

**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN BENDUNG AYUMOLINGO**

***AYUMOLINGO WEIR PLANNING***

**MUHAMMAD RAFI FAHROZI**

**D111 16 511**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
2023**

**LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)**

**PERENCANAAN BENDUNG AYUMOLINGO**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**MUHAMMAD RAFI FAHROZI**

**D111 16 511**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 8 Februari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



**Dr.Eng. Ir. Rita Tahir Lopa, MT**  
NIP. 196703191992032010

**Silman Pongmanda, ST, MT**  
NIP. 197210102000031001

Ketua Program Studi,



**Prof. Dr. H/M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng**  
Nip. 196805292002121002

## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Muhammad Rafi Fahrozi, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Perencanaan Bendung Ayumolingo**", adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, 8 Februari 2023

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Rafi Fahrozi  
NIM: D111 16 511

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah Subhanahu Wata'ala karena atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul "Perencanaan Bendung Gorontalo". Tak lupa kami kirimkan shalawat serta salam kepada baginda Nabi Muhammad Shallallahu Alaihi Wasallam sebagai panutan terbaik sepanjang masa serta para sahabat dan keluarga beliau dan orang-orang yang senantiasa istiqomah di Agama Islam yang paling mulia ini.

Tugas akhir ini dibuat sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi dalam menyelesaikan studi strata satu pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Dalam proses penyusunan tugas akhir ini, tidak dapat dipungkiri banyaknya kesulitan yang dihadapi oleh penulis. Namun dengan berkat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak, penulis pun mampu menghadapi kesulitan tersebut.

Selanjutnya dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis tak lupa menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada berbagai pihak yang telah membantu baik secara materil maupun moril, khususnya kepada:

1. Kedua orang tua saya yang tak hentinya memberikan kasih sayang, doa, motivasi, serta dukungan moral dan materi yang tak terhingga selama ini.

2. Bapak Prof. Dr. Eng. M. Isran Ramli, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Muh. Wihardi Tjaronge, S.T., M.Eng. selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Ibu Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa, M.T. selaku pembimbing 1 dan Bapak Silman Pongmanda, S.T., M.T. selaku pembimbing 2 atas saran dan masukan serta bimbingannya dalam pembuatan tugas akhir ini.
5. Dosen dan staf pengajar, serta pegawai Departemen Teknik Sipil yang telah memberikan segala ilmu pengetahuan dan bantuan baik secara langsung maupun tidak langsung selama proses perkuliahan.
6. Tim Sukses Penelitian yang telah membantu dalam penelitian ini.
7. Seluruh keluarga KKD Keairan, teman-teman, senior, yang terus memberi bantuan dan dukungan. Serta kepada semua pihak yang turut membantu kelancaran penyelesaian tugas akhir ini.
8. Teman-teman Teknik Sipil Angkatan 2016 yang selalu memberi semangat, motivasi dan selalu menemani dalam suka maupun duka selama menjalani proses perkuliahan.
9. Afdhal, Aidhil, dan Hanif, selaku teman seperjuangan yang selalu menemani dan menyemangati selama proses perkuliahan sampai sekarang.
10. Dan kepada seluruh rekan-rekan dan keluarga penulis lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan

mendukung penulis sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis pun menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat dibutuhkan agar tugas akhir ini bisa menjadi lebih baik lagi kedepannya. Akhir kata, penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan dalam pembangunan ketekniksipilan kedepannya. Aamiin.

Gowa, 8 Februari 2023

Muhammad Rafi Fahrozi

## ABSTRAK

Air merupakan salah satu kebutuhan pokok manusia untuk berbagai keperluan. Kebutuhan air di Desa Ayumolingo, Kabupaten Gorontalo untuk berbagai keperluan, terutama kebutuhan air baku dan irigasi akan terus meningkat berdasarkan jumlah penduduk yang terus bertambah dan semakin berkembangnya laju pembangunan di berbagai bidang. Sarana dan prasarana dalam sistem penyediaan air baku seperti pembangunan bendung yang perlu didesain dan dibangun agar masyarakat dapat memenuhi kebutuhan air tanpa harus bersusah payah mengambil langsung kesumber air yang terkadang sangat sulit dijangkau. Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan dimensi bendung tetap untuk keperluan irigasi dan kebutuhan air baku di Desa Ayumolingo. Penelitian ini menggunakan metode pengambilan data sekunder. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh debit banjir rencana sebesar  $291,302 \text{ m}^3/\text{detik}$  untuk periode ulang 50 tahun. Dimensi bendung menggunakan mercu dengan tipe bulat dengan jari-jari 1,872 m, tinggi mercu 2,75 m, dan lebar bendung 19,576 m. Direncanakan kolam olak dengan tipe *vlughter* dengan panjang 6,122 m dan tinggi 6,122 m. Perencanaan dimensi bendung telah memenuhi syarat kestabilan terhadap geser, kestabilan terhadap guling, dan kestabilan terhadap daya dukung tanah.

**Kata Kunci:** Air, Kebutuhan Air, Bendung

## ABSTRACT

Water is one of the basic human needs for various purposes. The need for water in Ayumolingo Village, Gorontalo Regency for various purposes, especially raw water and irrigation needs will continue to increase based on the growing population and the growing pace of development in various fields. Facilities and infrastructure in the raw water supply system such as the construction of weirs that need to be designed and built so that people can meet their water needs without having to bother taking directly to water sources which are sometimes very difficult to reach. This study aims to plan the dimensions of a fixed weir for irrigation purposes and raw water needs in Ayumolingo Village. This research uses secondary data collection method. Based on the calculation results, the flood discharge plan is 291.302 m<sup>3</sup>/second for a return period of 50 years. The dimensions of the weir use a round-type lighthouse with a radius of 1.872 m, a lighthouse height of 2.75 m, and a weir width of 19.576 m. A vluhter-type weir pond with a length of 6,122 m and a height of 6,122 m is planned. The dimension planning of the weir has met the requirements of stability against shear, stability against overturning, and stability against soil bearing capacity.

**Key Words:** Water, Water Requirements, Weir



**DAFTAR ISI**

<b>SAMPUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	3
C. Tujuan Penelitian .....	3
D. Manfaat Penelitian .....	3
E. Batasan Masalah.....	3
F. Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
A. Bendung.....	6

B. Klasifikasi Bendung .....	7
C. Analisis Hidrologi.....	8
C.1. Analisis Frekuensi Curah Hujan .....	8
C.2. Uji Distribusi Probabilitas (Metode Chi – Kuadrat) .....	18
C.3. Perhitungan Debit Banjir Rencana .....	21
D. Perencanaan Bendung.....	27
D.1. Tinggi Bendung .....	28
D.2. Lebar Bendung.....	29
D.2. Perencanaan Mercu .....	31
D.3. Tinggi Muka Air di atas Mercu .....	38
D.4. Tinggi Muka Air di Hilir Bendung .....	39
D.5. Perencanaan Kolam Olak.....	41
D.6. Perencanaan Lantai Muka.....	43
D.7. Perencanaan Pangkal Bendung.....	43
E. Stabilitas Bendung .....	44
E.1. Stabilitas Terhadap Guling .....	45
E.2. Stabilitas Terhadap Geser .....	46
E.3. Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah .....	46
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>47</b>
A. Lokasi Penelitian .....	47

B. Jenis dan Sumber Penelitian .....	47
C. Bagan Alir Penelitian .....	48
D. Teknik Pengolahan Data .....	50
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>51</b>
A. Analisa Hidrologi .....	51
A.1. Curah Hujan Harian Maksimum .....	52
A.2. Analisa Frekuensi Curah Hujan .....	53
A.3. Analisis Jenis Distribusi .....	55
A.4. Analisis Curah Hujan Rancangan .....	56
A.5. Uji Kesesuaian Distribusi .....	57
A.6. Distribusi Hujan Jam – Jaman .....	59
A.7. Analisis Debit Banjir Rancangan .....	61
B. Perencanaan Bendung .....	75
B.1. Tinggi Bendung .....	75
B.2. Lebar Bendung .....	77
B.3. Dimensi Mercu .....	78
B.4. Tinggi Muka Air di Atas Mercu Bendung .....	80
B.5. Tinggi Muka Air di Atas Hilir Bendung .....	82
B.6. Kolam Olak .....	84
B.7. Perencanaan Lantai Muka .....	87

B.8. Pangkal Bendung .....	91
C. Analisis Stabilitas Bendung .....	93
C.1. Gaya Akibat Beban Sendiri Bendung .....	93
C.2. Gaya Akibat Gempa .....	96
C.3. Gaya Akibat Tekanan Keatas ( <i>Uplift Pressure</i> ) .....	98
C.4. Gaya Akibat Tekanan Hidrostatik .....	104
C.5. Gaya Akibat Tekanan Lumpur .....	106
C.6. Gaya Akibat Tekanan Tanah .....	107
C.7. Rekapitulasi Gaya-gaya yang Bekerja .....	109
D. Kontrol Stabilitas Bendung .....	110
D.1. Kontrol Terhadap Gaya Geser .....	110
D.2. Kontrol Terhadap Gaya Guling .....	111
D.3. Kontrol Terhadap Daya Dukung Tanah .....	111
<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>114</b>
A. Kesimpulan .....	114
B. Saran .....	115

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b>	Sketsa Hidrograf Satuan Sintetis Metode Nakayasu .....	26
<b>Gambar 2.</b>	Lebar Efektif Mercu Bendung.....	30
<b>Gambar 3.</b>	Bentuk - Bentuk Mercu .....	32
<b>Gambar 4.</b>	Tekanan pada Mercu Bendung Bulat Sebagai Fungsi Perbandingan $H_1/r$ .....	33
<b>Gambar 5.</b>	Bentuk - Bentuk Bendung Mercu Ogee (U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experimental Station) .....	34
<b>Gambar 6.</b>	Harga - Harga Koefisien $C_0$ Untuk Bendung Mercu Bulat Sebagai Fungsi Perbandingan $H_1/r$ .....	36
<b>Gambar 7.</b>	Koefisien $C_1$ Sebagai Perbandingan $p/H_1$ .....	37
<b>Gambar 8.</b>	Harga-harga Koefisien $C_2$ untuk Bendung Mercu Tipe Ogee.....	37
<b>Gambar 9.</b>	Faktor Pengurangan Aliran Tenggelam Sebagai Fungsi $H_2/H_1$ .....	38
<b>Gambar 10.</b>	Diagram untuk Memperkirakan Tipe Bangunan yang Akan Digunakan untuk Perencanaan Detail .....	42
<b>Gambar 11.</b>	Lokasi Penelitian.....	47
<b>Gambar 12.</b>	Bagan Alir Penelitian.....	49
<b>Gambar 13.</b>	Catchment Area Aliran Hujan.....	52
<b>Gambar 14.</b>	Kertas Grafik Probabilitas untuk Distribusi Log - Pearson Tipe III.....	58
<b>Gambar 15.</b>	Skema Hidrograf Sintetik Satuan (HSS) Nakayasu .....	64

