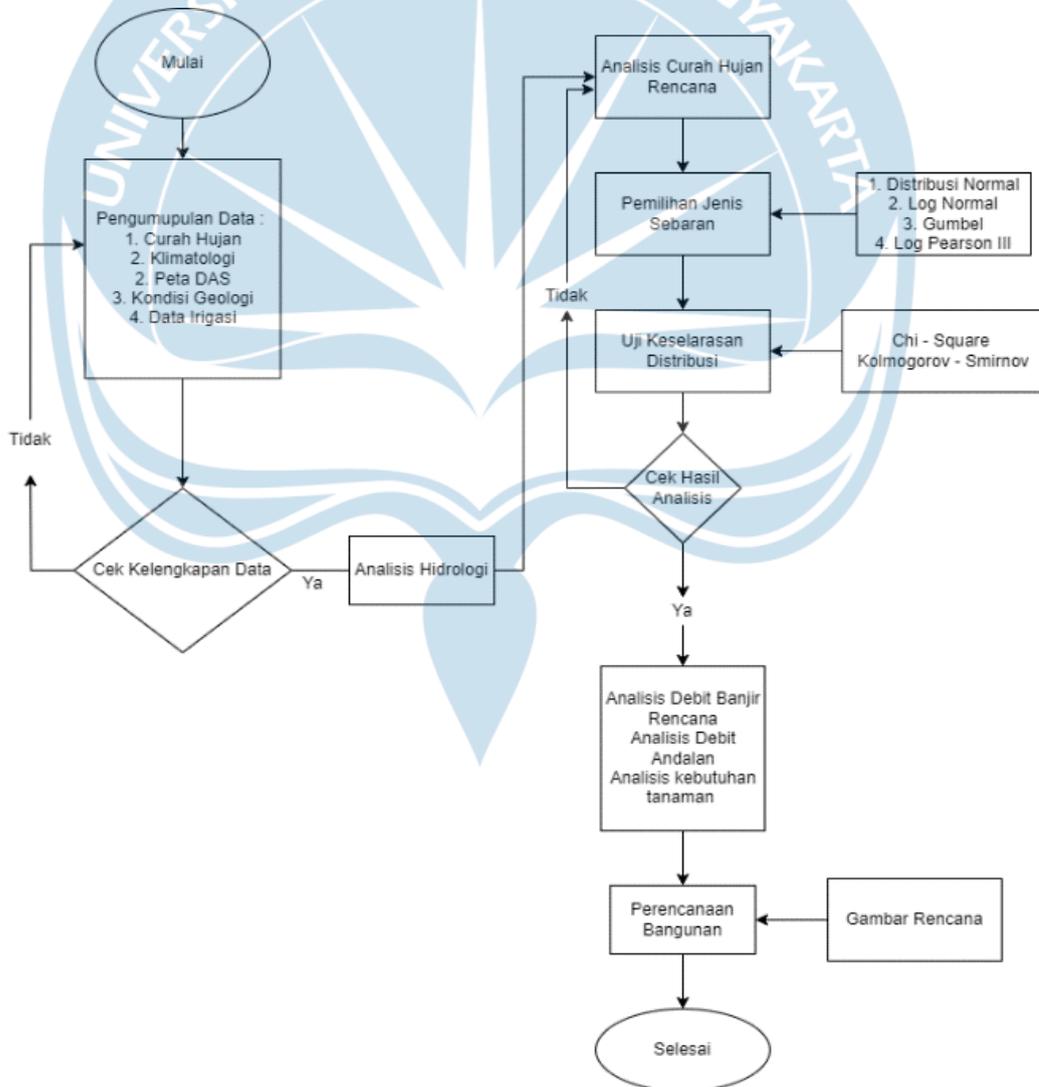


BAB II PERENCANAAN BENDUNG

2.1 Metode Perancangan

Metode perancangan pada perencanaan desain bendung Kenangan dapat dilihat pada Gambar 2.1. Metode perancangan bendung hanya difokuskan pada aspek hidrologis dengan data – data yang sudah didapatkan dan dikumpulkan untuk diolah dan dianalisis sehingga menghasilkan debit banjir maksimum rencana periode ulang 50 tahun, debit andalan, dan analisis kebutuhan air untuk tanaman. Tahapan – tahapan perencanaan bendung secara hidrolis dapat dilihat pada Gambar 2.1.

