,849$
- $Yt = -ln \left[ \ln \left( \frac{Tr}{Tr-1} \right) \right] = -ln \left[ \ln \left( \frac{2}{2-1} \right) \right] = 0,3665$
- $K = \frac{Yt-Yn}{Sn} = \frac{0,3665-0,4952}{0,9497} = 0$
- $X_{TR} = 276,593 + (73,849 \times 0) = 276,592$

Tabel 9. Analisis Sebaran Teoritis Distribusi Gumbel

Tr	X̄	S	Yt	Yn	Sn	K	XTR
2	276,593	73,849	0,36651	0,4952	0,9497	0,0000	276,5926706
5	276,593	73,849	1,49994	0,4952	0,8407	0,8400	338,6258306
10	276,593	73,849	2,25037	0,4952	0,8407	1,2800	371,1193906
50	276,593	73,849	3,90194	0,4952	0,9497	2,3000	446,4453706
100	276,593	73,849	4,60015	0,4952	0,9497	2,3300	448,6608406

$\Delta_{max}$  adalah selisih maksimum antara peluang empiris dan teoritis. Dengan menggunakan skala kertas probabilitas, dihitung selisih dari setiap titik sebaran data terhadap garis yang menghubungkan titik-titik sebaran teoritis. Maka  $\Delta_{max}$  untuk Distribusi Gumbel adalah 0,185.



Gambar 2. Sebaran Data dan Sebaran Teoritis Distribusi Gumbel

2. Tipe Distribusi Normal

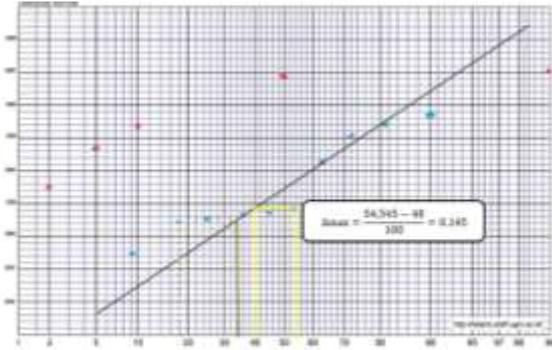
Analisis data sebagai berikut :

- $Tr = 2$  tahun
- $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Xi = \frac{2765,927}{10} = 276,593$
- $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Xi-x)^2}{n-1}} = 73,849$
- $X_{TR} = 276,593 + (0 \times 73,849) = 276,593$

Tabel 10. Analisis Sebaran Teoritis Distribusi Normal

Tr	1/Tr (%)	X̄	S	Kt	XTR
1	99	276,593	73,849	-2,33	104,5245006
2	50	276,593	73,849	0	276,5926706
5	20	276,593	73,849	0,8400	338,6258306
10	10	276,593	73,849	1,2800	371,1193906
50	2	276,593	73,849	2,3000	446,4453706
100	1	276,593	73,849	2,3300	448,6608406

$\Delta_{max}$  adalah selisih maksimum antara peluang empiris dan teoritis. Dengan menggunakan skala kertas probabilitas, dihitung selisih dari setiap titik sebaran data terhadap garis yang menghubungkan titik-titik sebaran teoritis. Maka  $\Delta_{max}$  untuk Distribusi Normal adalah 0,145.



Gambar 3. Sebaran Data dan Sebaran Teoritis Distribusi Normal

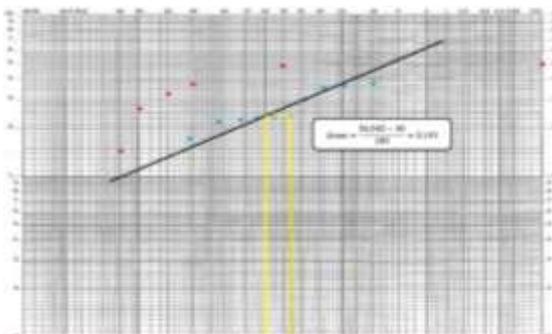
3. Tipe Distribusi Log Normal  
Analisis data sebagai berikut :

- $Tr = 2$  tahun
- $\overline{\text{Log X}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{logXi} = \frac{24,2792}{10} = 2,4279$
- $S_{\text{log}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{log Xi} - \text{log x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,121274}{10-1}} = 0,116$
- $\text{Log X}_{TR} = 2,4279 + (0 \times 0,116) = 2,4279$
- $X_{TR} = 10^{2,4279} = 267,855$