<b>Gambar 16.</b> Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu.....	66
<b>Gambar 17.</b> Rekapitulasi Hidrograf Satuan Banjir Rancangan Nakayasu.....	74
<b>Gambar 18.</b> Peta Situasi Bendung Ayumoligo .....	75
<b>Gambar 19.</b> Dimensi Mercu.....	80
<b>Gambar 20.</b> Tinggi Muka Air di Atas Mercu Bendung .....	82
<b>Gambar 21.</b> Penampang Sungai .....	82
<b>Gambar 22.</b> Grafik Lengkung Debit .....	83
<b>Gambar 23.</b> Kolam Olak .....	86
<b>Gambar 24.</b> Lantai Muka (Creep Line).....	88
<b>Gambar 25.</b> Pangkal Bendung .....	92
<b>Gambar 26.</b> Gaya Akibat Beban Sendiri Bendung.....	95
<b>Gambar 27.</b> Gaya Akibat Gempa.....	97
<b>Gambar 28.</b> Gaya Akibat Tekanan Keatas (Uplift Pressure).....	103
<b>Gambar 29.</b> Gaya Akibat Tekanan Hidrostatik pada Kondisi Normal ....	104
<b>Gambar 30.</b> Gaya Akibat Tekanan Hidrostatik pada Kondisi Banjir .....	105
<b>Gambar 31.</b> Gaya Akibat Tekanan Lumpur .....	106
<b>Gambar 32.</b> Gaya Akibat Tekanan Tanah .....	108

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.</b>	Parameter Statistik untuk Penentuan Jenis Distribusi .....	12
<b>Tabel 2.</b>	Standar Deviasi Varian Gumbel .....	15
<b>Tabel 3.</b>	Koefisien Kemencengan ( $C_s$ ) Log – Pearson Tipe III .....	17
<b>Tabel 4.</b>	Nilai Chi – Krisis Distribusi Chi – Kuadrat.....	20
<b>Tabel 5.</b>	Harga - Harga Koefisien $K_a$ dan $K_p$ .....	31
<b>Tabel 6.</b>	Harga - Harga $K$ dan $n$ .....	35
<b>Tabel 7.</b>	Data Curah Hujan Harian Maksimum Stasiun Djalaluddin Gorontalo .....	53
<b>Tabel 8.</b>	Analisis Frekuensi Curah Hujan .....	54
<b>Tabel 9.</b>	Parameter Statistik untuk Penentuan Jenis Distribusi .....	55
<b>Tabel 10.</b>	Analisis Curah Hujan Rancangan Distribusi Log Pearson III ...	56
<b>Tabel 11.</b>	Perhitungan Probabilitas Curah Hujan .....	57
<b>Tabel 12.</b>	Perhitungan Uji Keselarasan Chi - Kuadrat .....	59
<b>Tabel 13.</b>	Perhitungan Distribusi Hujan Jam - Jaman .....	60
<b>Tabel 14.</b>	Parameter untuk Perhitungan HSS Nakayasu.....	61
<b>Tabel 15.</b>	Perhitungan HSS Nakayasu.....	65
<b>Tabel 16.</b>	Perhitungan HSS Nakayasu Periode Ulang 2 Tahun .....	67
<b>Tabel 17.</b>	Perhitungan HSS Nakayasu Periode Ulang 5 Tahun .....	<b>Error!</b>
	<b>Bookmark not defined.</b>	
<b>Tabel 18.</b>	Perhitungan HSS Nakayasu Periode Ulang 10 Tahun .....	<b>Error!</b>
	<b>Bookmark not defined.</b>	

<b>Tabel 19.</b> Perhitungan HSS Nakayasu Periode Ulang 20 Tahun .....	<b>Error!</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	
<b>Tabel 20.</b> Perhitungan HSS Nakayasu Periode Ulang 25 Tahun .....	<b>Error!</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	
<b>Tabel 21.</b> Perhitungan HSS Nakayasu Periode Ulang 50 Tahun .....	<b>Error!</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	
<b>Tabel 22.</b> Rekapitulasi Debit Banjir Rancangan HSS Nakayasu .....	73
<b>Tabel 23.</b> Perhitungan Tinggi Muka Air di Atas Hilir Bendung .....	83
<b>Tabel 24.</b> Perencanaan Lantai Muka (Creep Line).....	87
<b>Tabel 25.</b> Harga Koefisien CL.....	90
<b>Tabel 26.</b> Perhitungan Gaya Akibat Beban Sendiri Bendung .....	94
<b>Tabel 27.</b> Perhitungan Gaya Gempa.....	96
<b>Tabel 28.</b> Perhitungan Gaya Tekan Keatas pada Kondisi Normal.....	99
<b>Tabel 29.</b> Perhitungan Gaya Tekan Keatas pada Kondisi Normal.....	100
<b>Tabel 30.</b> Perhitungan Gaya Tekan Keatas pada Kondisi Banjir .....	101
<b>Tabel 31.</b> Perhitungan Gaya Tekan Keatas pada Kondisi Banjir .....	102
<b>Tabel 32.</b> Perhitungan Gaya Hidrostatik pada Kondisi Normal.....	104
<b>Tabel 33.</b> Perhitungan Gaya Hidrostatik pada Kondisi Banjir .....	105
<b>Tabel 34.</b> Perhitungan Gaya Akibat Tekanan Lumpur.....	106
<b>Tabel 35.</b> Perhitungan Gaya Akibat Tekanan Tanah.....	108
<b>Tabel 36.</b> Rekapitulasi Gaya-gaya yang Bekerja pada Kondisi Normal.	109
<b>Tabel 37.</b> Rekapitulasi Gaya-gaya yang Bekerja pada Kondisi Banjir ...	109



## **BAB 1. PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Air merupakan salah satu kebutuhan pokok manusia untuk berbagai keperluan. Prioritas pemakaian air yang utama adalah untuk pemakaian domestik seperti air minum dan keperluan rumah tangga, serta digunakan pula untuk keperluan industri, pertanian, perikanan, dan sebagainya. Pemenuhan kebutuhan air baku di beberapa tempat di wilayah perkotaan dan pedesaan merupakan masalah yang tidak mudah diselesaikan. Hal ini berkaitan dengan jumlah atau ketersediaan sumber air yang sangat terbatas. Di samping itu cara pendistribusian air baku ke daerah tempat tinggal penduduk dan kebutuhan biaya serta teknologi pengolahan air baku belum dimanfaatkan oleh berbagai masyarakat untuk berbagai kebutuhan.

Kebutuhan air baku untuk berbagai keperluan, terutama air baku untuk rumah tangga, tempat-tempat umum, dan industri akan terus meningkat berdasarkan jumlah penduduk yang terus bertambah dan semakin berkembangnya laju pembangunan di berbagai bidang. Di sisi lain, jumlah penyediaan prasarana air baku yang ada saat ini masih relatif terbatas, sehingga belum dapat memenuhi semua kebutuhan air. Masalah ketersediaan air baku ini juga dihadapi oleh penduduk di wilayah Desa Ayumolingo, Kecamatan Pulubala, Kabupaten Gorontalo. Meskipun wilayah tersebut memiliki sumber air (air permukaan, air sungai, air bawah tanah dan mata air) yang cukup memadai, namun yang menjadi kendala

adalah bagaimana cara menangkap dan menyalurkan air dari sumber air tersebut secara optimal sehingga dapat dimanfaatkan oleh penduduk. Sarana dan prasarana dalam sistem penyediaan air baku seperti pembangunan bendung yang perlu didesain dan dibangun agar masyarakat dapat memenuhi kebutuhan air tanpa harus bersusah payah mengambil langsung kesumber air yang terkadang sangat sulit dijangkau. Dengan memperhatikan lokasi serta potensi yang ada, maka diharapkan kebutuhan air baku di Desa Ayumolingo, Kecamatan Pulubala, Kabupaten Gorontalo dapat terpenuhi.

Berdasarkan Pasal 2 Undang – undang No.17 Tahun 2019 tentang pengairan, dinyatakan bahwa “Pengelolaan sumber daya air adalah upaya merencanakan, melaksanakan, memantau, dan mengevaluasi penyelenggaraan konservasi sumber daya air, pendayagunaan sumber daya air, dan pengendalian daya rusak air”. Hal ini dapat diatasi dengan beberapa alternatif yang salah satu diantaranya adalah dengan membangun prasarana untuk pemenuhan kebutuhan air baku masyarakat.

Berdasarkan uraian di atas, penulis mencoba untuk melakukan penelitian dengan judul “**PERENCANAAN BENDUNG AYUMOLINGO**”.

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan diatas, maka dapat diambil rumusan masalah:

1. Berapa dimensi bendung tetap yang diperlukan?
2. Bagaimana kestabilan bendung terhadap tekanan yang timbul?

## **C. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis besar debit banjir rencana.
2. Merencanakan dimensi bendung tetap.
3. Mengevaluasi kestabilan bendung.

## **D. Manfaat Penelitian**

Hasil Penelitian ini secara umum diharapkan dapat mewujudkan pembangunan bendung yang dapat meningkatkan kebutuhan air masyarakat di Desa Ayumolingo, Kecamatan Pulubala, Kabupaten Gorontalo.

## **E. Batasan Masalah**

Demi tercapainya penelitian diperlukan suatu Batasan dalam penulisan agar pembahasan tidak meluas ruang lingkupnya sehingga tujuan dari penulisan dapat tercapai dan dipahami. Adapun ruang lingkup penulisan yang dijadikan batasan dalam penulisan adalah:

1. Penelitian berlokasi di Daerah Aliran Sungai (DAS) Limboto, Desa Ayumolingo, Kecamatan Pulubala, Kabupaten Gorontalo.
2. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diambil dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Stasiun Djalaluddin Gorontalo.
3. Penggunaan data distribusi curah hujan maksimum selama 10 tahun periode 2012 – 2021.
4. Curah hujan dianggap merata pada seluruh bagian wilayah DAS Limboto.

#### **F. Sistematika Penulisan**

Secara umum tulisan ini terbagi dalam lima bab, yaitu: Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, Analisa Data dan Pembahasan, serta Kesimpulan dan Saran.

Berikut merupakan rincian secara umum mengenai kandungan dari kelima bab tersebut:

#### **BAB 1. PENDAHULUAN**

Bab ini mengandung uraian tentang informasi secara keseluruhan dari penelitian ini yang berkenaan dengan latar belakang penelitian, rumusan masalah, maksud dan tujuan diadakan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

**BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi uraian mengenai dasar-dasar teori yang berkaitan dengan penelitian.

**BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini membahas mengenai uraian tentang metode, bahan, peralatan, cara penelitian, serta uraian pelaksanaan penelitian.

**BAB 4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian serta pembahasan dari hasil data yang diperoleh.

**BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini memuat uraian tentang kesimpulan yang dapat diambil dari hasil-hasil analisis terhadap hasil penelitian yang dilakukan yang disertai dengan saran-saran yang diusulkan.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Bendung

Bendung adalah bangunan melintang sungai yang berfungsi meninggikan muka air sungai agar bisa disadap. Bendung merupakan salah satu dari bagian bangunan utama. Bangunan utama adalah bangunan air (*hydraulic structure*) yang terdiri dari bagian-bagian: Bendung (*weir structure*), bangunan pengelak (*diversion structure*), bangunan pengambilan (*intake structure*), bangunan pembilas (*flushing structure*), dan bangunan kantong lumpur (*sediment trapstructure*). Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2401-1991 tentang pedoman perencanaan hidrologi dan hidraulik untuk bangunan di sungai adalah bangunan bendung dapat didesain dan dibangun sebagai bangunan tetap, bendung gerak, atau kombinasinya, dan harus dapat berfungsi untuk mengendalikan aliran dan angkutan muatan di sungai sedemikian rupa sehingga dengan menaikkan muka airnya air dapat dimanfaatkan secara efisien sesuai dengan kebutuhannya.