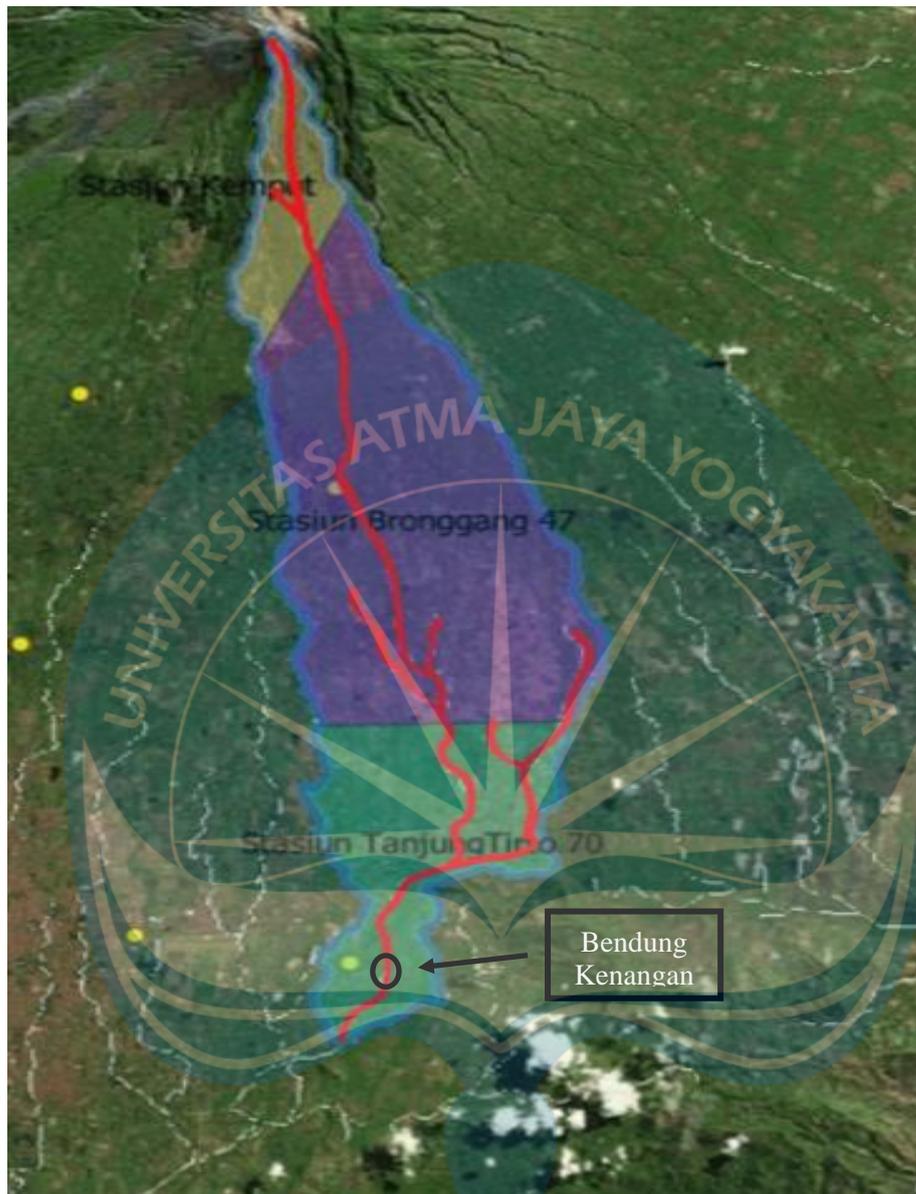


Gambar 2. 1 *Flowchart* Perancangan Hidrolis Bendung

2.2 Pemilihan Lokasi Bendung

Pada pemilihan lokasi bendung, kami memperhatikan beberapa faktor yang terdapat pada “Modul 08 : Perencanaan Bangunan Utama (Bendung) Diklat Teknis Perencanaan Irigasi Tingkat Dasar” yang dibuat oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Badan Pengembangan Sumber Daya Air, seperti keadaan topografi daerah yang akan dialiri tidak terlalu dalam pada daerah sekitar irigasi, pada aspek geoteknik pondasi bendung dipilih dasar sungai yang mempunyai daya dukung kuat, stratigrafi lapisan batuan miring ke arah hulu, tidak ada sesar aktif, dan dasar sungai hilir bendung tahan terhadap gerusan air, dari segi hidrolik dipilih sungai yang lurus, jika aliran sungai tidak lurus maka dapat dilakukan rekayasa perbaikan sungai, pada segi regime sungai hindari lokasi bendung pada sungai yang memiliki kemiringan sungai yang curam dan berbelok tajam, pada aspek irigasi memiliki ketinggian galian tebing kurang dari 8 meter, dan ketinggian timbunan kurang dari 6 meter, dan tingkat kemudahan pencapaian lokasi harus mudah karena untuk keperluan alat konstruksi yang masuk.

