

## **Alternatif Perencanaan Terowongan Pengelak (*Diversion Tunnel*) Bendungan Pamukkulu**

Natalia Anga<sup>\*1</sup> Melly Lukman<sup>\*2</sup> Erni Rante Bungin<sup>\*3</sup>

<sup>\*1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar, Indonesia, [nataliaanga@icloud.com](mailto:nataliaanga@icloud.com)

<sup>\*2\*3</sup> Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesiamellylukman@yahoo.com dan [erni\\_bungin@yahoo.co.id](mailto:erni_bungin@yahoo.co.id)

Corresponding Author: [erni\\_bungin@yahoo.co.id](mailto:erni_bungin@yahoo.co.id)

### **Abstrak**

Dalam pembangunan Bendungan Pamukkulu desain awal yang digunakan dalam perencanaan terowongan pengelak yaitu bentuk tapal kuda. Namun dalam penelitian ini diajukan alternatif perencanaan dalam bentuk lingkaran. Curah hujan rata-rata daerah dihitung dengan metode Poligon Thiessen dan perhitungan analisa curah hujan rancangan dengan periode ulang 2,5,10,25 tahun menggunakan metode yaitu metode Gumbel, metode Log Normal, metode Log Pearson Type III. Dengan menggunakan uji kesesuaian distribusi Uji Smirnov-Kolmogorov dan Uji Chi-Square. Debit rancangan dianalisis dengan menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintesis Nakayasu. Berdasarkan hasil penelitian ini diperoleh debit banjir rancangan 25 tahun sebesar 351,472 m<sup>3</sup>/detik dan desain terowongan pengelak berbentuk lingkaran dengan diameter 6,4 m dengan tinggi kehilangan energi 13,328 m dan rencana tinggi mercu cofferdam +86.078.m.

**Kata kunci : Debit, Terowongan Pengelak, Gumbel, Nakayasu.**

### **Abstract**

*In the construction of the Pamukkulu Dam, the initial design used in planning the evasion tunnel was a horseshoe shape. However, in this study an alternative planning in the form of a circle is proposed. The regional average rainfall was calculated by the Thiessen Polygon method and the design rainfall analysis calculation with a return period of 2,5,10,25 years using the Gumbel method, Log Normal method, and Pearson Type III Log method. By using the distribution suitability test Smirnov-Kolmogorov Test and Chi-Square Test. The design discharge was analyzed using the Nakayasu. Synthesis Unit Hydrograph method. Based on the results of this study, the 25-year design flood discharge was 291.548 m<sup>3</sup>/second and the circular escape tunnel design was 6 m in diameter with an energy loss height of 11.821 m and the design height of the cofferdam crest was +85.571 m.*

**Keywords: Discharge, Dodge Tunnel, Gumbel, Nakayasu.**

## **PENDAHULUAN**

Bendungan merupakan suatu bangunan yang digunakan sebagai penahan aliran atau sebagai tampungan air. Bendungan merupakan sebuah bangunan penunjang yang di desain agar tahan dan dapat menahan serta menyimpan air, sehingga mampu mempertahankan fungsinya sesuai dengan keperluannya.

Bendungan Pamukkulu merupakan sebuah bendungan yang sedang dalam pembangunan, terletak di Dusun Butadidia, Desa Ko'Mara, Kecamatan Polembangkeng Utara, Kabupaten Takalar. Dalam proses

pembangunan Bendungan Pamukkulu diperlukan sebuah terowongan pengelak yang akan berfungsi sebagai tempat pengalihan aliran sungai selama proses pelaksanaan konstruksi berlangsung. Sebagai salah satu bangunan penunjang yang penting perlu dilakukan perencanaan yang maksimal agar konstruksi dapat bertahan selama bangunan pengelak masih diperlukan. Saat ini pembangunan terowongan pengelak sudah mencapai tahap pengerjaan pengecoran dan pembesian *invert*, *lining* dan *crown*, dan masih memerlukan waktu kurang lebih 3 bulan dalam proses pengalihan aliran sungai. Dalam pembangunan Bendungan Pamukkulu desain awal yang digunakan dalam perencanaan terowongan pengelak yaitu bentuk tapal kuda. Namun dalam penelitian ini diajukan alternatif perencanaan dalam bentuk lingkaran. Tipe terowongan pengelak dalam bentuk lingkaran di klaim cocok untuk menahan efek tekanan internal dan eksternal yang tinggi serta cocok untuk saluran atau terowongan air.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menghitung debit rancangan yang akan melewati terowongan pengelak di Bendungan Pamukkulu dan mengetahui desain perencanaan terowongan pengelak di Bendungan Pengelak.