Fungsi utama dari bendung adalah untuk meninggikan elevasi muka air dari sungai yang ditinjau sehingga air bisa disadap dan dialirkan ke saluran lewat bangunan pengambilan (*intake structure*), dan untuk mengendalikan aliran, angkutan sedimen dan geometri sungai sehingga air dapat dimanfaatkan secara aman, efisien, dan optimal. (Mawardi & Memet, 2010)

## B. Klasifikasi Bendung

Adapun klasifikasi bendung sebagai berikut:

1. Bendung berdasarkan fungsinya:
  - a. Bendung penyadap, digunakan sebagai penyadap aliran sungai untuk berbagai keperluan seperti untuk irigasi, air baku dan sebagainya.
  - b. Bendung pembagi banjir, dibangun di percabangan sungai untuk mengatur muka air sungai sehingga terjadi pemisahan antara debit banjir dan debit normal sesuai dengan kapasitasnya.
  - c. Bendung penahan pasang, dibangun dibagian sungai yang dipengaruhi pasang surut air laut antara lain untuk mencegah masuknya air laut ke daratan atau mencegah terjadinya banjir rob.
2. Bendung berdasarkan tipe strukturnya:
  - a. Bendung tetap, bendung tetap adalah jenis bendung yang tinggi pembendungannya tidak dapat diubah, sehingga muka air di hulu bendung tidak dapat diatur sesuai yang dikehendaki. Pada bendung tetap elevasi muka air di hulu bendung berubah sesuai dengan debit sungai yang sedang melimpas (muka air tidak bisa diatur naik ataupun turun). Bendung tetap biasanya dibangun pada daerah hulu sungai. Pada daerah hulu sungai kebanyakan tebing-tebing sungai relatif lebih curam dibandingkan di daerah hilir.
  - b. Bendung gerak, bendung gerak adalah jenis bendung yang tinggi pembendungannya dapat diubah sesuai yang dikehendaki. Pada

bendung gerak elevasi muka air di hulu bendung dapat dikendalikan naik atau turun sesuai yang dikehendaki dengan membuka atau menutup pintu air. Bendung gerak biasanya dibangun pada hilir sungai atau muara.

3. Berdasarkan dari segi sifatnya:
  - a. Bendung permanen, seperti bendung pasangan batu, beton, dan kombinasi beton dan pasangan batu.
  - b. Bendung semi permanen, seperti bendung bronjong.
  - c. Bendung darurat, yang dibuat oleh masyarakat pedesaan seperti bendung tumpukan batu, karung pasir dan sebagainya. (Mawardi dan Memet, 2010)

### **C. Analisis Hidrologi**

Sebelum menentukan dimensi bendung, dilakukan analisis hidrologi berupa perhitungan curah hujan dan debit banjir rancangan yang membutuhkan perhitungan data curah hujan.

#### **C.1. Analisis Frekuensi Curah Hujan**

Analisis frekuensi adalah penetapan banjir / hujan rancangan berdasarkan analisis statistik data debit / hujan tersedia. Menurut (Sri Harto, 1993) analisis ini dilakukan dengan memilih salah satu dari beberapa jenis distribusi statistik (*statistical distribution*) yang paling sesuai dengan sifat statistik data yang bersangkutan. Analisis ini digunakan karena cara analisis ini yang mudah, tidak memerlukan pengertian hidrologi mendalam, dan dapat diandalkan (*reliable*).



Analisis Frekuensi ini digunakan untuk menetapkan besaran hujan atau debit dengan kala ulang tertentu, dapat dilakukan untuk seri data yang diperoleh dari rekaman data baik data hujan / debit, serta didasarkan pada sifat statistik data yang tersedia untuk memperoleh probabilitas besaran hujan / debit di masa yang akan datang (diandaikan bahwa sifat statistik tidak berubah / sama).

Kala ulang didefinisikan sebagai waktu hipotetik di mana hujan atau debit dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui sekali dalam jangka waktu tersebut.

Penetapan seri data dapat dilakukan dengan cara:

1. Mengambil satu data maksimum setiap tahun (*maximum annual series*) yang berarti jumlah data seri akan sama dengan panjang data yang tersedia.
2. Menetapkan suatu batas bawah (*threshold*) tertentu dengan pertimbangan-pertimbangan tertentu, selanjutnya semua besaran hujan atau debit yang lebih besar daripada batas bawah diambil sebagai seri data partial series (*peak over threshold*) dan
3. Cara yang sama dengan partial series diambil beberapa data terbesar namun jumlah data sama dengan jumlah tahun data (*annual exceedance series*).

Khusus untuk analisis data hujan, terdapat beberapa cara penyiapan data (hujan rata-rata DAS) sebagai berikut:

1. Data hujan DAS diperoleh dengan menghitung hujan rata-rata setiap hari sepanjang data yang tersedia (cara terbaik).
2. Dalam satu tahun tertentu, untuk stasiun I dicari hujan maksimum tahunannya. Selanjutnya dicari hujan untuk stasiun lainnya pada waktu yang sama, selanjutnya dihitung hujan rata-rata DAS. Masih dalam tahun yang sama, dicari hujan maksimum tahunan untuk stasiun II, dan dicari hujan di stasiun lainnya pada waktu yang sama dan dicari rata – ratanya. Prosedur yang sama untuk stasiun lainnya dan untuk tahun-tahun berikutnya.
3. Menggunakan data pada salah satu stasiun (data maksimum) dan mengalikan data tersebut dengan koefisien reduksi.
4. Merata-ratakan hujan maksimum pada seluruh stasiun pada setiap tahun (sebaiknya cara ini tidak digunakan).
5. Analisis frekuensi data hujan setiap stasiun sepanjang data yang ada. Hasil analisis frekuensi tersebut selanjutnya dirata-ratakan sebagai hujan rata-rata DAS (sebaiknya cara ini tidak digunakan).

Dalam statistik dikenal beberapa jenis distribusi frekuensi dan yang banyak digunakan dalam hidrologi yaitu:

1. Distribusi Normal
2. Distribusi Log - Normal
3. Distribusi Log - Pearson Tipe III
4. Distribusi Gumbel

Masing-masing distribusi memiliki sifat-sifat khas sehingga setiap data hidrologi harus diuji kesesuaiannya dengan sifat statistik masing-masing distribusi tersebut. Pemilihan distribusi yang tidak benar dapat mengundang kesalahan perkiraan yang cukup besar baik *overestimated* maupun *underestimated*.

Beberapa parameter statistik yang digunakan dalam hitungan adalah nilai rata-rata ( $\bar{X}$ ), standar deviasi ( $S_d$ ), koefisien variasi ( $C_v$ ), koefisien skewness / kemencengan ( $C_s$ ), dan koefisien kurtosis ( $C_k$ ) sebagai berikut:

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{n} \dots\dots\dots (1)$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Xi - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2)$$

$$C_v = \frac{S_d}{\bar{X}} \dots\dots\dots (3)$$

$$C_s = \frac{n}{(n-1)(n-2)S_d^3} \sum_{i=1}^n (Xi - \bar{X})^3 \dots\dots\dots (4)$$

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)S_d^4} \sum_{i=1}^n (Xi - \bar{X})^4 \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

$n$  = Jumlah data

$Xi$  = Curah hujan maksimal

$\bar{X}$  = Curah hujan rata – rata

$S_d$  = Standar deviasi

$C_v$  = Koefisien variasi

$C_s$  = Koefisien skewness

$C_k$  = Koefisien kurtosis

Setelah menghitung keempat parameter statistik hujan di atas, maka dilanjutkan dengan pemilihan distribusi sesuai dengan standar yang ada seperti berikut.

**Tabel 1.** Parameter Statistik untuk Penentuan Jenis Distribusi

Jenis Sebaran	Syarat
Normal	$C_s = 0$
	$C_k = 3$
Log Normal	$C_s = 3C_v$
Gumbel	$C_s = 1,14$
	$C_k = 5,4$
Log Pearson III	Jika tidak ada parameter yang memenuhi

### 1. Distribusi Normal

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \dots\dots\dots (6)$$

$$F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{z^2}{2}} \dots\dots\dots (7)$$

Dimana:

$X$  = Variabel random

$p(x)$  = Fungsi probabilitas kontinyu

$F(z)$  = Probabilitas kumulatif

Distribusi Normal adalah simetris terhadap sumbu vertikal. Dalam pemakaian praktis biasanya hitungan dilakukan dengan tidak menggunakan persamaan-persamaan tersebut, tetapi telah dibuat tabel.

## 2. Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal digunakan apabila nilai-nilai dari variabel random tidak mengikuti distribusi Normal, tetapi nilai logaritmanya memenuhi distribusi normal. Parameter dari distribusi Log Normal adalah rerata dari deviasi standar dari  $y$  yaitu  $\mu_2$  dan  $\sigma_y$ . dengan menggunakan transformasi tersebut maka:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y-\mu)^2}{2\sigma y^2}} \dots\dots\dots (8)$$

$$F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{(y-\mu y)^2}{2\sigma y^2}} \dots\dots\dots (9)$$

Dimana :

$X$  = Variabel random

$p(x)$  = Fungsi probabilitas kontinyu

$F(z)$  = Probabilitas kumulatif

## 3. Distribusi Gumbel

Distribusi Gumbel banyak digunakan untuk analisis data maksimum, seperti untuk analisis frekuensi banjir. Fungsi densitas kumulatif mempunyai bentuk sebagai berikut:

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \dots\dots\dots (10)$$

$$x = \bar{x} = Ks \dots\dots\dots (11)$$

$$y = yn + K \times \sigma n \dots\dots\dots (12)$$

Dimana :

$y$  = Faktor reduksi gumbel

$\mu$  = Modus dari distribusi (titik dari densitas probabilitas maksimum)

$s$  = Standar deviasi

$K$  = Faktor frekuensi

$yn$  = Nilai rerata

$\sigma n$  = Deviasi standar dari varian gumbel

Distribusi gumbel mempunyai sifat bahwa koefisien skewness  $C_v = 1,1396$  dan koefisien kurtosis  $C_k = 5,4002$ . ( Sri Harto,1993 ) Untuk menentukan nilai dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

