



## **PERENCANAAN BENDUNG DAMAR KABUPATEN KENDAL, JAWA TENGAH**

Suhardi, Yandi Purbangsa, Sri Eko Wahyuni<sup>\*)</sup>, Sugiyanto<sup>\*)</sup>

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

### **ABSTRAK**

Bendung Damar merupakan suatu bangunan air yang akan dibangun pada Kali Damar yang terletak di desa Pageruyung, Kabupaten Kendal. Tujuan dari dibangunnya bendung Damar adalah merencanakan kebutuhan air irigasi untuk sawah di sekitarnya. Dalam perencanaan bendung Damar digunakan debit banjir rencana sebesar  $111 \text{ m}^3/\text{det}$  dengan periode ulang 50 tahun. Bendung Damar menggunakan mercu bulat dengan tinggi mercu 2,5 m dan lebar efektif 23,7 m. Panjang lantai muka untuk bendung Damar direncanakan sepanjang 3,0 m dan menggunakan kolam olak USBR Tipe IV. Saluran kantong lumpur sepanjang 40 m dengan lebar dasar saluran sebesar 1,5 m. Rencana waktu pembangunan yang diperlukan adalah 28 minggu dengan total anggaran Rp 10.185.086.00,00 (Sepuluh Milyar Seratus Delapan Puluh Lima Juta Delapan Puluh Enam Ribu Rupiah).

**kata kunci :** *bendung, debit banjir rencana, irigasi*

### **ABSTRACT**

*Damar weir is a hydraulic structure which will construct in Pageruyung village, Kendal district. The objective of Damar weir construction is designed to fulfill the needs of irrigation water for the rice fields around the area. According to the analysis the flood discharge plan of Damar weir is  $111 \text{ m}^3/\text{sec}$  with 50 years return period. The weir is using a rounded crest weir with effective width 23,7 m and height of the crest is 2,5 m. The length of the upstream apron floor is 3,0 m and uses the USBR Type IV stilling basin. The length of the sand trap is 40 m with the width of channel base 1,5 m. The time schedule of this project is 28 weeks and the budget plan is Rp 10.185.086.00,00 (Ten Billion, One Hundred And Eighty Five Million, Eighty Six Thousand Rupiah).*

**keywords:** *weir, flood discharge plan, irrigation*

### **PENDAHULUAN**

Jawa Tengah merupakan sebuah provinsi yang terletak di bagian tengah Pulau Jawa, memiliki luas wilayah  $34.548 \text{ km}^2$  atau sekitar 28,94% dari luas Pulau Jawa. Menurut Lembaga Pertanian Tanah Bogor tahun 1969, jenis tanah wilayah Jawa Tengah didominasi

---

<sup>\*)</sup> *Penulis Penanggung Jawab*

oleh tanah latosol, aluvial dan grumusol sehingga hamparan tanah di provinsi Jawa Tengah termasuk tanah yang mempunyai tingkat kesuburan yang relatif baik. Kondisi tanah yang relatif subur membuat pertanian merupakan sektor utama perekonomian provinsi Jawa Tengah, dimana mata pencaharian di bidang ini digeluti hampir separuh dari tenaga kerja sebesar 42,34%.(Wikipedia)

Kondisi DAS Kali Damar khususnya yang berada di Kecamatan Pageruyung, Kabupaten Kendal masih terdapat lahan pertanian tadah hujan. Dalam perkembangannya ketersediaan air untuk mengairi areal tersebut masih kurang. Oleh karena itu maka diperlukan usaha untuk memenuhi kebutuhan air, salah satunya dengan membangun bendung. Bendung yang dibangun diharapkan dapat memenuhi kebutuhan air irigasi di areal persawahan yang dinilai kurang ketersediaan airnya maupun dapat dimanfaatkan untuk memperluas atau membuka lahan pertanian baru.

## **PERMASALAHAN**

Permasalahan pada daerah irigasi yang berada di sekitar DAS Kali Damar ini adalah jenis sawahnya yang berupa sawah tadah hujan. Sawah tadah hujan ini ketersediaan airnya pada musim hujan dapat tercukupi, sedangkan pada musim kemarau tidak dapat tercukupi.