Saluran pengelak dibangun pada tahap awal konstruksi pembangunan bendungan. Saluran pengelak berfungsi untuk mengalihkan aliran sungai selama proses pekerjaan berlangsung. Dalam pembangunan bendungan perlu disiapkan pengalihan sungai atau *river diversion*. *River diversion* yang sering digunakan dan direncanakan yaitu terowongan pengelak. Terowongan pengelak banyak dijumpai pada pekerjaan dewatering untuk bendungan, karena kondisi kanan kiri berbentuk bukit, sehingga untuk membuat saluran pengelak harus menggunakan terowongan yang menembus bukit.

Secara umum, analisis hidrologi merupakan bagian dari analisis awal desain struktur hidrolis. Analisis hidrologi digunakan dalam menentukan besarnya debit banjir yang direncanakan dalam rencana struktur air. Data yang digunakan untuk menentukan debit banjir yang direncanakan pada studi ini adalah data curah hujan, dan data curah hujan merupakan salah satu dari beberapa data yang dapat digunakan untuk memperkirakan debit banjir yang direncanakan.

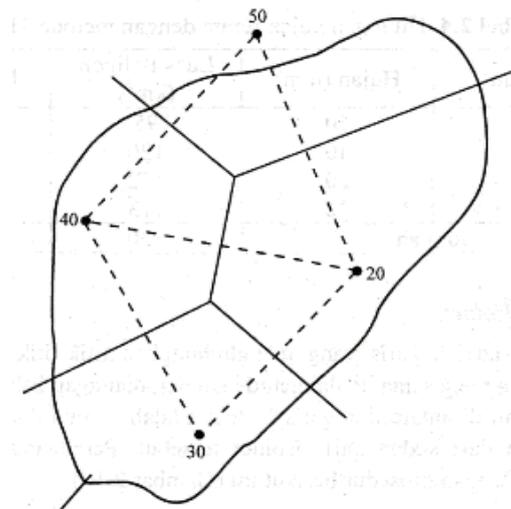
Curah hujan pada suatu daerah yang luas memiliki intensitas yang tentu berbeda-beda. Untuk menganalisis limpasan hujan dari suatu daerah atau wilayah tertentu, diperlukan data curah hujan yang jatuh didalam seluruh wilayah atau daerah tangkapan hujan tersebut. Curah hujan pada suatu daerah yang memiliki titik pengamatan curah hujan lebih dari satu, maka harus dihitung dengan nilai curah hujan rata-ratanya. Metode yang akan digunakan dalam menghitung curah hujan rata-rata, yaitu metode Poligon Thiessen.

Metode ini memasukkan faktor pengaruh daerah yang diwakili oleh stasiun penakar hujan yang disebut sebagai faktor pembobot. Besarnya faktor pembobot tergantung dari luas daerah yang diwakili oleh stasiun yang dibatasi oleh polygon-polygon yang memotong tegak lurus pada tengah-tengah garis penghubung dua stasiun. Dengan demikian setiap stasiun akan terletak didalam suatu polygon yang tertutup. Suatu polygon harus dibuat baru apabila terdapat perubahan jaringan stasiun hujan seperti penambahan ataupun pemindahan stasiun [1].

Setelah hasil curah hujan rata-rata didapatkan maka selanjutnya menentukan curah hujan maksimum untuk setiap tahun.

Analisa Frekuensi Curah Hujan, pemilihan jenis distribusi diperlukan untuk menyesuaikan dengan data curah hujan yang ada sebelum digunakan.

Setiap distribusi memiliki karakteristiknya sendiri, oleh karena itu data curah hujan harus diperiksa kelengkapannya dengan sifat statistik dari setiap distribusi. Memilih model distribusi yang salah dapat menyebabkan perkiraan kesalahan yang besar, baik yang terlalu tinggi maupun yang terlalu rendah [2]. Ada 2 metode yang digunakan dalam menghitung uji kesesuaian distribusi yaitu Chi-Square dan Smirnov-Kolmogov.