Tabel 11. Analisis Sebaran Teoritis Distribusi Log Normal

Tr	1/Tr (%)	Log X	S <sub>log</sub>	K <sub>T</sub>	Log X <sub>TR</sub>	X <sub>TR</sub>
1	99	2,4279	0,116	-2,33	2,158	143,760
2	50	2,4279	0,116	0	2,428	267,865
5	20	2,4279	0,116	0,8400	2,325	335,241
10	10	2,4279	0,116	1,2800	2,576	377,048
50	2	2,4279	0,116	2,3000	2,695	495,127
100	1	2,4279	0,116	2,3300	2,698	499,111

$\Delta_{\text{max}}$  adalah selisih maksimum antara peluang empiris dan teoritis. Dengan menggunakan skala kertas probabilitas, dihitung selisih dari setiap titik sebaran data terhadap garis yang menghubungkan titik-titik sebaran teoritis. Maka  $\Delta_{\text{max}}$  untuk Distribusi Log Normal adalah 0,145.



Gambar 4. Sebaran Data dan Sebaran Teoritis Distribusi Log Normal

4. Tipe Distribusi Log Pearson III

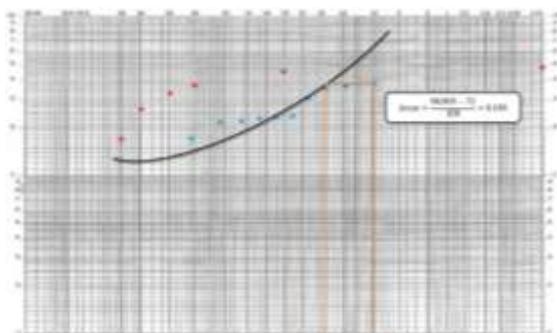
Analisis data sebagai berikut :

- $Tr = 2$  tahun
- $\overline{\text{Log X}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{logXi} = \frac{24,2792}{10} = 2,4279$
- $S_{\text{log}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{log Xi} - \text{log x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,121274}{10-1}} = 0,116$
- $Cs_{\text{log}} = \frac{n}{(n-1)(n-2)S_{\text{log}}^2} \sum_{i=1}^n (\text{Log Xi} - \text{Log X})^3 = \frac{10 \times 0,000532}{(10-1)(10-2)0,116^3} = 0,047$
- $K_T = 0,01666$  (hasil interpolasi untuk Cs = ; Tr = 2 tahun)
- $\text{Log X}_{TR} = 2,4279 + (0,01666 \times 0,116) = 2,4298$
- $X_{TR} = 10^{2,4298} = 269,060$

Tabel 12. Analisis Sebaran Teoritis Distribusi Log Pearson III

Tr	1/Tr (%)	Log X	S <sub>log</sub>	Cs <sub>log</sub>	K <sub>T</sub>	Log X <sub>TR</sub>	X <sub>TR</sub>
1	99	2,4279	0,116	0,047	-1,729	2,227	168,792
2	50	2,4279	0,116	0,047	0,017	2,430	269,060
5	20	2,4279	0,116	0,047	0,846	2,526	335,268
10	10	2,4279	0,116	0,047	1,270	2,575	376,066
20	5	2,4279	0,116	0,047	1,640	2,618	415,104
50	2,33333	2,4279	0,116	0,047	1,694	2,624	421,134
40	2,5	2,4279	0,116	0,047	1,836	2,641	437,414
50	2	2,4279	0,116	0,047	2,001	2,660	457,132
100	1	2,4279	0,116	0,047	2,251	2,689	489,013

$\Delta_{\text{max}}$  adalah selisih maksimum antara peluang empiris dan teoritis. Dengan menggunakan skala kertas probabilitas, dihitung selisih dari setiap titik sebaran data terhadap garis yang menghubungkan titik-titik sebaran teoritis. Maka  $\Delta_{\text{max}}$  untuk Distribusi Log Pearson III adalah 0,189.



Gambar 5. Analisis Sebaran Teoritis Distribusi Log Pearson III

Uji Kecocokan (*the goodness of fit test*)

Penentuan tipe distribusi yang paling sesuai dilakukan berdasarkan hasil uji kecocokan.

Dalam penulisan ini, metode yang digunakan adalah metode Smirnov-Kolmogorov.

Dalam analisis ini, diambil derajat kepercayaan sebesar 5% atau sama dengan 0,005 dengan n = 10 karena jumlah data yang ada sebanyak 10 tahun. Dengan menggunakan Tabel Smirnov-Kolmogorov : Nilai kritis ( $\Delta_{cr}$ ) maka diperoleh  $D=0,409$ .