## **METODOLOGI**

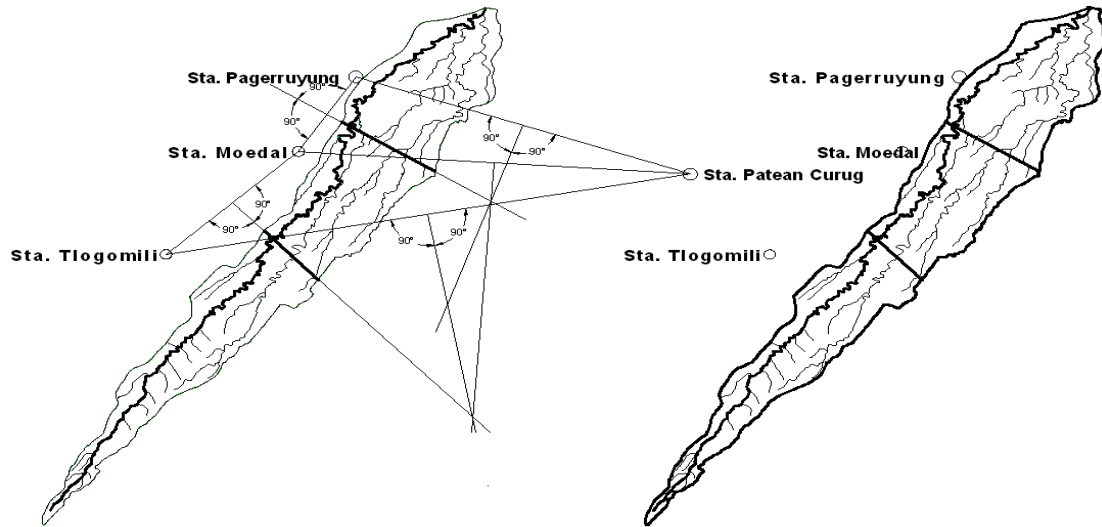
Perencanaan bendung Damar diawali dengan tahapan persiapan yaitu survei pendahuluan ke lokasi perencanaan untuk mendapatkan gambaran mengenai kondisi di lapangan. Tahap berikutnya adalah pengumpulan data-data yang diperlukan untuk perencanaan. Metodologi yang digunakan dalam penulisan studi adalah sebagai berikut:

- Survei pendahuluan
- Pengumpulan data
- Analisis data
- Perencanaan konstruksi dan analisis stabilitas bendung
- Pembuatan gambar rencana
- Perhitungan RAB dan Penjadwalan

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Analisis Curah Hujan Harian Maksimum Tahunan**

Terdapat 4 stasiun hujan yang terletak di DAS Damar, akan tetapi berdasarkan polygon Thiessen seperti pada Gambar 1 terdapat 1 stasiun hujan yang jauh letaknya sehingga tidak memiliki pengaruh terhadap DAS Damar. Pada Gambar 1 juga menunjukkan sudut yang dihasilkan dari polygon Thiessen tersebut merupakan sudut tumpul sedangkan untuk polygon Thiessen sebaiknya merupakan sudut lancip. Oleh karena itu metode polygon Thiessen dianggap kurang pas sehingga dipilih menggunakan metode rata-rata Aljabar.



Gambar 1. Polygon Thiessen DAS Damar

Perhitungan curah hujan harian rata-rata maksimum dihitung dengan menggunakan rumus rata-rata aljabar seperti di bawah ini :

$$\bar{R} = \frac{R^1 + R^2 + \dots + Rn}{n}$$

di mana :

$\bar{R}$  = Curah hujan rata-rata DAS (mm).

$R^1 + R^2 + \dots + Rn$  = Curah hujan pada setiap stasiun hujan (mm).

$n$  = Banyaknya stasiun hujan.

Tabel 1. Curah Hujan Harian Maksimum Tahunan

Tahun	Rmax (mm)
1997	107.67
1998	57.00
1999	81.33
2000	72.33
2001	75.33
2002	52.00
2003	79.33
2004	76.67
2005	106.33
2006	151.00
2007	187.67
2008	257.33
2009	257.33

### Perhitungan Distribusi Curah Hujan

Distribusi curah hujan yang digunakan adalah distribusi metode *Log Pearson Tipe III* dengan nilai sebaran sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil perhitungan curah hujan rencana dengan metode log pearson tipe III