Gambar 1. Poligon Thiessen

**Pengertian Banjir Rancangan,** Debit banjir rancangan adalah debit terbesar pada sungai atau saluran alam dengan periode ulang (rata-rata) yang telah ditentukan sebelumnya dan dapat dialirkan tanpa membahayakan struktur irigasi dan stabilitas saluran air konstruksi. Berbagai jenis pekerjaan hidraulik memerlukan perhitungan hidrologi, yang merupakan bagian dari suatu perencanaan struktur seperti bendungan, jembatan, tikungan serta perencanaan pekerjaan control (pengerukan, perluasan, konstruksi pintu air, tanggul bangunan dan terowongan) [3].

**Analisa Banjir Rancangan,** Metode perhitungan banjir rancangan sangat mengandalkan pendekatan alam sebagai system penalaran yang diterapkan pada factor alam atau parameter fisis untuk menentukan model matematis sistem operasi, sedangkan sistem penalaran mendekati matematika berdasarkan persamaan diferensial dari fenomena fisik dan kondisi batasnya. Dengan menggunakan data hujan, banjir rancangan akan dihitung menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu (HSS). Metode HSS lebih tepat digunakan dalam perencanaan bangunan air karena diagram HSS memberikan gambaran mengenai debit ketika awal hujan, saat banjir dan pada saat banjir berakhir.

Penelitian sejenis yang pernah dilakukan diantaranya Firmanto, Studi Alternatif Perencanaan Terowongan Pengelak Bendungan Tugu Kabupaten Trenggalek. Dari hasil perencanaan didapatkan analisa debit banjir rancangan  $Q_{25th} = 298,16 \text{ m}^3/\text{detik}$  dengan metode Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu. Dimensi terowongan pengelak didapatkan 4 m dengan menggunakan perhitungan penelusuran banjir dengan debit kala ulang 25 tahun dan direncanakan berbentuk lingkaran [4]. Narendra, dkk, Analisis Alternatif Perencanaan Dimensi Terowongan Pengelak Bendungan Sidan Hasil analisis mendapatkan diameter terowongan pengelak adalah 5 m, dengan debit rancangan kala ulang 25 tahun sebesar  $265,54 \text{ m}^3/\text{detik}$ . Tebal dinding terowongan direncanakan setebal 0,5 m dengan bahan tersebut dari beton bertulang, dimana pada tulangan utama digunakan 3D25-500 dan pada tulangan bagi digunakan D25-500 [5]. Trenggana, Studi Alternatif Perencanaan Terowongan Pengelak Berbentuk Lingkaran Pada Bendungan Lolak Kabupaten Bolaang Mongondow Provinsi Sulawesi Utara Terowongan ini mempunyai panjang 371 m, elevasi dasar inlet +43,00. dan elevasi dasar outlet +34,00 m. Terowongan pengelak ini direncanakan berbentuk lingkaran dengan diameter 5 m luasan  $19,635 \text{ m}^2$  dan tebal terowongan 50 cm. Didapatkan Qoutflow pada elevasi muka air maksimum 54,2 m yaitu sebesar  $259,70 \text{ m}^3/\text{s}$  [6]. Nabila, Perencanaan Desain Konstruksi Bendungan Pengelak Dan Saluran Pengelak Pada Bendungan Ciawi (Cipayung) Di Kabupaten Bogor Provinsi Jawa Barat

Dalam studi perencanaan ini dilakukan penelusuran banjir dengan debit kala ulang 100 tahun diperoleh debit puncak sebesar  $335,02 \text{ m}^3/\text{detik}$  maka didapatkan diameter saluran 4,20 m dan elevasi air maksimum di depan bendungan pengelak adalah