Titik Bendung yang direncanakan terletak di Sungai Opak pada Desa Candirejo, Kecamatan Brebah, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta dengan koordinat $7^{\circ}48'59.78''\text{S}$ LS dan $110^{\circ}27'42.93''\text{E}$ BT. Sedangkan untuk hulu Sungai Opak yang diamati berada pada puncak Gunung Merapi, seperti terlihat pada Gambar 2.2. Kemudian bendung kami memiliki area irigasi pada Desa Candirejo seluas 3,64 Ha yang dapat dilihat pada Gambar 2.3 dan pada Desa Sitimulyo seluas 177,60 Ha yang dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 2 DAS Opak dan Titik Bendung



Gambar 2. 3 Area Irigasi Pada Desa Candirejo



Gambar 2. 4 Area Irigasi Desa Sitimulyo

2.3 Analisis Hidrologi

Menurut Triatmojo (2008), hidrologi diartikan sebagai ilmu yang terkait dengan air di bumi, baik mengenai proses terjadinya, peredaran, dan penyebarannya, sifat – sifatnya dan hubungan dengan lingkungannya terutama dengan makhluk hidup. Analisis hidrologi dalam pelaksanaan perancangan bendung ini lebih pada analisis ketersediaan air dan kebutuhan air. Tujuan analisis ini untuk mengetahui potensi dan debit air atau potensi air.

Data klimatologi yang digunakan diambil dari Stasiun Iklim pada area layanan Daerah Irigasi Sleman. Data klimatologi tersebut digunakan dalam perhitungan kebutuhan air dan ketersediaannya (debit andalan), maka dari itu diperlukan data hujan dengan rentan waktu 10 tahun.

2.4 Analisis Frekuensi

Terdapat beberapa metode distribusi statistik yang dapat digunakan untuk mencari besar dari curah hujan rencana yaitu *Gumbel*, *Log Pearson*, *Log Normal*, dll. Untuk menentukan metode mana yang akan dipakai maka diperlukan uji perhitungan dengan Pengukuran dispersi dengan rumus – rumus sebagai berikut:

1. Harga rata – rata \bar{X} :

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

2. Standar deviasi (S_x):

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

3. Koefisien Skewness (C_s):

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n - 1)x(n - 2)xS^3}$$

4. Koefisien Curtosis (C_k):

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n - 1)x(n - 2)x(n - 3)xS^3}$$

5. Koefisien Variasi (C_v):

$$C_v = \frac{S_x}{\bar{X}}$$

Tabel 2. 1 Faktor Uji Distribusi

Faktor Uji Distribusi	
Harga Rata Rata X	81,50
Standar Deviasi (Sx)	15,00
Koefisien <i>Skewness</i> (Cs)	-0,31
Koefisien <i>Curtosis</i> (Ck)	6,89
Koefisien Variasi (Cv)	0,18

Tabel 2. 2 Faktor Uji Distribusi dalam Log

Faktor Uji Distribusi	
Harga Rata Rata X	1,90
Standar Deviasi (Sx)	0,09
Koefisien <i>Skewness</i> (Cs)	-0,93
Koefisien <i>Curtosis</i> (Ck)	0,03
Koefisien Variasi (Cv)	0,04

Faktor Uji Distribusi pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 dapat digunakan untuk menentukan metode distribusi yang akan dipakai dalam mencari curah hujan rencana dengan Uji Hasil Distribusi Statistik. Maka digunakan metode *Log Pearson III*, karena harga Cs = -0.93 yang artinya memenuhi syarat agar Cs \neq 0 seperti pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Uji Hasil Distribusi Statistik

Jenis Distribusi	Syarat	Perhitungan	Kesimpulan
Normal	$Cs \approx 0$	-0,31	Tidak Memenuhi
	$Ck = 0$	6,89	
Gumbel	$Cs \leq 1,1396$	-0,31	Tidak memenuhi
	$Ck \leq 5,4002$	6,89	
<i>Log Pearson III</i>	$Cs \neq 0$	-0,93	Memenuhi
<i>Log Normal</i>	$Cs \approx 3Cv + Cv^2 = 0,3$	0,14	Tidak Memenuhi

2.5 Uji Sebaran Metode (*Chi Kuadrat*)

Uji Sebaran dengan metode *Chi Kuadrat* dilakukan untuk menguji hubungan dari dua variabel kategori. Uji ini digunakan untuk membandingkan persamaan distribusi peluang terkait, untuk bisa mewakili distribusi statistik data

yang sudah di analisis.