Tr	Xrt	Stdev	K	$X_{tr} = X_{rt} + S_x K$	$X = \text{arc Ln } X_{tr}$
(Tahun)				(mm)	(mm)
10	4.647	0.535	1.331	5.36	212.48
20	4.647	0.535	1.747	5.58	265.52
25	4.647	0.535	1.956	5.69	296.81
50	4.647	0.535	2.388	5.92	373.98
100	4.647	0.535	2.796	6.14	465.34
200	4.647	0.535	3.186	6.35	573.42
1000	4.647	0.535	4.043	6.81	907.06

### Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana sebagai dasar perencanaan bendung Damar ini dihitung menggunakan beberapa metode, diantaranya adalah metode Rasional, *Haspers* dan metode FSR Jawa Sumatera.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Debit Banjir Rencana

Periode Ulang	Rasional	<i>Haspers</i>	FSR Jawa Sumatera	<i>Passing Capacity</i>
(Tahun)	(m <sup>3</sup> /det)	(m <sup>3</sup> /det)	(m <sup>3</sup> /det)	(m <sup>3</sup> /det)
10	62.99	48.49	58.52	
20	78.71	60.6	70.52	
25	87.99	67.74	73.9	
<b>50</b>	<b>110.86</b>	85.35	88.15	<b>99,64</b>
100	137.95	106.2	104.28	
200	169.97	130.85	122.66	
1000	268.87	206.99	175.55	

Dari tabel di atas didapatkan hasil yang berbeda dari 3 metode yang sudah dilakukan dengan menggunakan rumus pendekatan. Debit yang didapatkan dari metode pendekatan kemudian dibandingkan dengan debit yang dihasilkan dari metode *Passing Capacity* maka debit banjir rencana yang paling mendekati adalah debit banjir dengan metode Rasional yaitu sebesar 110,86 m<sup>3</sup>/det.

### Debit Andalan

Debit andalan (*dependable flow*) merupakan debit minimum sungai untuk kemungkinan terpenuhi yang sudah ditentukan yang dapat dipakai untuk memenuhi kebutuhan air irigasi. Debit andalan dapat digunakan untuk menentukan luas daerah irigasi yang dapat diairi. Perhitungan debit andalan menggunakan cara analisis *water balance* dari *Dr. F.J Mock* berdasarkan data curah hujan bulanan, jumlah hari hujan, evapotranspirasi dan karakteristik hidrologi daerah pengaliran.

Tabel 4. Rekapitulasi Debit Andalan

No.	Jan (m <sup>3</sup> /dt)	Feb (m <sup>3</sup> /dt)	Mar (m <sup>3</sup> /dt)	Apr (m <sup>3</sup> /dt)	Mei (m <sup>3</sup> /dt)	Jun (m <sup>3</sup> /dt)	Jul (m <sup>3</sup> /dt)	Ags (m <sup>3</sup> /dt)	Sep (m <sup>3</sup> /dt)	Okt (m <sup>3</sup> /dt)	Nov (m <sup>3</sup> /dt)	Des (m <sup>3</sup> /dt)
1	1.819	1.325	1.171	0.431	0.378	0.233	0.16	0.107	0.094	0.111	0.174	0.306
2	2.148	2.061	1.444	0.461	0.471	0.233	0.168	0.111	0.106	0.119	0.177	0.358
<b>3</b>	<b>2.268</b>	<b>2.073</b>	<b>1.624</b>	<b>0.477</b>	<b>0.537</b>	<b>0.268</b>	<b>0.192</b>	<b>0.123</b>	<b>0.106</b>	<b>0.119</b>	<b>0.18</b>	<b>0.508</b>
4	2.299	2.127	1.74	0.49	0.632	0.268	0.192	0.123	0.114	0.131	0.18	0.563
5	2.406	2.429	1.969	1.152	0.687	0.352	0.239	0.163	0.127	0.132	0.192	0.71
6	2.533	2.95	2.132	2.047	0.806	0.365	0.241	0.175	0.153	0.172	0.235	0.978
7	2.955	3.469	2.221	2.168	0.86	0.574	0.376	0.263	0.191	0.183	0.236	1.149
8	3.029	4.199	2.361	2.874	0.995	0.69	0.498	0.326	0.273	0.195	0.26	1.767
9	4.006	4.473	2.805	3.074	1.404	0.764	0.506	0.354	0.288	0.231	0.433	2.743
10	4.154	4.72	3.8	3.112	2.214	0.78	0.648	0.391	0.331	0.315	0.446	2.87
11	6.845	5.465	5.132	3.117	2.358	1.502	1.011	1.155	0.8	0.992	0.764	2.93
12	8.083	12.901	5.368	3.773	2.534	2.034	1.115	1.231	0.969	1.048	1.018	4.202
13	8.565	13.274	6.468	6.094	3.241	3.06	1.415	1.254	1.013	1.163	4.983	6.097