El. 252,00 m [7]. Nurlailin, Studi Perencanaan Terowongan Pengelak Bendungan Pidekso Di Kabupaten Wonogiri Provinsi Jawa Tengah Hasil perhitungan perencanaan di peroleh analisa debit banjir rancangan  $Q_{25} = 138,451 \text{ m}^3/\text{detik}$ . Dalam terowongan pengelak metode Hidrograf dengan satuan sintesis nakayasu berbentuk kotak (box) dengan diameter 3 m [8]. Simatupang Tinjauan Perencanaan Terowongan Pengelak Bendungan Karalloe Kabupaten Gowa Hasil penelitian menunjukkan penelusuran banjir dengan debit banjir kala ulang 25 tahun sebesar  $492,333 \text{ m}^3/\text{detik}$  dengan menggunakan desain terowongan berbentuk lingkaran didapatkan diameter terowongan sebesar 6,25 m, dengan tinggi kehilangan energi 25,741 m dan direncanakan tinggi mercu cofferdam +205,241 m [9]. Adifitra, Tinjauan Perencanaan Bendung Bajo Provinsi Sulawesi Selatan Dengan perhitungan debit banjir rencana menggunakan metode hidrograf satuan sintesis nakayasu diperoleh debit banjir rencana dengan kala ulang  $Q_{100}$  tahun sebesar  $1258,51 \text{ m}^3/\text{detik}$  [10]. Wicaksana, Studi Perencanaan Terowongan Pengelak Bendungan Lubuk Ambacang Kecamatan Hulu Kuantan Kabupaten Kuantan Singingi Provinsi Riau Dari studi perencanaan ini terowongan pengelak ini didapatkan diameter terowongan 9 m menggunakan perhitungan penelusuran banjir dengan debit 5 tahun sebesar  $4742,8 \text{ m}^3/\text{detik}$  [11]. Wulan, Analisa Pembangunan Terowongan Air Sebagai Bangunan Pengelak Waduk Jatigede, Sumedang, Jawa Barat Terowongan yang dibangun pada lokasi waduk ini adalah terowongan pengelak (diversion tunnel) yang terletak dibawah bangunan pelimpah serta berfungsi untuk mengalirkan air yang melimpas dari waduk dan jatuh kedalam spillway. Tipe penampang terowongan untuk bagian dalam adalah circular dan bagian luar berbentuk tapal kuda, lapisan beton, dan panjang terowongan yaitu 546,221 m [12]. Rofikha, Analisis Struktur Terowongan Pengelak Pada Bendungan Kualu Kabupaten Toba Samosir Provinsi Sumatra Utara Perencanaan terowongan pengelak Bendungan Kualu di desain menggunakan bentuk tapal kuda shape F, hulu terowongan berada di kedalaman 41,625 m dan elevasi dasar hulu +695,5 m. Dalam kasus ini dilakukan penelusuran banjir dengan debit banjir kala ulang 25th sebesar  $709,331 \text{ m}^3/\text{detik}$  dan didapatkan diameter terowongan 9 m kemudian direncanakan cofferdam setinggi 15 m [13].

## METODOLOGI

### 1. Lokasi Penelitian

Secara administratif Bendungan Pamukkulu terletak pada posisi  $5^{\circ}24'03''$  LS dan  $119^{\circ}35'33''$  BT. Dibangun di hulu sungai Pamukkulu Desa Kale Ko'mara Kecamatan Polombangkeng Utara, Kabupaten Takalar, Provinsi Sulawesi Selatan berjarak  $\pm 50 \text{ km}$ , arah selatan dari kota Makassar. Penelitian ini dilakukan selama 1 bulan terhitung dari tanggal 09 Januari 2022- 09 Februari 2022.



Gambar 3. Lokasi Penelitian

## 2. Analisis Data

### a. Data curah hujan

Analisis kuantitatif diperlukan untuk menganalisis data curah hujan untuk mengetahui potensi curah hujan. Kondisi hidrologi curah hujan pada daerah Bendungan Pamukkulu akan di analisis pada stasiun terdekat di daerah tersebut menggunakan data dari tahun 2011-2021.

Tabel 1. Stasiun hujan

No.	Stasiun	LS	BT	Jenis	Serial Data
1	DAS Pappa	5°18'16"	119°31'46"	Manual	2011 s/d 2021
2	Paranga	5°36'01"	119°40'59"	Manual	2011 s/d 2021
3	Lantang Dua	5°21'9"	119°51'42"	Manual	2011 s/d 2021

### b. Peta topografi

Peta topografi ditentukan menggunakan aplikasi *Global Mapper* selanjutnya menentukan batas dan luas daerah tangkapan hujan (*Catchment Area*) menggunakan aplikasi *Arcgis*.

### c. Data tata guna lahan

Dalam menentukan koefisien limpasan yang akan digunakan dalam perhitungan debit rancangan. Data tata guna lahan berguna untuk mengetahui jenis penggunaan lahan berada dalam daerah tangkapan hujan dan berada pada sekitar lokasi pembangunan bendungan Pamukkulu. Data ini didapatkan dari pengamatan langsung disekitar lokasi penelitian.