**Tabel 2.** Standar Deviasi Varian Gumbel

<i>N</i>	<i>yn</i>	$\sigma n$	<i>n</i>	<i>yn</i>	$\sigma n$	<i>n</i>	<i>yn</i>	$\sigma n$
8	0,484	0,904	39	0,543	1,139	70,000	0,555	1,185
9	0,490	0,929	40	0,544	1,141	71,000	0,555	1,186
10	0,495	0,950	41	0,544	1,144	72,000	0,555	1,187
11	0,500	0,968	42	0,545	1,146	73,000	0,556	1,188
12	0,505	0,983	43	0,545	1,148	74,000	0,556	1,189
13	0,507	0,997	44	0,546	1,149	75,000	0,556	1,190
14	0,510	1,010	45	0,546	1,152	76,000	0,556	1,191
15	0,513	1,021	46	0,547	1,154	77,000	0,556	1,192
16	0,516	1,032	47	0,547	1,156	78,000	0,557	1,192
17	0,518	1,041	48	0,545	1,157	79,000	0,557	1,193
18	0,520	1,049	49	0,548	1,159	80,000	0,557	1,194
19	0,502	1,057	50	0,549	1,161	81,000	0,557	1,195
20	0,524	1,063	51	0,549	1,162	82,000	0,557	1,195
21	0,525	1,070	52	0,549	1,164	83,000	0,557	1,196
22	0,527	1,075	53	0,550	1,165	84,000	0,558	1,197
23	0,528	1,081	54	0,550	1,167	85,000	0,558	1,197
24	0,530	1,086	55	0,550	1,168	86,000	0,558	1,198
25	0,531	1,091	56	0,551	1,170	87,000	0,558	1,199
26	0,532	1,096	57	0,551	1,171	88,000	0,558	1,199
27	0,533	1,100	58	0,552	1,172	89,000	0,559	1,200
28	0,534	1,105	59	0,552	1,173	90,000	0,559	1,201
29	0,535	1,109	60	0,552	1,175	91,000	0,559	1,201
30	0,536	1,112	61	0,552	1,176	92,000	0,559	1,202
31	0,537	1,116	62	0,553	1,177	93,000	0,559	1,203
32	0,538	1,119	63	0,553	1,178	94,000	0,559	1,203
33	0,539	1,123	64	0,553	1,179	95,000	0,559	1,204
34	0,540	1,126	65	0,554	1,180	96,000	0,560	1,204
35	0,540	1,129	66	0,554	1,181	97,000	0,560	1,205
36	0,541	1,131	67	0,554	1,182	98,000	0,560	1,206
37	0,542	1,134	68	0,554	1,183	99,000	0,560	1,206
38	0,542	1,136	69	0,555	1,184	100,000	0,560	1,207

#### 4. Distribusi Log – Pearson Tipe III

Pearson telah mengembangkan banyak model matematik fungsi distribusi untuk membuat persamaan empiris dari suatu distribusi. Ada 12 tipe distribusi Pearson, namun hanya distribusi Log – Pearson Tipe III yang banyak digunakan dalam hidrologi, terutama dalam analisis data maksimum. Bentuk distribusi Log - Pearson Tipe III merupakan hasil transformasi dari distribusi Pearson Tipe III dengan transformasi dari distribusi Pearson Tipe III dengan transformasi varian menjadi nilai log. PDF dari distribusi Log - Pearson Tipe III mempunyai bentuk berikut bentuk kumulatif dari distribusi Log - Pearson Tipe III dengan nilai varian X apabila digambarkan pada kertas probabilitas logaritmik akan membentuk persamaan garis lurus. Persamaan tersebut mempunyai bentuk berikut:

$$y_T = \bar{y} + K_T C_s \dots\dots\dots (13)$$

Dimana:

$y_T$  = Nilai logaritmik dari x dengan periode ulang T

$\bar{y}$  = Nilai rerata dari  $y_i$

$K_T$  = Faktor frekuensi, fungsi dari probabilitas (periode ulang)

$C_s$  = Koefisien kemencengan

Untuk menentukan koefisien kemencengan ( $C_s$ ) dapat dilihat pada tabel 3 berikut.



**Tabel 3.** Koefisien Kemencengan ( $C_s$ ) Log – Pearson Tipe III

Kemencengan ( $C_s$ )	Periode Ulang (Tahun)						
	2	5	10	20	25	50	100
3,0	-0,360	0,420	1,180	1,912	2,278	3,152	4,051
2,5	-0,360	0,518	1,250	1,925	2,262	3,048	3,845
2,2	-0,330	0,574	1,284	1,921	2,240	2,970	3,705
2,0	-0,307	0,609	1,302	1,913	2,219	2,912	3,605
1,8	-0,282	0,643	1,318	1,901	2,193	2,848	3,499
1,6	-0,254	0,675	1,329	1,885	2,163	2,780	3,388
1,4	-0,225	0,705	1,337	1,864	2,128	2,706	3,271
1,2	0,195	0,732	1,340	1,838	2,087	2,626	3,149
1,0	0,164	0,758	1,340	1,809	2,043	2,542	3,022
0,9	0,148	0,769	1,339	1,792	2,018	2,498	2,957
0,8	0,132	0,780	1,336	1,777	1,998	2,453	2,891
0,7	0,116	0,790	1,333	1,756	1,967	2,407	2,824
0,6	0,099	0,800	1,328	1,735	1,939	2,359	2,755
0,5	0,083	0,808	1,323	1,714	1,910	2,311	2,686
0,4	0,066	0,816	1,317	1,692	1,880	2,261	2,615
0,3	0,050	0,824	1,309	1,669	1,849	2,211	2,544
0,2	0,033	0,842	1,282	1,595	1,751	2,054	2,326
0,1	0,017	0,836	1,270	1,597	1,761	2,000	2,252
0,0	0,000	0,842	1,282	1,595	1,751	2,054	2,326
-0,1	0,017	0,850	1,270	1,539	1,716	2,000	2,252
-0,2	0,033	0,852	1,258	1,525	1,680	1,945	2,178
-0,3	0,050	0,853	1,245	1,510	1,643	1,890	2,104
-0,4	0,066	0,855	1,231	1,481	1,606	1,834	2,029
-0,5	0,083	0,856	1,260	1,465	1,567	1,777	1,955
-0,6	0,099	0,857	1,200	1,419	1,528	1,720	1,880
-0,7	0,116	0,857	1,183	1,386	1,488	1,663	1,806
-0,8	0,132	0,856	1,166	1,354	1,448	1,606	1,733
-0,9	0,148	0,854	1,147	1,320	1,407	1,549	1,660
-1,0	0,164	0,852	1,128	1,287	1,366	1,492	1,588
-1,2	0,195	0,844	1,086	1,217	1,282	1,379	1,449
-1,4	0,225	0,832	1,041	1,146	1,198	1,270	1,318
-1,6	0,254	0,817	0,994	1,075	1,116	1,166	1,197
-1,8	0,282	0,799	0,945	1,005	1,035	1,069	1,087
-1,9	0,295	0,788	0,920	0,971	0,997	1,025	1,039
-2,0	0,307	0,777	0,895	0,938	0,959	0,980	0,990
-2,2	0,330	0,752	0,844	0,873	0,888	0,900	0,905
-2,5	0,360	0,711	0,771	0,786	0,793	0,798	0,799
-3,0	0,396	0,636	0,660	0,664	0,666	0,666	0,667

### C.2. Uji Distribusi Probabilitas (Metode Chi – Kuadrat)

Uji Chi – Kuadrat (*Chi – Square*) dilakukan setelah menggambar hubungan antara kedalaman hujan atau debit dan nilai probabilitas. Uji Chi - Kuadrat menggunakan nilai  $\chi^2$  yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\chi^2 = \sum_{t=1}^N \frac{(Of - Ef)^2}{Ef} \dots\dots\dots (14)$$

Dimana:

$\chi^2$  = Nilai Chi - Kuadrat terhitung

$Ef$  = Frekuensi (banyak pengamatan) yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya

$Of$  = Frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama

$N$  = Jumlah sub kelompok dalam satu grup

Persamaan yang digunakan untuk menentukan titik pada kertas probabilitas adalah:

$$P = \frac{m}{n+1} \dots\dots\dots (15)$$

Dimana:

$P$  = Probabilitas

$m$  = Nomor peringkat untuk pengamatan kejadian hujan tertentu

$n$  = Jumlah tahun atau total pengamatan kejadian tahun

Nilai  $\chi^2$  yang diperoleh harus lebih kecil dari nilai  $\chi_{cr}^2$  (*Chi-Kuadrat* kritis), untuk suatu derajat nyata tertentu, yang sering diambil 5%. Derajat kebebasan dihitung dengan persamaan:

$$DK = K - (\alpha + 1) \dots\dots\dots (16)$$

Dimana:

$DK$  = Derajat kebebasan

$K$  = Banyaknya kelas

$\alpha$  = Banyaknya keterikatan (banyaknya parameter)

Dimana persamaan yang digunakan menentukan jumlah kelas adalah:

$$K = 1 + \log n \dots\dots\dots (17)$$

Dimana:

$K$  = Jumlah kelas

$n$  = Jumlah data

**Tabel 4.** Nilai Chi – Krisis Distribusi Chi – Kuadrat

Dk	$\alpha$ (alpha)									
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,9	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,000	0,000	0,001	0,004	0,016	2,706	3,842	5,024	6,635	7,879
2	0,010	0,020	0,051	0,103	0,211	4,605	5,992	7,378	9,210	10,597
3	0,072	0,115	0,216	0,352	0,584	6,251	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	1,064	7,779	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,146	1,610	9,236	11,071	12,833	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	2,204	10,645	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	2,833	12,017	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,647	2,180	2,733	3,490	13,362	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	4,168	14,684	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,940	4,865	15,987	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,054	3,816	4,575	5,578	17,275	19,675	21,920	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	6,304	18,549	21,026	23,337	26,217	28,300
13	3,565	4,107	5,009	5,892	7,042	19,812	22,362	24,736	27,688	29,820
14	4,075	4,660	5,629	6,571	7,790	21,064	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	8,547	22,307	24,996	27,488	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	9,312	23,542	26,296	28,845	32,000	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	10,085	24,769	27,587	30,191	33,409	35,719
18	6,265	7,015	8,231	9,391	10,865	25,989	28,869	31,526	34,805	37,157
19	6,844	7,633	8,907	10,117	11,651	27,204	30,144	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,260	9,591	10,851	12,443	28,412	31,410	34,170	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	13,240	29,615	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,543	10,982	12,338	14,042	30,813	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,260	10,196	11,689	13,091	14,848	32,007	35,173	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	15,659	33,196	36,415	39,364	42,980	45,559
25	10,520	11,524	13,120	14,611	16,473	34,382	37,653	40,647	44,314	46,928
26	11,160	12,198	13,844	15,379	17,292	35,563	38,885	41,923	45,642	48,290
27	11,808	12,879	14,573	16,151	18,114	36,741	40,113	43,195	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	18,939	37,916	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,257	16,047	17,708	19,768	39,088	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,954	16,791	18,493	20,599	40,256	43,773	46,979	50,892	53,672

### **C.3. Perhitungan Debit Banjir Rencana**

Debit banjir rencana (*design flood*) adalah debit maksimum di sungai atau saluran alamiah dengan periode ulang yang sudah ditentukan yang dapat dialirkan tanpa membahayakan stabilitas bangunan-bangunan yang ada di badan sungai. Perhitungan debit banjir rencana dalam studi ini dimaksudkan untuk menghitung debit banjir rencana untuk memprediksi banjir maksimum yang akan terjadi. Data-data yang digunakan untuk perhitungan debit banjir antara lain adalah:

1. Data curah hujan yang meliputi tinggi curah hujan harian maksimum, letak dan jaringan stasiun hujan serta periode pencatatan curah hujan
2. Data karakteristik topografi DAS yang meliputi bentuk dan ukuran DAS, kemiringan lereng dan luas catchment area serta beda tinggi antara elevasi puncak dan rencana site embung.
3. Kondisi geologi DAS meliputi jenis batuan dan struktur geologi
4. Karakteristik tata guna lahan dan morfologi sungai

Dalam studi ini metode yang digunakan untuk menentukan debit banjir adalah Metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu (SKSNI M-18-1989-F). Untuk menghitung debit banjir dengan metode hidrograf satuan Nakayasu, sebagai langkah awal dihitung dulu curah hujan rencana. Dari data curah hujan maksimum harian kemudian dicari besarnya curah hujan rencana dengan kala ulang tertentu sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan.