**Neraca Air**

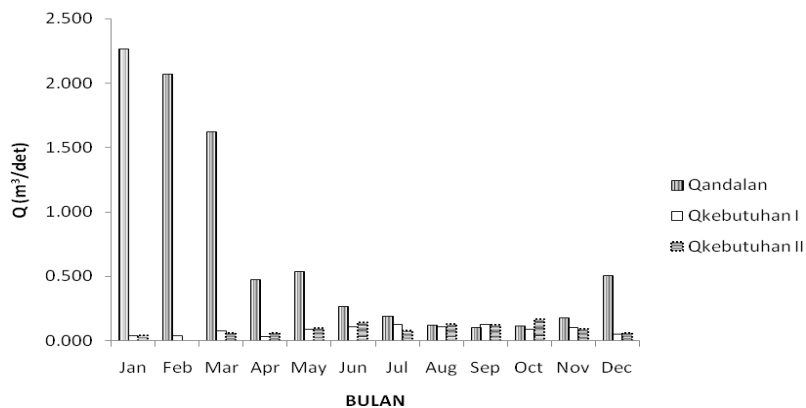
Neraca air (*water balance*) adalah perbandingan kebutuhan pengambilan untuk pola tanam yang dipakai akan dengan debit andalan dan luas daerah yang bisa diairi. Jika debit memenuhi maka pola tanam yang telah dihitung sebelumnya dapat dipakai. Jika debit andalan kurang dari debit yang dibutuhkan, maka ada 3 hal yang dapat dilakukan yaitu :

- 1). Luas daerah irigasi dikurangi.
- 2). Melakukan modifikasi pola tanam.
- 3). Memberlakukan rotasi teknis / golongan.

Neraca air pada DAS Damar sesuai perhitungan yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel dan grafik dibawah ini.

Tabel 5. Perhitungan Neraca Air

	Bulan												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
Q <sub>andalan</sub>	2.268	2.073	1.624	0.477	0.537	0.268	0.192	0.123	0.106	0.119	0.18	0.508	
Q <sub>kebutuhan</sub>	I	0.038	0.037	0.073	0.032	0.087	0.11	0.126	0.107	0.124	0.09	0.102	0.053
	II	0.041	0	0.061	0.059	0.097	0.14	0.079	0.127	0.121	0.168	0.095	0.062

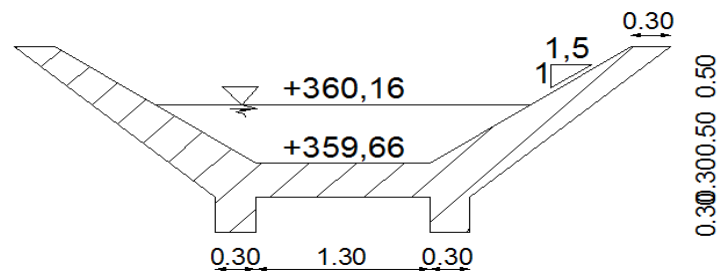


Gambar 2. Neraca Air

### Saluran Primer

Saluran primer adalah saluran yang berfungsi membawa air dari sumbernya dan membagikannya ke saluran sekunder. Air yang dibutuhkan untuk saluran irigasi didapat dari sungai, danau, atau waduk. Pada umumnya pengairan yang didapat dari sungai jauh lebih baik dari yang lainnya karena banyak mengandung zat lumpur yang merupakan bentk dari tanaman.