### d. Analisis Debit Banjir Rancangan

Untuk menghitung debit banjir rancangan maka dalam penelitian ini akan menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintesis Nakayasu dengan periode ulang (T) 25 tahun.

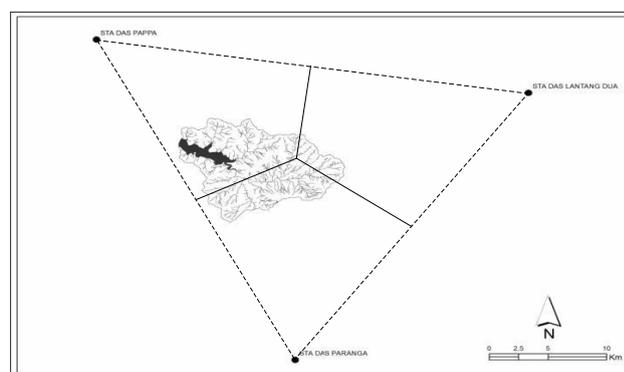
### e. Perencanaan Terowongan Pengelak

Dalam penelitian ini direncanakan terowongan pengelak dengan dimensi dan elevasi muka air yang sama dengan perencanaan sebelumnya, dan akan dicoba dengan menggunakan bentuk dan diameter yang berbeda.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Analisis Hidrologi

Metode poligon Thiessen dapat digunakan dalam menentukan curah hujan rata-rata serta dapat digunakan dalam menghitung luas curah hujan. Dengan menggunakan tiga stasiun yang berada disekitar lingkup bendungan sehingga menghasilkan gambar poligon Thiessen. Berikut hasil penggambaran dan perhitungan luas daerah tangkapan hujan menggunakan poligon Thiessen.



Gambar 2. Poligon Thiessen

Dari hasil perhitungan luas dari tiap stasiun dapat dilihat pada tabel 2 :

**Tabel 2. Hasil Perhitungan Luas Poligon Thiessen**

Stasiun	Luas (km <sup>2</sup> )	Ai/A (%)
Das Pappa	47.28	52,738
Paranga	34.35	38,316
Lantang Dua	8.02	8,946
Jumlah	89.65	100

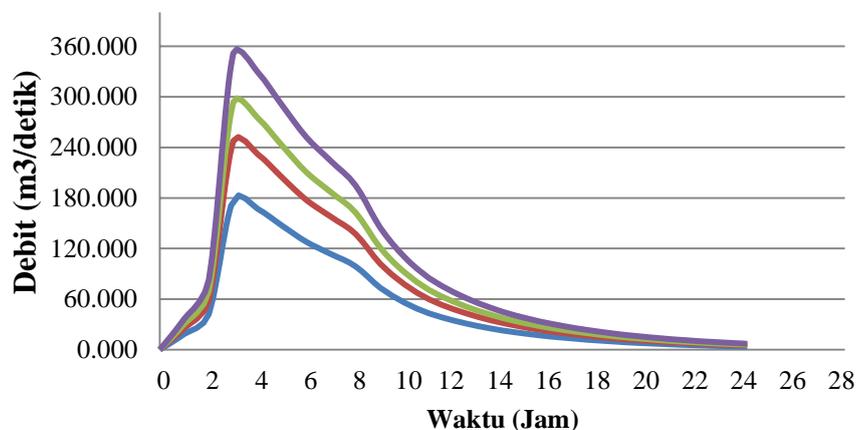
## 2. Perhitungan Debit Banjir Rancangan

Dalam menghitung debit banjir rancangan alternatif perencanaan terowongan pengelak maka digunakan metode hidrograf nakayasu.

Berdasarkan rekapitulasi hasil perhitungan debit banjir rancangan maka diperoleh puncak banjir menggunakan periode ulang (T) 25 tahun sebesar sebesar 351,472 m<sup>3</sup>/detik pada jam ke-3.

Untuk menghitung debit banjir rancangan maka digunakan metode Mononobe untuk menghitung intensitas curah hujan jam-jaman dengan waktu konsentrasi hujan yang digunakan yaitu 6 jam sebagai waktu konsentrasi hujan pada wilayah Indonesia. Sehingga ditentukan distribusi hujan jam-jaman dan hujan netto jam-jaman dan perhitungan ordinat. Maka, berikut hasil perhitungan debit banjir dengan menggunakan kala ulang 2,5,10 dan 25 tahun.