Metode Nakayasu adalah metode yang berdasarkan teori hidrograf satuan yang menggunakan hujan efektif (bagian dari hujan total yang menghasilkan limpasan langsung). Parameter-parameter yang mempengaruhi analisis banjir dengan metode Nakayasu ini adalah:

#### 1. Intensitas Curah Hujan

Intensitas curah hujan adalah jumlah curah hujan yang dinyatakan dalam tinggi hujan atau volume hujan tiap satuan waktu, yang terjadi pada satu kurun waktu air hujan terkonsentrasi (Wesli, 2008). Besarnya intensitas curah hujan berbeda-beda tergantung dari lamanya curah hujan dan frekuensi kejadiannya. Intensitas curah hujan yang tinggi pada umumnya berlangsung dengan durasi pendek dan meliputi daerah yang tidak luas. Hujan yang meliputi daerah luas, jarang sekali dengan intensitas tinggi, tetapi dapat berlangsung dengan durasi cukup panjang. Salah satu metode untuk menghitung intensitas curah hujan adalah dengan menggunakan metode Mononobe dengan persamaan sebagai berikut:

$$R_t = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{T}\right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (18)$$

Dimana:

$R_t$  = Rata-rata hujan dari awal sampai jam ke T (mm/jam)

$T$  = Waktu hujan dari awal sampai jam ke T (jam)

$R_{24}$  = Tinggi hujan maksimum dalam 24 jam (mm/jam)

$$R_T = T \times R_t - (T - 1) \times R_{(T-1)} \dots\dots\dots (19)$$

Dimana:

$R_T$  = Intensitas curah hujan pada jam T (mm/jam)

$R_{(T-1)}$  = Rata-rata curah hujan dari awal sampai jam ke- (T-1)

## 2. Pola Distribusi Hujan

Dalam perencanaan, curah hujan rancangan yang ditetapkan berdasarkan analisis perlu diubah menjadi lengkung intensitas curah hujan. Lengkung tersebut diperoleh berdasarkan data curah hujan dalam rentang waktu yang pendek, seperti menit atau jam. Lengkung intensitas curah hujan dengan durasi pendek ini kemudian akan ditentukan berdasarkan data hujan harian menggunakan metode *Modified Mononobe* dengan persamaan sebagai berikut:

$$R_t = \frac{R_{24}}{tc} \times \left(\frac{tc}{t}\right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (20)$$

Dimana:

$R_t$  = Intensitas curah hujan dengan untuk lama hujan t (mm/jam)

$R_{24}$  = Curah hujan maksimum selama 24 jam (mm)

$tc$  = Waktu konsentrasi hujan (jam)

$t$  = Durasi hujan (jam)

### 3. Curah Hujan Efektif ( $R_e$ )

Curah hujan efektif dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R_e = f \times R_t \dots\dots\dots (21)$$

Dimana:

$R_e$  = Hujan efektif (mm/jam)

$f$  = Koefisien pengaliran sungai

$R_t$  = Intensitas curah hujan (mm/jam)

### 4. Analisis Hidrograf Banjir Rencana

Analisa Hidrograf banjir rencana yang digunakan dalam studi ini adalah Hidrograf satuan sintetik Nakayasu. Penggunaan metode ini, memerlukan beberapa karakteristik parameter daerah alirannya, seperti:

- a. Tenggang waktu dari titik berat hujan sampai titik berat hidrograf (*time lag*)
- b. Tenggang waktu hidrograf (*time base of hydrograph*)
- c. Luas daerah aliran sungai
- d. Panjang alur sungai utama terpanjang (*length of the longest channel*)
- e. Koefisien pengaliran

Persamaan dari hidrograf satuan Nakayasu adalah (Soemarto, 1987):



$$Q_p = \frac{(A \times R_0)}{3,6 (0,3T_p + T_{0,3})} \dots\dots\dots (22)$$

Dimana:

$Q_p$  = Debit puncak banjir (m<sup>3</sup>/detik)

$R_0$  = Hujan satuan (1 mm)

$A$  = Luas daerah pengaliran sungai (km<sup>2</sup>)

$T_p$  = Waktu permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

$T_{0,3}$  = Waktu dari puncak banjir sampai 30% debit puncak banjir (jam)

Untuk menentukan  $T_p$  dan  $T_{0,3}$  digunakan pendekatan persamaan sebagai berikut:

$$T_p = T_g + 0,8T_r \dots\dots\dots (23)$$

$$T_{0,3} = \alpha \times T_g \dots\dots\dots (24)$$

$$T_r = 0,5T_g \text{ sampai } T_g \dots\dots\dots (25)$$

$T_g$  adalah waktu antara sampai debit puncak banjir (jam).  $T_g$  dihitung dengan ketentuan berikut:

$$T_g = 0,4 + 0,058L \text{ (Untuk sungai dengan panjang alur } L > 15 \text{ km) } \dots\dots\dots (26)$$

$$T_g = 0,21 \times L^{0,7} \text{ (Untuk sungai dengan panjang alur } L < 15 \text{ km) } \dots\dots\dots (27)$$

Dimana:

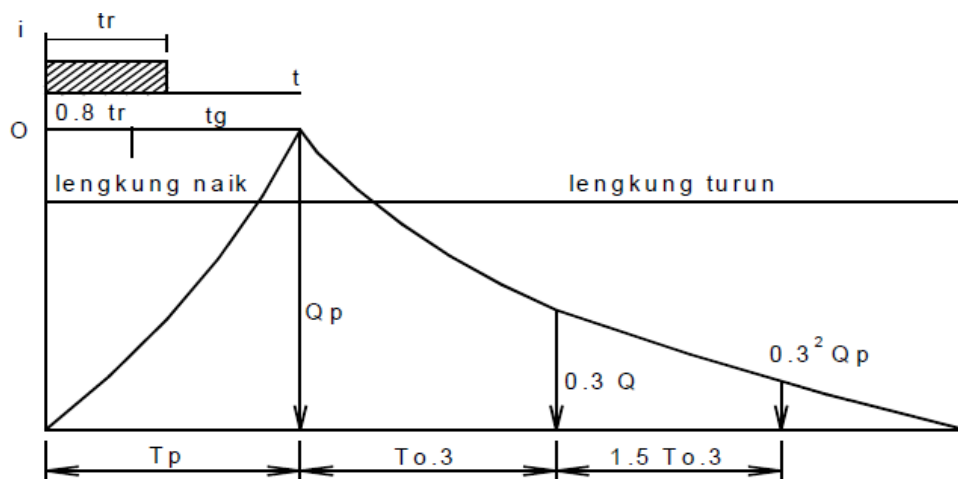
$T_r$  = Satuan waktu curah hujan (jam)

$\alpha$  = Parameter hidrograf, dimana:

$\alpha = 2,0$  (Pada daerah aliran biasa)

$\alpha = 1,5$  (Pada bagian naik hidrograf lambar, turun cepat)

$\alpha = 3,0$  (Pada bagian naik hidrograf cepat, turun lamba)



**Gambar 1.** Sketsa Hidrograf Satuan Sintetis Metode Nakayasu

- Puncak hidrograf

$$Q_p = \frac{(A \times R_0)}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})} \dots\dots\dots (28)$$

- Bagian lengkung naik:  $0 < t < T_p$

$$Q_t = Q_p \left( \frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \dots\dots\dots (29)$$

- Bagian lengkung turun 1:  $0 \leq t \leq (T_p + T_{0,3})$

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{\frac{t-T_p}{T_{0,3}}} \dots\dots\dots (30)$$

- Bagian lengkung turun 2:  $(T_p + T_{0,3}) \leq t \leq (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{\frac{t-T_p+0,5T_{0,3}}{1,5T_{0,3}}} \dots\dots\dots (31)$$

- Bagian lengkung turun 3:  $t > (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{\frac{t-T_p+1,5T_{0,3}}{2,0T_{0,3}}} \dots\dots\dots (32)$$

## 5. Debit Banjir Rencana (Q)

Debit banjir rencana dihitung dengan prinsip superposisi dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_n = R_{e1} \times UH_n + R_{e2} \times UH_{(n-1)} + R_{e3} \times UH_{(n-2)} + \dots + R_n \times UH_1 \dots\dots (33)$$

Dimana:

$Q_n$  = Debit pada saat jam ke- n ( $m^3/detik$ )

$R_{e1}$  = Hujan rencana efektif jam ke- 1 ( $mm/jam$ )

$UH_n$  = Ordinat hidrograf satuan

$Q_i$  = Total debit banjir pada jam ke i akibat limpasan hujan efektif  
( $m^3/detik$ )

## D. Analisis Hidrolis Bendung

Bendung adalah suatu bangunan yang dibangun melintang terhadap sungai dengan maksud agar air dapat dinaikan untuk dimanfaatkan, misalnya untuk mengairi daerah irigasi. Ketinggian bendung tersebut tergantung dari ketinggian muka air rencana pada lokasi bendung.

Dengan direncanakannya bendung tetap, bendung tetap ini biasanya dibangun pada daerah yang kondisinya cukup stabil, sehingga apabila terjadi perubahan kondisi sungai dan pengaruhnya terhadap fungsi bendung tidak begitu besar. Bendung ini biasanya tidak dilengkapi dengan pintu-pintu yang berhubungan dengan fluktuasi muka air terhadap musim kecil.

#### **D.1. Tinggi Bendung**

Faktor pembatas dalam menentukan elevasi mercu bendung adalah:

1. Elevasi muka air yang diperlukan
2. Debit sungai yang disadap
3. Geologi tanah pondasi

Penentuan elevasi mercu bendung ini sendiri dengan menjumlahkan faktor-faktor sebagai berikut.

1. Elevasi sawah tertinggi
2. Tinggi genangan di sawah
3. Kehilangan tinggi tekanan antara lain:
  - Dari sungai ke saluran primer
  - Dari saluran primer ke saluran sekunder
  - Dari saluran sekunder ke saluran tersier
  - Karena kemiringan sungai
  - Karena alat-alat ukur
4. Persediaan tinggi tekan antara lain:

- Untuk bangunan pengairan yang lain
- Untuk eksploitasi

## D.2. Lebar Bendung

Lebar bendung, yaitu jarak antara pangkal-pangkalnya (*abutment*), sebaiknya sama dengan lebar rata-rata sungai pada bagian yang stabil. Di bagian ruas bawah sungai, lebar rata-rata ini dapat diambil pada debit penuh (*bankful discharge*): di bagian ruas atas mungkin sulit untuk menentukan debit penuh. Dalam hal ini banjir rata-rata tahunan dapat diambil untuk menentukan lebar rata-rata bendung. Lebar maksimum bendung hendaknya tidak lebih dari 1,2 kali lebar rata-rata sungai pada ruas yang stabil.

Untuk sungai-sungai yang mengangkut bahan-bahan sedimen kasar yang berat, lebar bendung tersebut harus lebih disesuaikan lagi terhadap lebar rata-rata sungai, yakni jangan diambil 1,2 kali lebar sungai tersebut.