Rumus dari *Chi Kuadrat* X^2Cr :

$$X^2Cr = \sum_{i=1}^n \left[\frac{Efi - Ofi}{Efi} \right]^2$$

Keterangan:

X^2Cr = Harga *Chi Kuadrat*

Efi = Banyaknya frekuensi yang diharapkan

Ofi = Frekuensi yang terbaca pada kelas i

n = Jumlah data = 10

Perhitungan derajat kebebasan:

K = $1 + 3,322 \text{ Log } n$

K = 4,3

DK = $K - (R+1)$

Dimana:

DK = Derajat kebebasan

K = Kelas

R = Banyaknya keterikatan, 2 untuk distribusi normal dan binominal

Tabel 2. 4 Hasil nilai kritis Uji Chi Kuadrat

DK	α							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,0000393	0,000157	0,000928	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,1000	0,021	0,03806	0,103	5,991	7,378	9,210	10,579
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,4848	0,711	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,070	12,832	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	2,733	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,940	18,307	20,483	23,209	25,188

Hasil perhitungan $DK = 2$, $\alpha = 0,05$ (5%). Maka dengan membaca Tabel 2.4 didapatkan hasil $X^2Cr = 5,991$.

Tabel 2. 5 Hasil Analisis X^2Cr

Nilai Batas Tiap Kelas	Ef	Of	$(Ef-Of)^2$	$(Ef-Of)^2/Ef$
$1,68 < Ri < 1,756$	2	1	1	0,5
$1.756 < Ri < 1.833$	2	0	4	2
$1.833 < Ri < 1.909$	2	4	4	2
$1.909 < Ri < 1.985$	2	3	1	0,5
$1.985 < Ri < 2,061$	2	2	0	0
Jumlah	10	10		5

Jika nilai X^2Cr analisis Tabel 2.5 kurang dari X^2Cr kritis Tabel 2.4, maka uji distribusi *Log Pearson III* bisa diterima. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa X^2Cr analisis bernilai 5, yang artinya kurang dari nilai X^2Cr kritis sebesar 5,991. Oleh karena itu, distribusi curah hujan metode *Log Pearson III* bisa digunakan.

2.6 Distribusi Curah Hujan Rencana

Untuk mengetahui besarnya curah hujan maksimum pada periode ulang tertentu perlu dilakukan analisis curah hujan rencana yang kemudian hasil dari curah hujan maksimum digunakan untuk menghitung debit banjir rencana.

Pada perencanaan bendung di Sungai Opak pada Desa Candirejo, Kabupaten Sleman ini curah hujan rencana yang dipakai adalah periode ulang 50 Tahun berdasarkan curah hujan rata – rata DAS yang dipakai.

Parameter yang digunakan untuk menghitung curah hujan maksimal rencana menggunakan metode *Log Pearson Tipe III* adalah sebagai berikut:

$$\text{Nilai rata – rata } (Log\bar{X}) = 1,904$$

$$\text{Standar Deviasi } (Sx) = 0,085$$

$$\text{Koefisien Skewness } (Cs) = -0,927$$

Parameter tersebut kemudian dimasukkan kedalam rumus:

$$\text{Log } R = \text{Log}\bar{X} + k \times Sx$$

Untuk nilai k menggunakan k = 1,532 (didapat dari hasil interpolasi pada tabel Nilai K Distribusi *Pearson Tipe III* menggunakan nilai Cs = -0,927 dan periode ulang yang dipakai adalah 50 Tahun). Sehingga didapatkan hasil curah hujan rencana maksimum sebesar 108,27 mm per hari (R = 108,27 mm/hari).