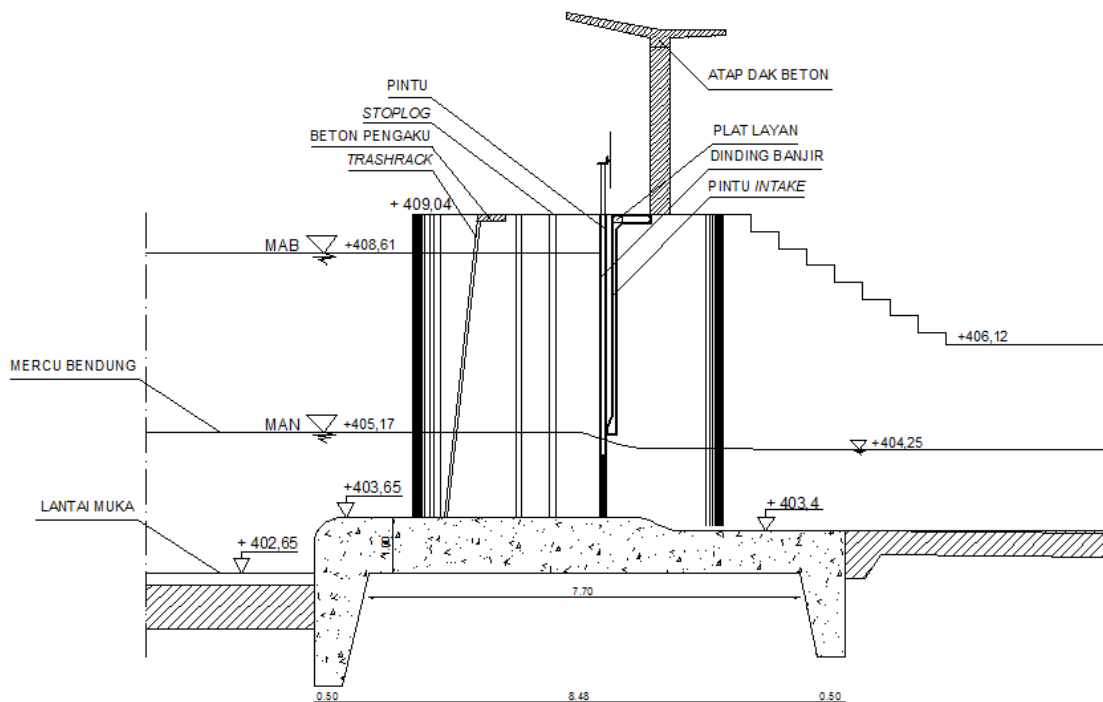
Penampang saluran primer yang digunakan pada studi ini dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Penampang Saluran Primer

### Bangunan Pengambilan (*Intake*)

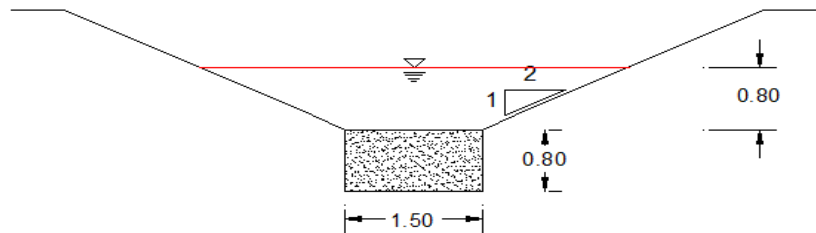
Pintu pengambilan dilengkapi dengan pintu dan bagian depannya terbuka untuk menjaga jika terjadi muka air tinggi selama banjir, besarnya bukaan pintu bergantung kepada kecepatan aliran masuk yang diizinkan. Kecepatan ini bergantung kepada ukuran butir bahan yang dapat diangkat.



Gambar 4. Bangunan Pengambilan

### Kantong Lumpur

Kantong lumpur merupakan pembesaran potongan melintang saluran sampai panjang tertentu untuk mengurangi kecepatan aliran dan kesempatan padasedimen untuk mengendap. Untuk menampung endapan sedimen tersebut, dasar bagian saluran tersebut diperdalam dan diperlebar. Tampungannya ini dibersihkan setiap jangka waktu tertentu dengan cara membilas sedimennya kembali ke sungai dengan aliran super kritis. Kantong lumpur ditempatkan di bagian awal dari saluran primer tepat di bagian belakang pengambilan.



Gambar 5. Penampang Saluran Kantong Lumpur

### Bangunan Pembilas

Bangunan pembilas adalah salah satu perlengkapan pokok bendung yang terletak di dekat dan menjadi satu kesatuan dengan *intake*. Berfungsi untuk menghindarkan angkutan muatan sedimen dan mengurangi muatan sedimen layang yang masuk ke *intake*.