Lebar efektif mercu ( $Be$ ) dihubungkan dengan lebar mercu yang sebenarnya ( $B$ ), yakni jarak antara pangkal-pangkal bendung dan/atau tiang pancang, dengan persamaan berikut:

$$Be = B - 2(n \times Kp + Ka)H_1 \dots\dots\dots (34)$$

Dimana:

$Be$  = Lebar efektif mercu bendung (m)

$B$  = Lebar mercu sebenarnya (m)

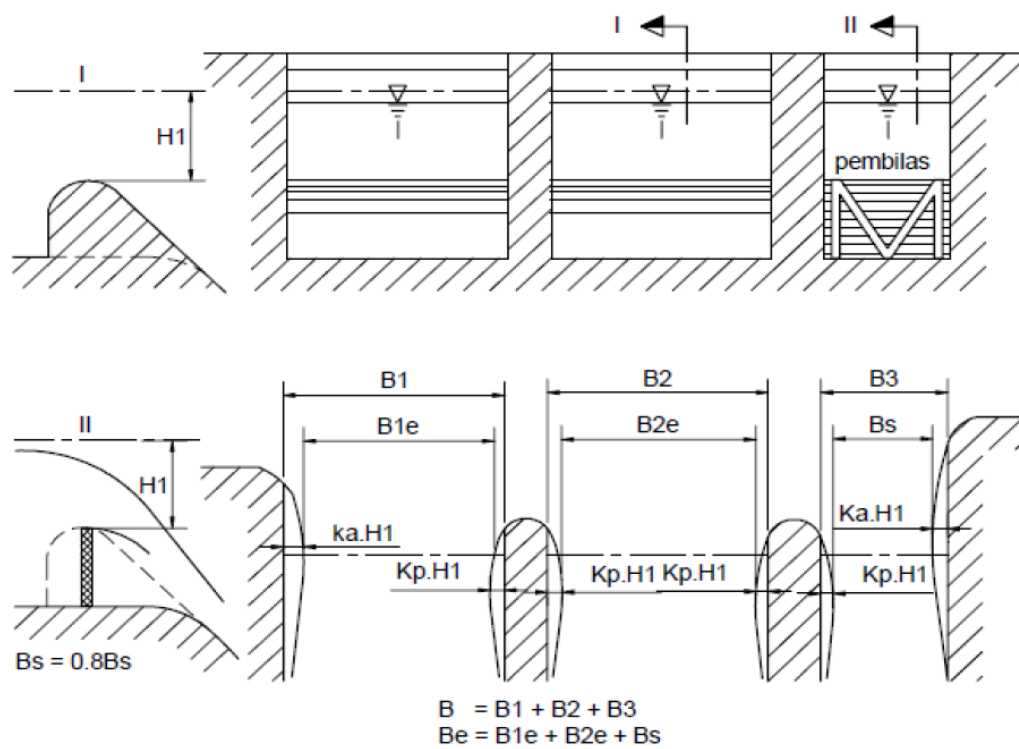
$n$  = Jumlah pilar

$K_p$  = Koefisien kontraksi pilar

$K_a$  = Koefisien kontraksi pangkal bendung

$H_1$  = Tinggi energi (m)

Harga – harga koefisien  $K_a$  dan  $K_p$  diberikan pada tabel 5.



**Gambar 2.** Lebar Efektif Mercu Bendung

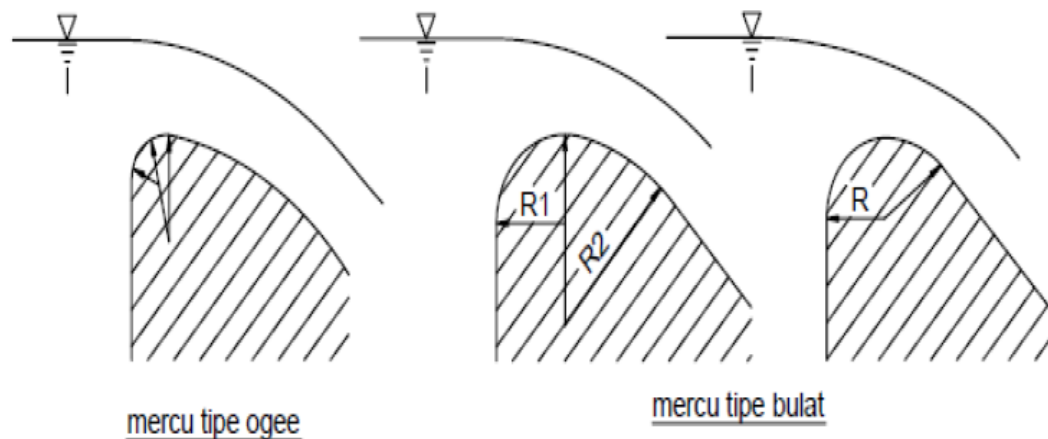
**Tabel 5.** Harga - Harga Koefisien  $K_a$  dan  $K_p$ 

<i>Nilai <math>K_p</math></i>	
•Pilar berujung segi empat dengan sudut-sudut dibulatkan pada jari-jari yang hampir sama dengan 0,1 dari tebal pilar	0,02
•Pilar berujung bulat	0,01
•Pilar berujung runcing	0
<i>Nilai <math>K_a</math></i>	
•Pangkal tembok segi empat dengan tembok hulu pada $90^\circ$ ke arah aliran	0,20
•Pangkal tembok bulat dengan tembok hulu pada $90^\circ$ ke arah aliran dengan $0,5 H_1 > r > 0,15 H_1$	0,10
•Pangkal tembok bulat dimana $r > 0,15 H_1$ dan tembok hulu tidak lebih dari $45^\circ$ ke arah aliran	0

Dalam memperhitungkan lebar efektif, lebar pembilas yang sebenarnya (dengan bagian depan terbuka) sebaiknya diambil 80% dari lebar rencana untuk mengkompensasi perbedaan koefisien debit dibandingkan dengan mercu bendung itu sendiri (lihat gambar 2).

## **D.2. Perencanaan Mercu**

Di Indonesia pada umumnya digunakan dua tipe mercu untuk bendung pelimpah, yaitu mercu tipe bulat dan mercu tipe Ogee. Kedua bentuk mercu tersebut dapat dipakai baik untuk konstruksi beton maupun pasangan batu atau bentuk kombinasi dari keduanya.



**Gambar 3.** Bentuk - Bentuk Mercu

a. Mercu Bulat

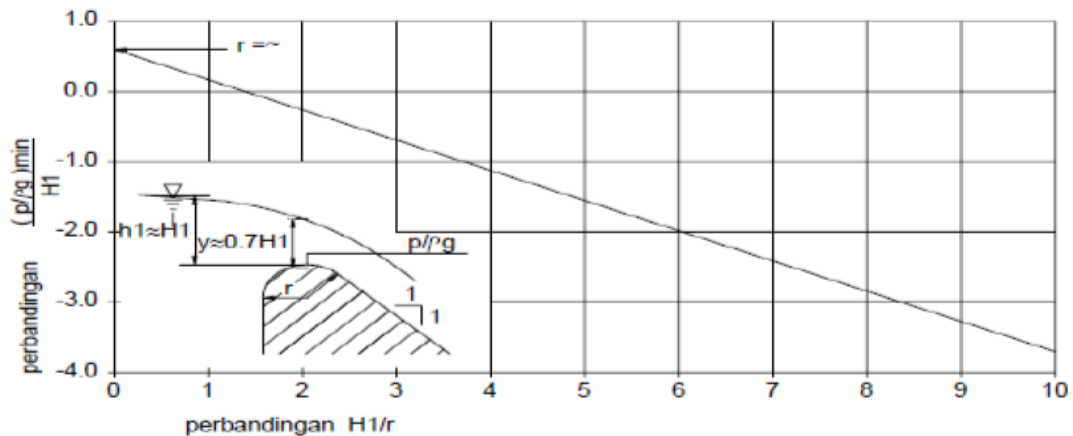
Bendung dengan mercu bulat memiliki harga koefisiensi debit yang jauh lebih tinggi (44%) dibandingkan dengan koefisiensi bendung ambang lebar. Pada sungai, ini akan banyak memberikan keuntungan karena bangunan ini akan mengurangi tinggi muka air hulu selama banjir. Harga koefisiensi debit menjadi lebih tinggi karena lengkung *streamline* dan tekanan negatif pada mercu.

Tekanan pada mercu adalah fungsi perbandingan antara  $H_1$  dan  $r$  ( $H_1/r$ ) (lihat Gambar 4). Untuk bendung dengan dua jari-jari ( $R_2$ ) (lihat Gambar 2), jari-jari hilir akan digunakan untuk menemukan harga koefisien debit.

Untuk menghindari bahaya kavitas lokal, tekanan minimum pada mercu bendung harus dibatasi sampai  $-4$  m tekanan air jika mercu terbuat



dari beton; untuk pasangan batu tekanan subatmosfir sebaiknya dibatasi sampai – 1 m tekanan air.



**Gambar 4.** Tekanan pada Mercu Bendung Bulat Sebagai Fungsi Perbandingan H1/r

Dari Gambar 4 tampak bahwa jari – jari mercu bendung pasangan batu akan berkisar antara 0,3 sampai 0,7 kali  $H_{1maks}$  dan untuk mercu bendung beton dari 0,1 sampai 0,7 kali  $H_{1maks}$ .

b. Mercu Ogee

Mercu Ogee berbentuk tirai luapan bawah dari bandung ambang tajam aerasi. Oleh karena itu mercu ini tidak akan memberikan tekanan subatmosfir pada permukaan mercu sewaktu bendung mengalirkan air pada debit rencana. Untuk debit yang lebih rendah, air akan memberikan tekanan ke bawah pada mercu.

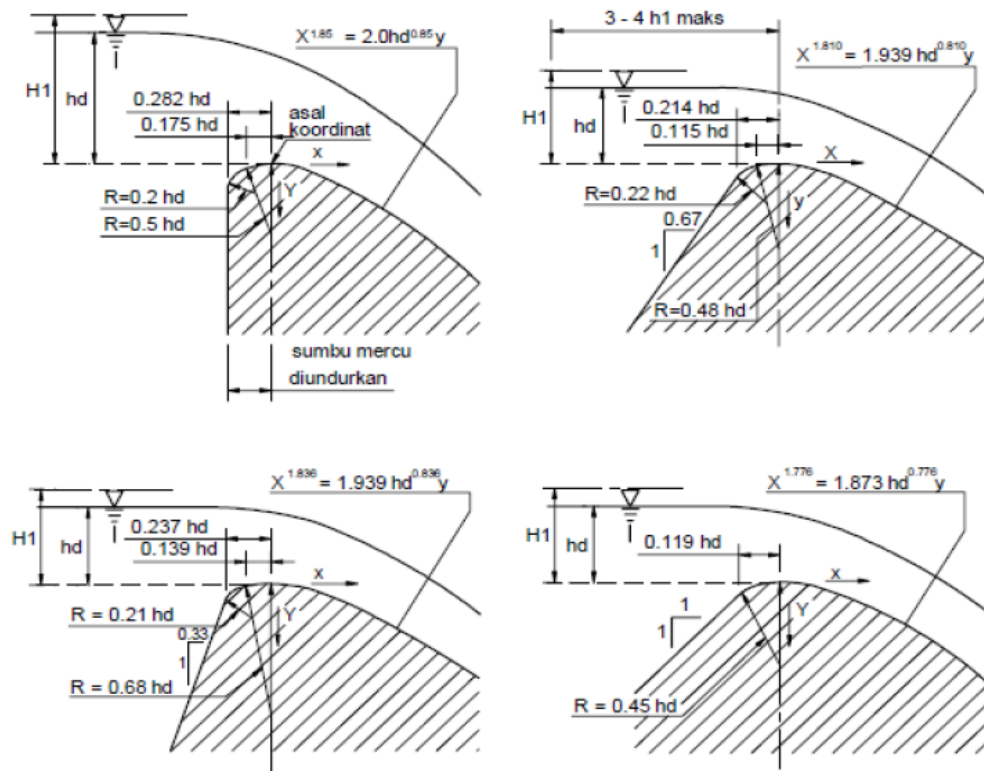
Untuk merencanakan permukaan mercu Ogee bagian hilir, *U.S. Army Corps of Engineers* telah mengembangkan persamaan berikut:

$$\frac{Y}{hd} = \frac{1}{K} \times \left[ \frac{X}{hd} \right]^n \dots\dots\dots (35)$$

Dimana:

$X$  dan  $Y$  = Koordinat – koordinat permukaan hilir (lihat Gambar 5)

$hd$  = Tinggi energi diatas mercu



**Gambar 5.** Bentuk - Bentuk Bendung Mercu Ogee (U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experimental Station)

Harga-harga  $K$  dan  $n$  adalah parameter. Harga-harga ini bergantung kepada kecepatan dan kemiringan permukaan belakang. Tabel 6 menyajikan harga-harga  $K$  dan  $n$  untuk berbagai kemiringan hilir dan kecepatan pendekatan yang rendah.