Tabel 13. Uji Kecocokan Distribusi Data Terhadap Distribusi Teoritis

Curah Hujan	Tipe Sebaran	Selisih Peluang (D <sub>max</sub> )	Syarat Smirnov-Kolmogorov	Keterangan
Harian Maksimum Tahunan	Gumbel	0,183	$D \leq 0,409$	Memenuhi
	Normal	0,143	$D \leq 0,409$	Memenuhi
	Log Normal	0,143	$D \leq 0,409$	Memenuhi
	Log Pearson III	0,189	$D \leq 0,409$	Memenuhi

Penetapan tipe distribusi peluang

Dari hasil analisis frekuensi hujan rencana, diperoleh hujan rencana berdasarkan Log Pearson III dengan periode ulang tertentu.

Tabel 14. Hujan Rencana Berdasarkan Metode Log Pearson III Dengan Berbagai Periode Ulang

T (Tahun)	X <sub>TR</sub> (mm)
1	168,792
2	269,060
5	335,768
10	376,066
20	415,104
30	421,134
40	437,414
50	457,132
100	489,013

**Analisis Debit Banjir Rencana Menggunakan Metode Rasional**

Analisis Waktu Konsentrasi (tc)

Untuk menentukan nilai konsentrasi (tc) diperlukan data sebagai berikut :

- A = Luas *Catchment Area* = 7,384 km<sup>2</sup>
- L = Panjang sungai = 22,54 km = 22540 m
- Elevasi hulu = 725 m
- Elevasi hilir = 675 m
- H = Beda tinggi = 725 – 675 = 50 m  
= 0,05 km
- S = Kemiringan rata-rata dasar sungai  
 $= \frac{H}{0,9 L} = \frac{50}{0,9 \cdot 22540} = 0,0025m$

Untuk menghitung waktu konsentrasi, rumus yang digunakan metode *Kirpich* (1940) dengan menggunakan persamaan:

$$tc = 0,0195 \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,77}$$

$$tc = 0,0195 \left( \frac{22,54}{0,0025} \right)^{0,77}$$

$$= 21,647 \text{ jam}$$

Analisis Intensitas Curah Hujan (I)

Dari hasil analisis frekuensi hujan rencana sebelumnya diperoleh hujan rencana berdasarkan metode Log Pearson III dengan periode ulang tertentu. Dalam perhitungan intensitas curah hujan digunakan persamaan Mononobe sebagai berikut :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left( \frac{24}{tc} \right)^{2/3}$$

Untuk  $T_r = 2$  tahun dengan curah hujan rencana ( $R_{24}$ ) = 269,060 mm, maka

$$I = \frac{269,060}{24} \times \left( \frac{24}{21,647} \right)^{2/3}$$

$$I = 12,009 \text{ mm/jam}$$

Tabel 15. Intensitas Curah Hujan Berdasarkan Periode Kala Ulang

Periode Ulang (Tr)	Intensitas (mm/jam)
1	7,534
2	12,009
5	14,987
10	16,785
20	18,528
30	18,797
40	19,524
50	20,404
100	21,827

Analisis Nilai Koefisien Pengaliran

Sub Das Simbel merupakan daerah yang terdiri dari sawah. Untuk menentukan koefisien pengaliran dibagi menjadi beberapa bagian sesuai dengan tata guna lahan dan nilai koefisien pengaliran pada masing-masing tata guna lahan di tentukan dengan menggunakan tabel lampiran.

Tabel 16. Perhitungan C rata-rata Berdasarkan Tata Guna Lahan

No	Tata Guna Lahan	A (km <sup>2</sup> )	C <sub>i</sub>	A <sub>i</sub> x C <sub>i</sub>
1	Sawah	4,196	0,75	3,147
2	Ladang	0,295	0,4	0,118
3	Pemukiman	2,893	0,4	1,1572
<b>Total</b>		7,384		4,4222

Dengan menggunakan nilai intensitas hujan yang telah dihitung sebelumnya, maka debit puncak (Q<sub>p</sub>) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q_p = 0,278 I \sum C_i A_i$$

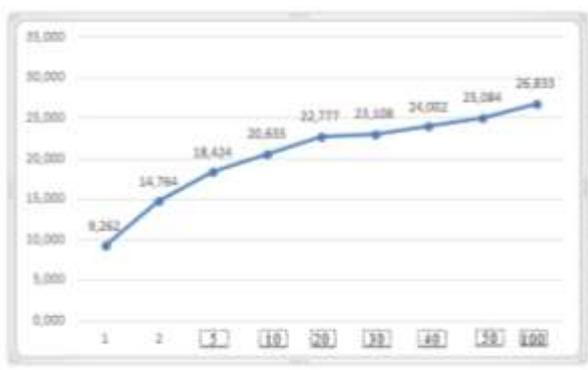
Contoh perhitungan, untuk  $T_r = 2$  tahun dengan intensitas curah hujan ( $I$ ) = 12,009 mm/jam, sebagai berikut :

$$Q_p = 0,278 I \sum C_i A_i$$

$$Q_p = 0,278 \times 12,009 \times 7,384 = 24,651 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Tabel 17. Debit Banjir Rencana Metode Rasional Berdasarkan Periode Ulang