Bangunan pembilas yang terdapat di Bendung Kali Damar menggunakan Bangunan Pembilas Konvensional yang terdiri dari satu dan dua lubang pintu, karena dibangun pada bendung kecil yang bentangnya berkisar 25 meter. (Desain Hidraulik Bendung Tetap : 64)

### Lebar Efektif Bendung

Lebar sungai yang akan di rencanakan untuk membangun bendung bervariasi antara 18 – 23 m, maka lebar sungai rata-rata diambil 20 m.

$$B = 1,2 \times \text{lebar sungai rata - rata}$$

$$B = 1,2 \times 20 \text{ m}$$

$$B = 24 \text{ m.}$$

$$B_e = B - 2(n \cdot K_p + K_a)H_1$$

$$B_e = 24 - 2(1 \times 0,01 + 0,1)H_1$$

$$B_e = 24 - 0,22 H_1 \text{ m.}$$

### Mercu Bendung

Untuk tipe mercu bendung di Indonesia pada umumnya digunakan dua tipe mercu, yaitu tipe *Ogee* dan tipe bulat. Perencanaan bendung Damar menggunakan tipe mercu bulat dengan 1 jari-jari dengan nilai  $r = 1,5 \text{ m}$ .

Untuk menghitung tinggi mercu bendung digunakan rumus berikut :

$$Q = \frac{2}{3} \times C_d \times B_e \times H_1^{1.5} \times \sqrt{\frac{2}{3} \times g}$$

dimana :

- Q = Q<sub>100</sub> = Debit banjir rencana (m<sup>3</sup>/det).
- C<sub>d</sub> = Koefisien debit = asumsi nilai c<sub>d</sub> = 1,3.
- B<sub>e</sub> = Lebar efektif bendung (m).
- H<sub>1</sub> = Tinggi energi di atas mercu bendung (m).

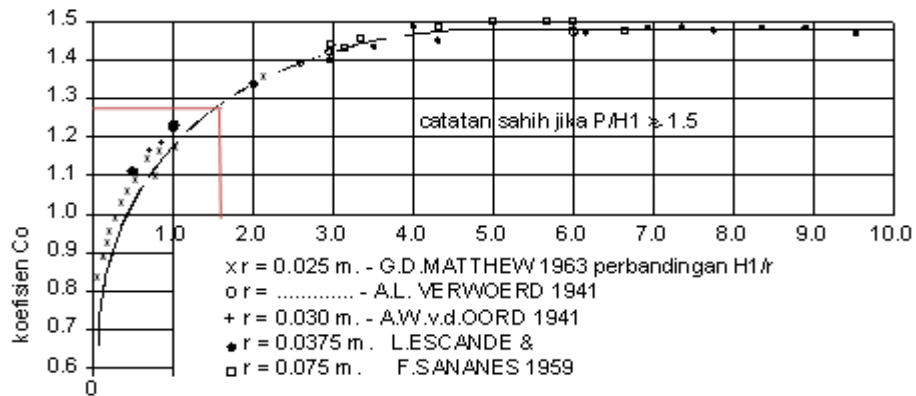
Dengan mengasumsimkan nilai C<sub>d</sub> = 1,3

$$110,86 = \frac{2}{3} \times 1,3 \times (24 - 0,22 H_1) \times H_1^{1.5} \times \sqrt{\frac{2}{3} \times 9,81}$$