2.7 Perhitungan Debit Banjir Rencana

Metode yang dipakai untuk menghitung debit banjir rencana sebagai dasar perencanaan konstruksi bendung kenangan menggunakan metode Melchior karena luas DAS lebih dari 100 Km². Metode Melchior ini digunakan untuk menghitung debit banjir maksimal yang kemudian digunakan sebagai dasar perancangan tubuh bendung. Syarat penggunaan dari Metode Melchior ini adalah luas DAS > 100 Km². Secara umum dirumuskan sebagai berikut:

$$Q_{\text{maks}} = \alpha \times I \times A$$

Keterangan:

Q_{maks} = debit maksimum (m³/det)

α = koefisien pengaliran (0,52)

I = intensitas hujan (3,8 m³/det/Km²)

A = luas daerah pengaliran (126,5 Km²)

Hasil perhitungan debit banjir maksimum rencana dengan Metode Melchior di Daerah Aliran Sungai Opak yang dalam perencanaan bendung memiliki harga $Q_{\text{maks}} = 135 \text{ m}^3/\text{det}$.

2.8 Perhitungan Debit Andalan

Debit andalan adalah besarnya debit yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan air yang memiliki resiko kegagalan dari perhitungan yang dilakukan. Dalam perancangan bendung, harus mencari terlebih dahulu debit andalan yang memiliki tujuan untuk menentukan debit perencanaan yang diharapkan selalu tersedia di lokasi sungai (Soemarto, 1987). Debit andalan juga debit minimum sungai yang digunakan untuk pemenuhan keperluan irigasi, kebutuhan debit tersebut ditetapkan sebesar 80% dengan kemungkinan debit sungai lebih rendah dari debit andalan sebesar 20%.

Prinsip perhitungan debit andalan ini didasarkan pada siklus air di mana curah hujan yang jatuh di atas tanah akan mengalami beberapa proses. Sebagian akan hilang melalui penguapan (evaporasi), sebagian akan menjadi aliran permukaan (*direct run off*), dan sebagian akan meresap kedalam tanah (infiltrasi). Infiltrasi awalnya akan mengisi jenuh permukaan tanah (*top soil*) dan selanjutnya

menjadi perkolasi, akhirnya mengalir keluar ke sungai sebagai aliran dasar (*base flow*). Tahapan perhitungan debit andalan meliputi:

1. Data jumlah maksimum curah hujan per stasiun tiap bulan pada periode 1985 – 1994 P_{max} dari perhitungan *Polygon Thiessen*:

$$P = \frac{P_1A_1 + P_2A_2 + \dots + P_nA_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Keterangan:

P = Hujan rata-rata

P_1, P_2, P_n = Tebal hujan pada stasiun 1,2,n

A_1, A_2, A_n = Luas wilayah yang diwakili oleh stasiun 1,2,n

2. Probabilitas Weibull

$$P_b = \left(\frac{N}{M + 1} \right) \times 100\%$$

Keterangan:

N = Data ke n

M = Data terakhir pada tabel n

3. Debit andalan

$$Q_{80\%} = \alpha \times I \times A$$

Keterangan:

$Q_{80\%}$ = Debit maksimum (m^3/det)

α = Koefisien pengaliran

I = Intensitas hujan ($m^3/det/Km^2$)

A = Luas daerah pengaliran (Km^2)

Terlihat pada Tabel 2.6 dibawah bahwa hasil perhitungan debit andalan pada Sungai Opak berkisar $8.46 m^3/det$.

Tabel 2. 6 Hasil Perhitungan Debit Andalan

Data Ke N	Probabilitas	R	Q (m^3/det)
1	9%	61.81	77
2	18%	30.19	38
3	27%	27.67	35
4	36%	16.62	21

5	45%	11.16	14
6	55%	10.59	13
7	64%	9.14	11
8	73%	8.66	11
P	80%		8.46
9	82%	8.25	6
10	91%	7.22	3

2.9 Kebutuhan Air Untuk Tanaman

2.9.1 Analisis Kebutuhan Air

Kebutuhan air pada kasus ini adalah besaran debit air yang dibutuhkan untuk mengairi lahan di daerah irigasi. Terdapat 2 macam kebutuhan air, yaitu :

1. Kebutuhan air untuk tanaman (*consumptive use*)

Kebutuhan air yang diperlukan untuk tanaman dalam pertumbuhan jaringan tanaman, seperti akar, batang, dan daun. Kebutuhan air ini melibatkan beberapa faktor seperti evapotranspirasi, curah hujan efektif (R_e), koefisien tanaman (K_c), perkolasi, dan penyiapan lahan.