**Tabel 6.** Harga - Harga K dan n

Kemiringan Permukaan Hilir	K	n
Vertikal	2,000	1,850
3 : 1	1,936	1,836
3 : 2	1,939	1,810
1 : 1	1,873	1,776

Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung tinggi energi debit untuk bendung ambang pendek dengan pengontrol segi empat adalah:

$$Q = C_d \times \frac{2}{3} \times \sqrt{\frac{2}{3} g} \times b \times H_1^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots (36)$$

Dimana:

$Q$  = Debit banjir rencana (m<sup>3</sup>/detik)

$C_d$  = Koefisien debit ( $C_0 \times C_1 \times C_2$ )

$g$  = Percepatan gravitasi (9,81 m/detik<sup>2</sup>)

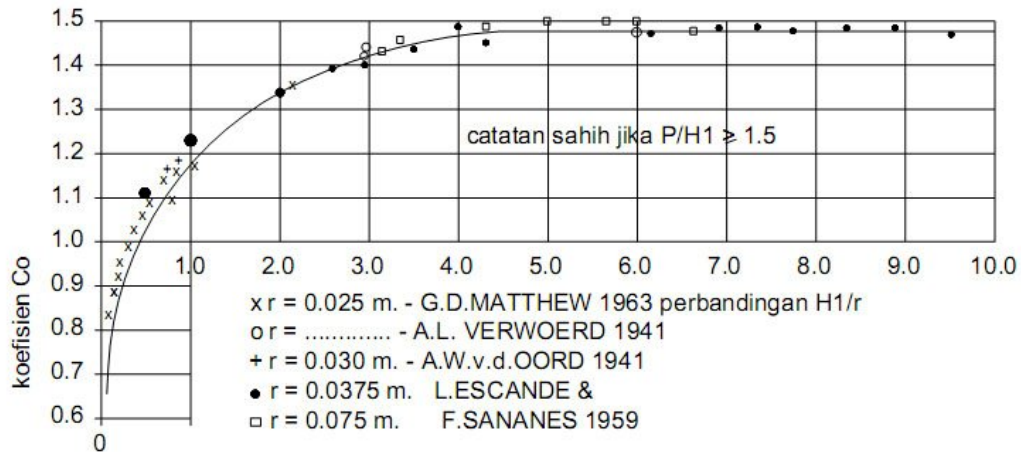
$b$  = Lebar bendung (m)

$H_1$  = Tinggi energi di atas mercu (m)

Koefisien debit ( $C_d$ ) adalah hasil dari:

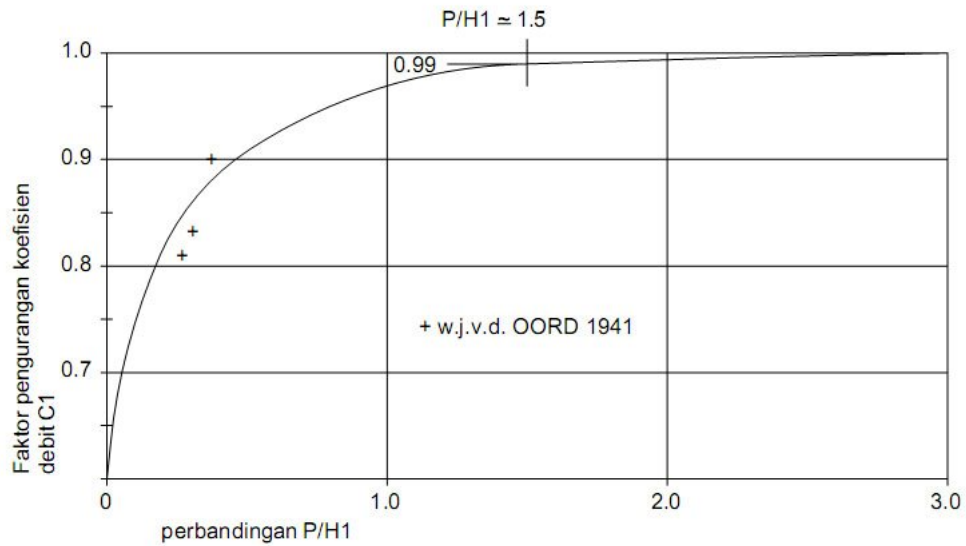
1.  $C_0$  yang merupakan fungsi  $H_1/r$  (lihat Gambar 6)
2.  $C_1$  yang merupakan fungsi  $p/H_1$  (lihat Gambar 7)
3.  $C_2$  yang merupakan fungsi  $p/H_1$  dan kemiringan muka hulu bendung (lihat Gambar 8)

$C_0$  mempunyai harga maksimum 1,49 jika nilai  $H_1/r$  lebih dari 5,0. Harga – harga  $C_0$  pada gambar 6 dapat digunakan apabila mercu bendung cukup tinggi di atas rata-rata alur pengarah ( $p/H_1 \geq$  sekitar 1,5).



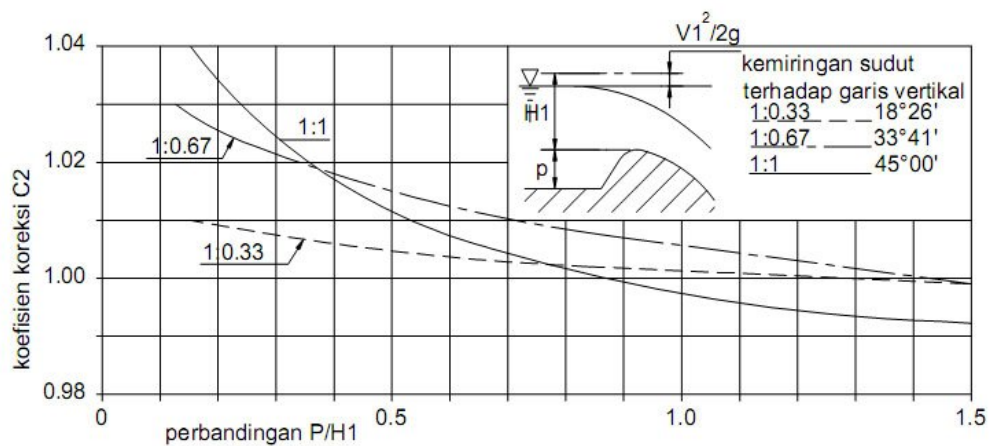
**Gambar 6.** Harga - Harga Koefisien  $C_0$  Untuk Bendung Mercu Bulat Sebagai Fungsi Perbandingan  $H_1/r$

Dalam tahap perencanaan  $p$  dapat diambil setengah jarak dari mercu sampai dasar rata-rata sungai sebelum bendung tersebut dibuat. Untuk harga-harga  $p/H_1$  yang kurang dari 1,5, maka Gambar 7 dapat dipakai untuk menemukan faktor pengurangan  $C_1$ .



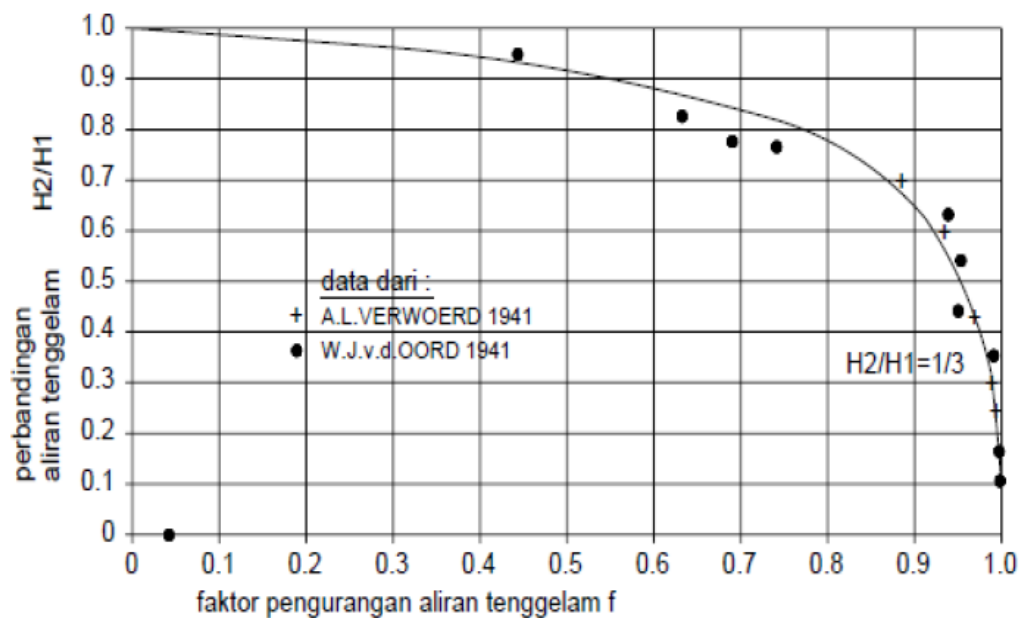
**Gambar 7.** Koefisien  $C_1$  Sebagai Perbandingan  $p/H_1$

Harga-harga koefisien koreksi untuk pengaruh kemiringan muka bendung bagian hulu terhadap debit diberikan pada Gambar 8. Harga koefisien koreksi,  $C_2$ , diandaikan kurang lebih sama dengan harga faktor koreksi untuk bentuk-bentuk mercu tipe Ogee.



**Gambar 8.** Harga-harga Koefisien  $C_2$  untuk Bendung Mercu Tipe Ogee

Harga-harga faktor pengurangan aliran tenggelam  $f$  sebagai fungsi perbandingan tenggelam dapat diperoleh dari Gambar 9. Faktor pengurangan aliran tenggelam mengurangi debit dalam keadaan tenggelam.