$$H_1 = 1,68 \text{ m.}$$

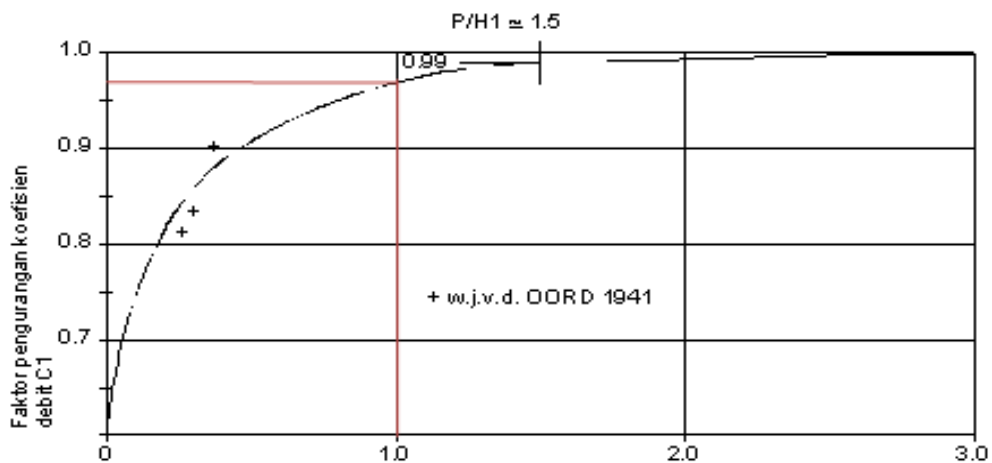
Direncanakan menggunakan mercu bulat dengan 1 jari-jari, di mana nilai r = 1,5 m.

$$\frac{H_1}{r} = \frac{3,69}{1,5} = 1,12 \rightarrow C_0 = 1,19 \text{ (Gambar 6)}$$



Gambar 6. Harga-harga Koefisien C<sub>0</sub> untuk Bendung Ambang Bulat Sebagai Fungsi Perbandingan H<sub>1</sub>/r

$$\frac{p}{H_1} = \frac{2,5}{1,68} = 1,48 < 1,5 \rightarrow C_1 = 0,99 \text{ (Gambar 7)}$$



Gambar 7. Koefisien C<sub>1</sub> Sebagai Fungsi Perbandingan P/H<sub>1</sub>



Kemiringan hulu tegak,  $C_2 = 1,004$

$C_d = C_0 \times C_1 \times C_2 = 1,19 \times 0,99 \times 1,004 = 1,18$

Karena nilai  $C_d = 1,18 \neq C_d = 1,3$ , maka dihitung kembali

$$Q = \frac{2}{3} \times C_d \times B_e \times H_1^{1,5} \times \sqrt{\frac{2}{3}g}$$

$$110,86 = \frac{2}{3} \times 1,18 \times (24 - 0,22 H_1) \times H_1^{1,5} \times \sqrt{\frac{2}{3} \times 9,81}$$

Dengan trial error, maka didapatkan nilai :

$H_1 =$  Tinggi energi di atas mercu = 1,76 m.

$B_e =$  Lebar efektif = 23,7 m.

### Kolam Olak

Kolam olak adalah suatu bangunan berupa olak di hilir bendung yang berfungsi untuk meredam energi yang timbul di dalam aliran air superkritis yang melewati pelimpah. Kolam olak yang digunakan pada perencanaan bendung Damar ini adalah kolam olak USBR Tipe IV dengan panjang lantai muka sepanjang 3,0 m dan tebal lantai kolam olak 1,80 m.

### Analisis Stabilitas Bendung

Analisis stabilitas bendung berdasarkan teori yang ada di hitung pada kondisi normal dan banjir.

a) Kondisi Kosong

- Terhadap Guling

$$SF = \frac{\Sigma MT}{\Sigma MG} = 256, \frac{77}{18}, 04 = 14,23 > 1,5 \text{ (aman)}$$

- Terhadap Geser

$$SF = f \frac{\Sigma RV}{\Sigma RH} = 0,75 \times \left(64, \frac{03}{12}, 11\right) = 3,96 > 1,5 \text{ (aman)}$$

- Terhadap Daya Dukung Tanah

• Eksentrisitas

$$e = \left(\frac{B}{2}\right) - \left(\frac{\Sigma MT - \Sigma MG}{RV}\right) = \left(6, \frac{55}{2}\right) - \left(\frac{256,77 - 18,04}{64}, 03\right) < \frac{B}{6}$$

$$e = 0,45 < \frac{B}{6} = 1,09 \text{ (aman)}$$

• Daya Tekanan Tanah

$$\sigma = \frac{RV}{Be} \left(1 + \frac{6 \cdot e}{Be}\right) = \frac{64,03}{6,55} \left(1 + \frac{6 \cdot 0,45}{6,55}\right) < \sigma_{ijin}$$

$$\sigma_{\max} = 13,79 \text{ t/m}^2 < 150,83 \text{ t/m}^2 \text{ (aman)}$$

b) Kondisi Normal

- Terhadap Guling

$$SF = \frac{\Sigma MT}{\Sigma MG} = 258, \frac{77}{137}, 29 = 1,88 > 1,5 \text{ (aman)}$$