Periode Ulang ( $T_r$ )	Debit Puncak ( $\text{m}^3/\text{detik}$ )
1	9,262
2	14,764
5	18,424
10	20,635
20	22,777
30	23,108
40	24,002
50	25,084
100	26,833



Gambar 6. Grafik Hubungan Antara Debit Banjir Rencana Metode Rasional Dengan Berbagai Periode Ulang

**Aliran Melalui Penampang Sungai**

Tinggi tanggul = 4 m  
 Lebar sungai = 4 m  
 $A = 4,6226 \text{ m}^2$  ( $h_{air} = 0,865$ )  
 $v = 0,9 - 1,2 \text{ m/det}$   
 $\Rightarrow$  diambil 1,2 m/det  
 $Q = A \times v$   
 $Q = (4,6226 + (4 \times 4)) \times 1,2$   
 $Q = 23,823 \text{ m}^3/\text{det}$

Perhitungan debit puncak dengan memakai tinggi tanggul tahap satu

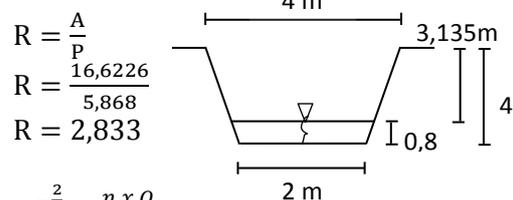
Tinggi tanggul = 3,135  
 Lebar sungai = 4 m  
 $A = 4,6226 \text{ m}^2$  ( $h_{air} = 0,865$ )  
 $V = 0,9 - 1,2 \text{ m/det}$   
 $\Rightarrow$  di ambil 1,2 m/det  
 $Q = A \times v$   
 $Q = (4,6226 + (3,135 \times 4)) \times 1,2$   
 $Q = 20,595 \text{ m}^3/\text{det}$

**Dimensi Tanggul**

$$P = B + 2h \sqrt{1 + m^2}$$

$$P = 2 + 2 \times 0,865 \sqrt{1 + 2^2}$$

$$P = 5,868$$



$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{16,6226}{5,868}$$

$$R = 2,833$$

$$AR^{\frac{2}{3}} = \frac{n \times Q}{\sqrt{S}}$$

$$AR^{\frac{2}{3}} = \frac{10 \times 23,823}{0,0025} = 95292$$

**PENUTUP**

**Kesimpulan**

Dari hasil debit puncak banjir rencana dapat dilihat bahwa ketinggian tanggul banjir masih efektif mengatasi banjir untuk kala ulang 20 tahun yaitu 22,777  $\text{m}^3/\text{det}$  dengan tinggi jagaan hanya 1 m.

**Saran**

Dari hasil pembahasan yang ada, disarankan agar dilakukan penelitian lanjutan mengenai struktur tanggul agar dapat dilakukan kajian lebih lanjut mengenai kekuatan tanggul dalam menahan debit puncak maksimum yang bisa terjadi.

**DAFTAR PUSTAKA**

Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Kayuwatu. 2013. *Data Curah Hujan Stasiun Noongan dan Stasiun Wasian Kecamatan Kakas Barat Kabupaten Minahasa*. Manado: BMKG.

Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Tondano. *Peta Lokasi dan Peta Penutupan Lahan Desa Simbel Kecamatan Kakas Barat Kabupaten Minahasa*. Manado: BPDAS

Balai Wilayah Sungai Sulawesi Utara I. 2013. *Data Curah Hujan dan Data Debit Stasiun Noongan dan Stasiun Wasian Kecamatan Kakas Barat Kabupaten Minahasa*. Manado: Balai Wilayah Sungai.

- BPS (Badan Pusat Statistik Provinsi Sulawesi Utara). 2012. *Kecamatan Minahasa Dalam Angka*. Manado: Badan Pusat Statistik.
- BPS (Badan Pusat Statistik Provinsi Sulawesi Utara). 2013. *Kecamatan Minahasa Dalam Angka*. Manado: Badan Pusat Statistik.
- Linsley Ray K. dan Joseph B. Franzini. 1985. *Teknik Sumber Daya Air Jilid 2*. Earlangga.
- Soewarno. 1991. *Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai*. Nova. Bandung.
- Sri Harto, 1993. *Analisis Hidrologi*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Subarkah, Imam., 1974. *Bangunan Air*. Idea Dharma. Bandung.
- Triatmodjo, Bambang., 2008. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset. Yogyakarta.