### Hidrograf Nakayasu



Gambar 6. Hidrograf debit banjir rancangan

## 3. Perencanaan Terowongan Pengelak

Tipe bangunan pengelak dalam perencanaan ini adalah lingkaran sedangkan pada perencanaan sebelumnya menggunakan tipe tapal kuda.

Debit banjir maksimum yang diperoleh pada terowongan pengelak dengan Q<sub>25</sub> yaitu 351,472 m<sup>3</sup>/detik. Sedangkan pada perencanaan sebelumnya debit banjir maksimum yang diperoleh yaitu 612 m<sup>3</sup>/detik. Dicoba menggunakan diameter terowongan pengelak yang berbeda pada perencanaan sebelumnya. Berdasarkan perhitungan perencanaan terowongan pengelak maka dilakukan alternatif perencanaan dengan mengecek tinggi kehilangan energi dan debit pada terowongan. Menghitung luas penampang terowongan taksir diameter yang direncanakan, D = 6,4 m, diperoleh keliling basah 20,106, jari-jari 1,6 m, kecepatan aliran =

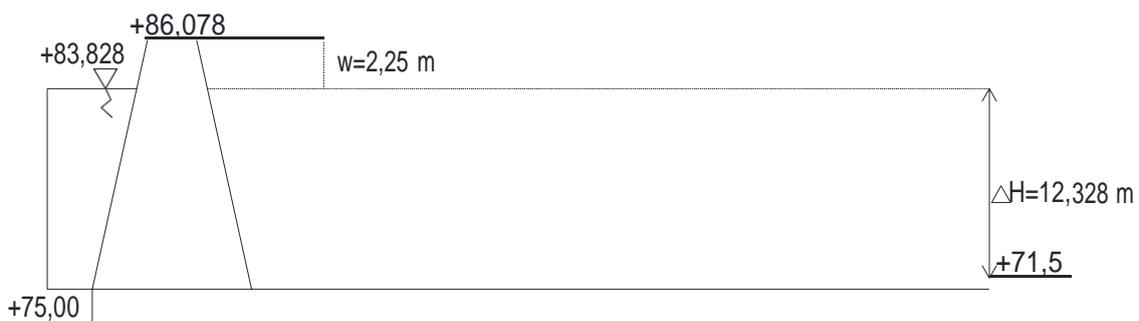
10,926 m/detik, kehilangan tekan pada saat masuk bangunan inlet 3,042, kehilangan tekan akibat gesekan pada sepanjang terowongan 3,202, Kehilangan tekan pada saat keluar bangunan outlet 6,084, total kehilangan energi 12,328 m.

Data stasiun curah hujan pada perencanaan sebelumnya menggunakan 3 stasiun yang berbeda dengan penelitian ini. Pada perencanaan sebelumnya menggunakan stasiun Malakaji, Ko'mara dan Palandingan. Sedangkan penelitian ini menggunakan data stasiun curah hujan Das Pappa, Paranga dan Lantang Dua.

Luas *Catchment area* yang digunakan dalam perencanaan sebelumnya memiliki luas 90 km sedangkan pada penelitian ini 89,65 km.

Metode yang digunakan dalam menghitung curah hujan rancangan yaitu metode Gumbel, Log Normal dan Log Pearson Tipe III. Dengan menggunakan uji kesesuaian distribusi Chi-Square dan Smirnov-Kolmogorov. Sedangkan perencanaan sebelumnya menggunakan metode Normal, Gumbel, Log Normal, Log Pearson Tipe III dengan uji kesesuaian distribusi Chi-Square dan Smirnov-Kolmogorov.

Dari hasil perhitungan pada penelitian ini untuk total kehilangan energi yang lebih kecil dari total kehilangan energi pada perencanaan sebelumnya adalah diameter terowongan pengelak dengan ukuran 6,4 m dengan kehilangan energi sebesar 12,328 m. Elevasi muka air outlet +71,5. Elevasi dasar sungai pada cofferdam +75,00. Tinggi jagaan 2,25 m. Elevasi tinggi muka air pada cofferdam +83,828. Elevasi puncak cofferdam sebesar +86,078.