2. Kebutuhan air untuk irigasi

Kebutuhan air yang digunakan untuk menentukan pola tanaman dan efisiensi saluran irigasi digunakan untuk menghitung kebutuhan air untuk setiap jaringan irigasi. Efisiensi irigasi dipengaruhi oleh tingkat kehilangan air yang terjadi pada saluran primer. Kehilangan air ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti penguapan, perkolasi, kebocoran, dan penggunaan air oleh tumbuhan liar. Data yang digunakan untuk menganalisis kebutuhan air irigasi meliputi :

- a. Data curah hujan periode tertentu.
- b. Data klimatologi, seperti:
 - a) Rata – rata suhu bulanan ($^{\circ}\text{C}$).
 - b) Rata – rata kecepatan angin (m/det).
 - c) Rata -rata kelembapan udara relatif (%).
 - d) Rata – rata penyinaran matahari (%).

2.9.2 Kebutuhan Air di Sawah

Kebutuhan air di sawah merupakan penjadwalan pola tanam dan pemilihan jenis tanaman yang akan diterapkan pada jaringan irigasi yang memiliki tujuan agar penggunaan air irigasi dapat dimaksimalkan secara efektif dan efisien, sehingga tanaman dapat tumbuh dengan baik. Secara umum, pola tata tanam memiliki beberapa tujuan, yaitu:

1. Menghindari ketidakseragaman tanaman, sehingga tanaman yang akan ditanam memiliki keseragaman yang baik dalam hal jenis, ukuran, dan perkembangannya.
2. Melaksanakan waktu tanam yang sesuai dengan jadwal yang telah di tentukan sehingga tanaman ditanam pada waktu yang optimal untuk memaksimalkan pertumbuhan dan hasil panen.
3. Menghemat air irigasi, dengan mengatur penjadwalan tanam dan pemilihan jenis tanaman yang tepat, sehingga penggunaan air irigasi dapat dioptimalkan dan meminimalkan pemborosan air.

Kebutuhan air disawah oleh kesetimbangan air yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

1. Tanaman Padi :

$$NFR = Etc + NR + LR + PR + RE$$

2. Tanaman Palawija (Bawang) :

$$NFR = Etc + PR - RE$$

Keterangan:

NFR = Kebutuhan air disawah (mm)

Etc = Kebutuhan air untuk tanaman (mm)

NR = Kebutuhan air untuk pembibitan

LR = Kebutuhan air untuk pengolahan tanah (mm)

PR = Nilai perkolasi

RE = Curah hujan efektif

Hasil perhitungan kebutuhan air pada tanaman padi dan palawija terdapat pada Tabel 2.7 dengan skema pola tanam dapat dilihat pada Lampiran 7.

Tabel 2. 7 Kebutuhan Air Tanaman Padi dan Palawija Dalam m³

Bulan	Periode	
	I	II
September	15.57	15.57
Oktober	17.83	11.72
November	9.51	10.29
Desember	5.91	3.39
Januari	0.00	13.12
Februari	15.16	15.16
Maret	9.18	9.09
April	9.31	7.27
Mei	6.44	5.20
Juni	4.77	5.51
Juli	6.93	6.96
Agustus	7.03	6.79

2.9.3 Evapotranspirasi

Evapotranspirasi merupakan peristiwa penguapan dari suatu daerah aliran sungai sebagai akibat pertumbuhan tanaman yang berada didalamnya (schulz,1976). Evapotranspirasi dapat dihitung menggunakan metode Penman yang telah dimodifikasi oleh Nedesco/Prosida, Dalam perhitungannya menggunakan rumus rumus teoritis empiris yang mempertimbangkan faktor meteorologi seperti curah hujan, suhu udaram kelembapan udara, klonatologi yang diperlukan untuk perhitungan evapotranspirasi.

Evapotranspirasi tanaman yang digunakan sebagai acuan adalah tanah basah yang memiliki nilai albedo sebesar 0.008, untuk mendapatkan nilai evapotranspirasi aktual perlu dikalikan dengan fkoefisien tanaman. Dengan demikian evapotranspirasi dapat dihitung sebagai evapotranspirasi potensial yang didapatkan dari perhitungan Penman yang dikalan dengan faktor tanaman.

Harga evapotranspirasi tersebut akan digunakan untuk memperikarakan kebutuhan air dalam proses pertumbuhan tanaman palawija dan padi dengan mempertimbangkan data curah hujan efektif. Perhitungan Evapotranspirasi dapat dilihat pada Lampiran 6.

2.9.4 Koefisien Tanaman (Kc)

Nilai koefisien tanaman (Kc) memiliki angka yang bervariasi tergantung dengan jenis tanaman dan tahap pertumbuhan tanaman. Dalam perhitungan ini, koefisien tanaman untuk padi dengan varietas unggul mengikuti ketentuan dari Nedesco/Prosida. Harga – harga koefisien tanaman untuk padi dan palawija dapat ditemukan pada Tabel 2.8 dan Tabel 2.9 dibawah ini.