**Gambar 9.** Faktor Pengurangan Aliran Tenggelam Sebagai Fungsi  $H_2/H_1$

### D.3. Tinggi Muka Air di atas Mercu

Persamaan yang digunakan untuk menghitung tinggi muka air di atas mercu adalah:

$$H_d = H_1 - H_a \dots\dots\dots (37)$$

Dimana:

$H_d$  = Tinggi muka air di atas mercu bendung (m)

$H_1$  = Tinggi energi (m)

Nilai  $H_a$  didapatkan dari persamaan:

$$H_a = \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (38)$$

Dimana:

$H_a$  = Tinggi persamaan energi (m)

$g$  = Percepatan gravitasi (9,81 m/detik<sup>2</sup>)

Nilai  $v$  didapatkan dari persamaan:

$$v = \frac{Q}{Be \times H_1} \dots\dots\dots (39)$$

Dimana:

$v$  = Kecepatan aliran (m/detik)

$Q$  = Debit banjir rencana (m<sup>3</sup>/detik)

$Be$  = Lebar efektif bendung (m)

#### **D.4. Tinggi Muka Air di Hilir Bendung**

Persamaan yang digunakan untuk menghitung tinggi muka air di hilir bendung adalah persamaan Manning sebagai berikut:

$$v = \frac{1}{n} \times \sqrt[3]{R^2} \times \sqrt{i} \dots\dots\dots (40)$$

Dimana:

$v$  = Kecepatan aliran (m/detik)

$n$  = Koefisien Manning

$R$  = Jari – jari hidrolis (m)

$i$  = Kemiringan saluran

Nilai jari-jari hidrolis ( $R$ ) didapatkan dari persamaan:

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots (41)$$

Dimana:

$A$  = Luas penampang ( $m^2$ )

$P$  = Keliling penampang (m)

Luas ( $A$ ) dan keliling ( $P$ ) penampang didapatkan dari persamaan:

$$A = b \times h \dots\dots\dots (42)$$

$$P = b + 2h \dots\dots\dots (43)$$

Dimana:

$b$  = Lebar bendung (m)

$h$  = Kedalaman air (m)

Persamaan lain yang digunakan adalah:

$$Q = A \times v \dots\dots\dots (44)$$

Dimana:

$Q$  = Debit banjir rencana ( $m^3$ /detik)



## D.5. Perencanaan Kolam Olak

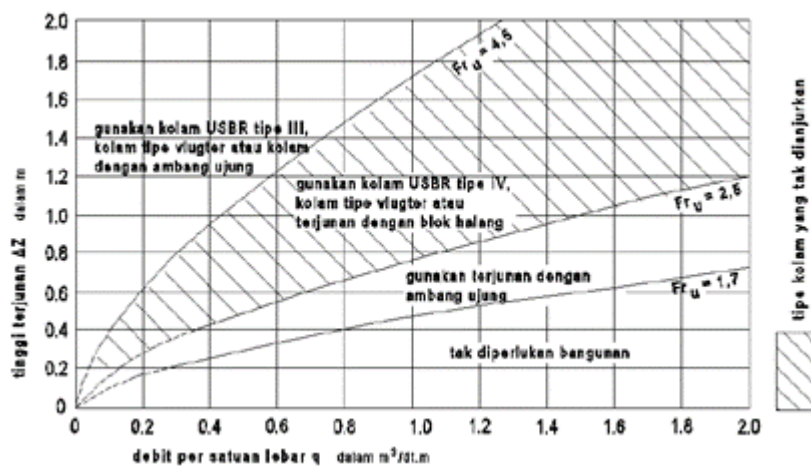
Tipe kolam olak yang akan direncana di sebelah hilir bangunan bergantung pada energi air yang masuk, yang dinyatakan dengan bilangan *Froude*, dan pada bahan konstruksi kolam olak.

### a. Kolam Olak Tipe USBR

Beberapa tipe kolam olak ini telah dikembangkan oleh USBR. Pinggir dari tipe ini adalah vertikal dan pada umumnya mempunyai lantai yang panjang, blok-blok dan ambang hilir biasa maupun ambang hilir bergigi. Ruang olak dengan blok-blok dan ambang tidak baik untuk sungai yang mengangkut batu. Macam-macam kolam olak tipe USBR sebagai berikut:

- Kolam olak USBR I, kolam yang terbentuk oleh loncatan hidraulik yang terjadi pada lantai dasar. Tipe ini biasanya tidak praktis karena terlalu panjang dan dipakai untuk bilangan *Froude* ( $Fr = 2,5 - 4,5$ ).
- Kolam olak USBR II, dikembangkan untuk kolam olak yang banyak digunakan pada bendungan tinggi, bendungan urug tanah dan struktur-struktur saluran besar. Kolam olak dilengkapi dengan blok-blok di ujung hulu dan ambang bergigi di ujung hilir. Panjang kolam olak dapat diperoleh dari kurva yang dibuat oleh biro tersebut. Kolam olak USBR II dapat dipakai pada bilangan *Froude* lebih besar atau sama dengan 4,5 ( $Fr \geq 4,5$ ), dengan catatan kecepatan  $v_1 \leq 16$  m/detik untuk menghindari gravitasi.

- Kolam olak USBR III, digunakan pada bangunan drainase kecil dengan panjang ruang olak  $\left[ \frac{4,5y_2}{Fr \times 0,76} \right]$ , tetapi mempunyai faktor keamanan yang lebih tinggi. Kolam USBR III dapat dipakai untuk bilangan *Froude* lebih besar atau sama dengan 4,5 ( $Fr \geq 4,5$ ), apabila kecepatan  $v_1 \geq 16$  m/detik.
- Kolam olak USBR IV dirancang untuk mengatasi persoalan pada loncatan hidrolis yang berosilasi. Kolam olak ini hanya dapat digunakan untuk penampang persegi panjang. Kolam olak USBR IV dipakai untuk bilangan *Froude* 2,5 sampai 4,5 ( $2,5 \geq Fr \geq 4,5$ ).



**Gambar 10.** Diagram untuk Memperkirakan Tipe Bangunan yang Akan Digunakan untuk Perencanaan Detail

b. Kolam Olak Tipe *Vlugter*

Kolam olak tipe *Vlugter* khusus dikembangkan untuk bangunan terjun di saluran irigasi. Batas-batas yang diberikan untuk  $\frac{z}{hc}$  0,5; 2,0 dan 15,0 dihubungkan dengan bilangan *Froude* 1,0; 2,8 dan 12,8. Bilangan-bilangan *Froude* itu diambil pada kedalaman  $z$  dibawah tinggi energi hulu,

bukan pada lantai kolam seperti untuk kolam loncat air. Kolam *Vlugter* bisa dipakai sampai beda tinggi energi z tidak lebih dari 4,50 m dan atau dalam lantai ruang olak sampai mercu (D) tidak lebih dari 8 m serta pertimbangan kondisi porositas tanah di lokasi bendung dalam rangka pekerjaan pengeringan.

#### D.6. Perencanaan Lantai Muka

Metode yang digunakan dalam perhitungan lantai muka adalah metode *Lane* dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$LT = \sum LV + \sum \frac{1}{3} LH \dots\dots\dots (45)$$

Dimana:

$LT$  = Panjang total (m)

$LV$  = Panjang vertikal bidang kontak (m)

$LH$  = Panjang horizontal bidang kontak (m)

#### D.7. Perencanaan Pangkal Bendung

Pangkal-pangkal bendung (*abutment*) menghubungkan bendung dengan tanggul-tanggul sungai dan tanggul-tanggul banjir. Pangkal bendung harus mengarahkan aliran air dengan tenang di sepanjang permukaannya dan tidak menimbulkan turbulensi. Elevasi pangkal bendung di sisi hulu bendung sebaiknya lebih tinggi daripada elevasi air (yang terbungung) selama terjadi debit rencana. Tinggi jagaan yang harus diberikan adalah 0.75 m sampai 1.50 m, bergantung kepada kurve debit

sungai di tempat itu; untuk kurva debit datar 0.75 m akan cukup; sedang untuk kurva yang curam akan diperlukan 1.50 m untuk memberikan tingkat keamanan yang sama.

### **E. Stabilitas Bendung**

Stabilitas perlu dianalisa untuk mengetahui apakah konstruksi bangunan ini kuat atau tidak, agar diperoleh bendung yang benar-benar stabil, kokoh dan aman dari berbagai gaya-gaya yang bekerja pada tubuh bendung maupun oleh berat tubuh bendung itu sendiri. Perhitungan stabilitas bendung perlu dicari besarnya gaya-gaya yang berusaha mengikat dan mendorong bendung dari kedudukannya, perhitungan dilakukan dengan meninjau keamanan dari tubuh bendung terhadap adanya bahaya guling, geser dan daya dukung tanah. Anggapan-anggapan dalam perhitungan stabilitas:

1. Titik lemah bendung terletak pada ambang ujung hilir bendung yang memungkinkan terjadi geser dan guling.
2. Stabilitas bendung dapat dilakukan dengan berbagai kondisi seperti: kondisi kosong, kondisi kosong dengan gempa, kondisi normal, kondisi normal sedimen, kondisi normal gempa, kondisi banjir, dll.

Dalam perencanaan konstruksi suatu bangunan, analisa stabilitas selalu diperhitungkan.

Kontrol-kontrol stabilitas selalu diperhitungkan terhadap:

1. Stabilitas terhadap guling
2. Stabilitas terhadap geser
3. Stabilitas terhadap daya dukung tanah

Gaya-gaya yang bekerja pada bendung:

1. Tekanan air
2. Tekanan lumpur
3. Gaya gempa
4. Berat bangunan sendiri
5. Reaksi pondasi (daya dukung)

Dalam perencanaan konstruksi bendung, faktor keamanan harus diperhitungkan. Untuk mengetahui keamanan tubuh bendung harus diadakan cek stabilitas. Di dalam analisa stabilitas dilakukan kontrol terhadap gaya guling, geser dan daya dukung tanah.

### **E.1. Stabilitas Terhadap Guling**

1. Keadaan Normal

$$SF = \frac{MT}{MG} > 1,5 \dots\dots\dots (46)$$

2. Keadaan Gempa

$$SF = \frac{MT}{MG} > 1,3 \dots\dots\dots (47)$$

Dimana:

$SF$  = Angka keamanan

$MT$  = Momen tahanan

$MG$  = Momen guling

## E.2. Stabilitas Terhadap Geser

### 1. Keadaan Normal

$$SF = \frac{f \times \Sigma V}{\Sigma H} > 1,5 \dots \dots \dots (48)$$

### 2. Keadaan Gempa

$$SF = \frac{f \times \Sigma V}{\Sigma H} > 1,3 \dots \dots \dots (49)$$

Dimana:

$SF$  = Angka keamanan

$f$  = Koefisien geser ( $\text{tg } \phi$ )

$\Sigma V$  = Jumlah gaya vertikal

$\Sigma H$  = Jumlah gaya horizontal

## E.3. Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

Apabila 1.  $e = \left[ \left( \frac{\Sigma M}{\Sigma V} \right) - \left( \frac{L}{2} \right) \right] < \frac{L}{6}$ , maka:

$$\sigma_{maks/min} = \left( \frac{\Sigma V}{L} \right) \times \left[ 1 \pm \frac{6 \times e}{L} \right] < \sigma_{ijin} \dots \dots \dots (50)$$

Apabila 2.  $e = \left[ \left( \frac{\Sigma M}{\Sigma V} \right) - \left( \frac{L}{2} \right) \right] < \frac{L}{2}$ , maka:

$$\sigma_{maks/min} = \frac{2 \times \Sigma V}{\left[ 3 \times \left( \frac{L}{2} \pm e \right) \times B \right]} < \sigma_{ijin} \dots \dots \dots (51)$$