Gambar 7. Sketsa tinggi kehilangan energi pada terowongan pengelak

## PEMBAHASAN

Debit banjir maksimum pada terowongan pengelak yang diperoleh sebesar 351,472 m<sup>3</sup>/detik berbeda dengan perencanaan sebelumnya sebesar 612 m<sup>3</sup>/detik. Perbedaan ini disebabkan oleh data curah hujan dan luas tangkapan hujan yang berbeda. Digunakan panjang terowongan yang sama pada perencanaan sebelumnya yaitu 375 m. Bentuk terowongan pada perencanaan sebelumnya yaitu tapal kuda sedangkan pada penelitian ini digunakan bentuk lingkaran. Diameter yang digunakan pada penelitian ini berbeda dengan perencanaan sebelumnya yaitu 6,4 m dengan total kehilangan energi pada penelitian ini sebesar 12,328 m sedangkan pada perencanaan sebelumnya menggunakan diameter 6 m dengan kehilangan energi sebesar 13,25 m.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan pada penelitian ini debit rancangan menggunakan periode ulang  $T = 25$  tahun dengan metode Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu maka diperoleh debit  $Q_{25}$  sebesar 351,472 m<sup>3</sup>/detik.

Berdasarkan diameter terowongan pengelak sebesar 6,4 m maka didapatkan kehilangan energi pada terowongan sebesar 12,328 m.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Triatmodjo, Bambang. 2008. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset Yogyakarta.

- [2] Sri Harto. 2000. *Hidrologi Masalah Penyelesaian*. Nafiri: Jakarta.
- [3] Haerussalam, 2005. *Tinjauan Analisis Debit Banjir Pada Bendung Kalamisu Kabupaten Sinjai Makassar*: Universitas Hasanuddin
- [4] Firmanto, Bakti Yudi. 2020 “Studi Alternatif Perencanaan Terowongan Pengelak Bendungan Tugu Kabupaten Trenggalek” Skripsi. Malang: Universitas Islam Malang.
- [5] Narendra, A. A. Ngr Billy, Dkk. 2021 “Analisis Alternatif Perencanaan Dimensi Terowongan Pengelak Bendungan Sidan”. *PADURAKSA*, 10(2).
- [6] Trenggana, Satria Wiga. 2010. “Studi Alternatif Perencanaan Terowongan Pengelak Berbentuk Lingkaran Pada Bendungan Lolak Kabupaten Bolaang Mongondow Provinsi Sulawesi Utara”. Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya.
- [7] Nabila, Hanin Dzakra. 2019. “Perencanaan Desain Konstruksi Bendungan Pengelak Dan Saluran Pengelak Pada Bendungan Ciawi (Cipayung) Di Kabupaten Bogor Provinsi Jawa Barat”. Skripsi. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang.
- [8] Nurlailin. 2021. “Studi Perencanaan Terowongan Pengelak Bendungan Pidekso Di Kabupaten Wonogiri Provinsi Jawa Tengah” . *JURNAL REKAYASA SIPIL*, 9 (3)
- [9] Simatupang, Selyn Angelica. 2020. “Tinjaun Perencanaan Terowongan Pengelak Bendungan Karalloe Kabupaten Gowa”. *Paulus Civil Engineering Journal*, 2(1).
- [10] Akbar, J, Muh Adifitra. 2019. “Tinjauan Perencanaan Bendung Bajo Provinsi Sulawesi Selatan”. Skripsi. Makassar: Universitas Muhammadiyah Makassar.
- [11] Wicaksana, Chandra Yoga. 2018. “Studi Perencanaan Terowongan Pengelak Bendungan Lubuk Ambacang Kecamatan Hulu Kuantan Kabupaten Kuantan Singingi Provinsi Riau”. Sarjana Thesis. Malang: Universitas Brawijaya.
- [12] Wulan, Asri. Prastiwi, Bety. 2011. “Analisa Pembangunan Terowongan Air Sebagai Bangunan Pengelak Waduk Jatigede, Sumedang, Jawa Barat”. *Proceeding PESAT (Psikologi, Ekonomi, Sastra, Arsitektur & Sipil)*. 10( 4).
- [13] Rofikha, Afan Allail. 2019. “Analisis Struktur Terowongan Pengelak Pada Bendungan Kualu Kabupaten Toba Samosir Provinsi Sumatra Utara”. *Jurnal Teknik Pengairan: Jurnal Of Water Resources Engineering*, 10 (1), pp.28-38.