Tabel 2. 8 Koefisien Tanaman Padi

Bulan	Nedeco/Prosida		FAO	
	Varietas biasa	Varietas unggul	Varietas biasa	Varietas unggul
0.5	1.2	1.2	1.1	1.1
1	1.2	1.27	1.1	1.1
1.5	1.32	1.33	1.1	1.05
2	1.4	1.3	1.1	1.05
2.5	1.35	1.3	1.1	0.95
3	1.24	0	1.05	0
3.5	1.12		0.95	
4	0		0	

Tabel 2. 9 Koefisien Tanaman Palawija

Jenis Tanaman	Masa tumbuh (Bulan)	0.5	1	1.5	2	2.5	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7
		Bawang	70	0.5	0.54	0.69	0.69	0.9	0.95					

2.9.5 Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif merupakan jumlah hujan secara efektif yang dimanfaatkan oleh tanaman selama periode waktu pertumbuhan. Dalam konteks irigasi tanaman padi, curah hujan efektif bulanan dihitung sebagai 70% dari curah hujan rata – rata mingguan atau bulanan, dengan kemungkinan persentase tidak terpenuhi sebesar 20% yang dirumuskan sebagai berikut:

$$Re = 0,7 \times \frac{1}{15} \times R$$

Keterangan :

Re = Curah hujan efektif (mm/hari)

R = Curah hujan minimum tengah bulanan dengan periode ulang 5 tahun.

Tabel 2. 10 Hasil Curah Hujan Efektif Rata – Rata Bulanan

Uraian	sep		okt		nov		des		jan		feb		maret		april		mei		juni		juli		agust		
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
RE	0	0	0	0	0,31	0,31	1	1	1,47	1,47	0,38	0,38	0,14	0,14	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Terlihat pada Tabel 2.10 diatas bahwa hasil perhitungan curah hujan efektif (Re) berkisar 0.31 sampai 1.47.

2.10 Elevasi Mercu Bendung

Untuk menentukan elevasi dari mercu ditentukan dari elevasi sawah tertinggi yang akan dialiri dan ditambah dengan kebutuhan air dari sawah serta kehilangan tekanan akibat bangunan – bangunan dan kemiringan saluran yang akan dilewati air untuk mengalir daerah sawah. Berikut merupakan rincian perhitungan elevasi mercu:

1. Elevasi tertinggi sawah yang akan diiri = +79 m
2. Tinggi air di sawah = 0,1 m
3. Kehilangan tekanan
 - a. Dari saluran tersier ke sawah = 0,1 m
 - b. Dari saluran sekunder ke tersier = 0,1 m
 - c. Akibat kemiringan saluran = 0,15 m
 - d. Akibat bangunan ukur = 0,4 m
 - e. Dari intake ke saluran kantong lumpur = 0,25 m
4. Exploitasi = 0,1 m
 - a. Maka diperoleh Elevasi mercu bendung = +80,5 m
 - b. Elevasi dasar sungai = +77 m
 - c. Tinggi mercu = 3,5 m
 - d. Bentuk mercu = Bulat
 - e. Kemiringan mercu dibagian hilir = 1:1

Berdasarkan pertimbangan dari perbedaan elevasi tertinggi area irigasi dengan elevasi dasar sungai, kehilangan tekanan, serta eksploitasi maka didapatkan tinggi mercu sebesar 3,5 meter dengan elevasi mercu + 80,5 mdpl.

2.11 Perencanaan Tubuh Bendung

2.11.1 Lebar Efektif Bendung

Lebar efektif bendung sangat penting untuk perencanaan bendung untuk memastikan bahwa kemampuan bendung dalam mengendalikan debit air dengan efektif. Lebar efektif ini diperhitungkan untuk menentukan debit banjir yang akan melalui bendung yang mana besarnya merupakan pengurangan lebar bendung dikurangi lebar pilar dan jumlah kontraksi yang timbul akibat aliran air yang melintas mercu bendung.