- Terhadap Geser

$$SF = f \frac{\Sigma RV}{\Sigma RH} = 0,75 \times \left(34, \frac{16}{9}, 49\right) = 3,6 > 1,5 \text{ (aman)}$$

- Terhadap Daya Dukung Tanah

- Eksentrisitas

$$e = \left(\frac{B}{2}\right) - \left(\frac{\Sigma MT - \Sigma MG}{RV}\right) = \left(6, \frac{55}{2}\right) - \left(\frac{258,77 - 137,29}{34}, 16\right) = < \frac{B}{6}$$

$$e = 0,3 < \frac{B}{6} = 1,09 \text{ (aman)}$$

- Daya Tekanan Tanah

$$\sigma = \frac{RV}{Be} \left(1 + \frac{6 \cdot e}{Be}\right) = \frac{34,16}{6,55} \left(1 \pm \frac{6 \cdot 0,3}{6,55}\right) < \sigma_{ijin}$$

$$\sigma_{\max} = 6,9 \text{ t/m}^2 < 150,83 \text{ t/m}^2 \text{ (aman)}$$

- c) Kondisi Banjir

- Terhadap Guling

$$SF = \frac{\Sigma MT}{\Sigma MG} = 330, \frac{86}{201}, 80 = 1,64 > 1,5 \text{ (aman)}$$

- Terhadap Geser

$$SF = f \frac{\Sigma RV}{\Sigma RH} = 0,75 \times \left(53, \frac{91}{23}, 84\right) = 1,7 > 1,5 \text{ (aman)}$$

- Terhadap Daya Dukung Tanah

- Eksentrisitas

$$e = \left(\frac{B}{2}\right) - \left(\frac{MT - \Sigma MG}{RV}\right) = \left(6, \frac{55}{2}\right) - \left(\frac{330,86 - 201,80}{53}, 91\right) < \frac{B}{6}$$

$$e = 0,88 < \frac{B}{6} = 1,09 \text{ (aman)}$$

- Daya Tekanan Tanah

$$\sigma = \frac{RV}{Be} \left(1 + \frac{6 \cdot e}{Be}\right) = \frac{60,58}{6,55} \left(1 \pm \frac{6 \cdot 0,88}{6,55}\right) < \sigma_{ijin}$$

$$\sigma_{\max} = 16,62 \text{ t/m}^2 < 150,83 \text{ t/m}^2 \text{ (aman)}$$

### Rencana Anggaran Biaya dan Jadwal Pelaksanaan

Rencana waktu pembangunan yang diperlukan adalah 28 minggu dengan total anggaran Rp 10.185.086.00,00 (Sepuluh Milyar Seratus Delapan Puluh Lima Juta Delapan Puluh Enam Ribu Rupiah).

### KESIMPULAN

1. Perencanaan Bendung Damar menggunakan debit banjir 50 tahun ( $Q_{50}$ ) sebesar 111  $\text{m}^3/\text{det}$ .
2. Luas area sawah yang akan di air = 100 ha, dengan kebutuhan air sebesar 0,168  $\text{m}^3/\text{det}$ .
3. Tinggi mercu Bendung direncanakan setinggi 2,5 m dengan menggunakan tipe mercu bulat.
4. Bendung Damar memiliki lebar efektif sebesar 23,17 m.
5. Bendung Damar menggunakan kolam olak USBR Tipe IV dengan tebal lantai kolam olak 1,80 m.
6. Bendung Damar memiliki saluran kantong lumpur sepanjang 80 m dengan lebar dasar saluran sebesar 1,50 m.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Direktorat Jendral Departemen Pekerjaan Umum. 1986. *Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan*. Jakarta: Badan Penerbit Departemen Pekerjaan Umum
- Harto, Sri B.R. 1993. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Gadjah Mada Press University.
- Loebis, Joesron. 1992. *Banjir Rencana untuk Bangunan Air*. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Soemarto, C.D. 1995. *Hidrologi Teknik*. Jakarta: Erlangga.
- Soewarno. 1995. *Hidrologi (Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data)*. Bandung: Nova.
- Sosrodarsono, Suyono dan Kensaku Takeda. 1999. *Hidrologi untuk Pengairan*. Jakarta: Pradnya Paramita.