Rumus:

$$Be = B - 2 \times (n \times K_p + K_a) \times H_1$$

Keterangan:

Be = Lebar efektif bendung (m)

B = Lebar Bendung – lebar pilar pembilas = 20 m

n = jumlah pilar = 1

K_p = Koefisien kontraksi pilar = 0,01 (pilar berujung bulat)

K_a = Kontraksi ujung pangkal bendung = 0,1 (untuk pangkal tembok bulat dengan tembok hulu pada 90° ke arah aliran dengan $0,5 > r > 0,15 H_1$)

Sehingga diperoleh persamaan $Be = 20 - 0,22 \times H_1$. Persamaan ini kemudian akan digunakan untuk mencari tinggi energi dan tinggi banjir diatas mercu dan didapatkan nilai – nilai H₁, H_d, serta jari – jari mercu, sehingga dengan nilai – nilai yang sudah didapatkan tersebut diperoleh lebar efektif bendung $Be = 19,5$ m.

2.11.2 Pintu Pembilas

Pintu pembilas merupakan sebuah pintu yang memiliki fungsi sebagai pengatur aliran air yang keluar dari reservoir bendung. Semakin lebar pintu pembilas maka semakin banyak air yang dapat lewat, dengan pintu pembilas yang lebih lebar, bendung dapat mengeluarkan lebih banyak air dalam waktu yang singkat. Pada perhitungan pintu pembilas memiliki rumus sebagai berikut:

Lebar Rata – Rata Sungai:

$$B = \frac{((x-3)+(x)+(x+3))}{3}$$

Keterangan :

B = Lebar rata – rata sungai (m)

X = Lebar sungai pada titik pusat bendung (m)

X – 3 = Lebar sungai dibelakang titik pusat bendung berjarak 3 meter

X + 3 = Lebar sungai didepan titik pusat bendung berjarak 3 meter

1. Lebar Bendung

$$B_t = 1,2x B$$

Keterangan :

B_t = Lebar bendung (21 m)

B = Lebar rata – rata sungai (17,63 m)

2. Lebar Bangunan Pembilas

$$B_p = \frac{1}{10} x B_t$$

Keterangan :

B_p = Lebar bangunan pembilas (2.1 m)

B_t = Lebar bendung (m)

Menghasilkan lebar rata – rata sungai 17.63 meter, lebar bendung 21 meter, lebar bangunan pembilas 2.1 meter, dan 1 pilar pembilas dengan lebar 1,15 meter.

2.11.3 Tinggi Air Banjir di Atas Mercu

Tinggi air banjir merupakan elevasi muka air banjir diatas bendung (H_d). Tinggi air banjir ini didapat dari tinggi energi air di atas mercu dikurangi dengan kecepatan air kuadrat dan dibagi dengan dua kali percepatan gravitasi bumi.

Rumus:

$$H_d = H_1 - \frac{v^2}{2g}$$

Keterangan:

H_d = Tinggi air banjir (m)

H₁ = Tinggi energi air diatas mercu (m)

V = Kecepatan aliran (m/det)

g = Percepatan Gravitasi ($9,81 \text{ m/det}^2$)

Dari hasil perhitungan tersebut diperoleh ketinggian air banjir $H_d = 2,06$ m. Jadi, elevasi muka air banjir diatas mercu adalah $+82,56$ m.

2.11.4 Tinggi Energi Air di Atas Mercu

Bendung di Sungai Opak ini dirancang dengan mercu tipe bulat dengan bagian hulu dan bagian hilir memiliki kemiringan 1 : 1. Tinggi bendung $P = 3,5$ m. Untuk koefisien debit awal di asumsikan $C_d = 1,3$ (Ditjen Pengairan, 1986). Debit rencana Q_{50} yang didapat dari hasil perhitungan sebesar $= 135 \text{ m}^3/\text{dt}$.

Rumus:

$$Q = C_d \times \frac{2}{3} \times \sqrt{\frac{2}{3} \times g} \times (20 - 0,22 \times H_1) \times H_1^{3/2}$$

Keterangan:

Q_{50} = Debit banjir rencana ($135 \text{ m}^3/\text{dt}$)

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

g = percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/det}^2$)

B_e = Lebar efektif bendung (m)

H_1 = Tinggi energi di atas mercu (m)

Sehingga dengan perhitungan didapat hasil tinggi energi air di atas mercu adalah $H_1 = 2,135$ m.

2.11.5 Jari – Jari Mercu

Jari – jari untuk mercu bendung tipe bulat sebaiknya dibatasi. Untuk mercu bendung ini menggunakan bahan beton sehingga jari – jari mercu bulat (R) diambil dengan rentang $(0,1 - 0,7) H_1$. Dengan cara coba – coba dari hasil perhitungan H_1 dan asumsi awal C_d maka didapatkan hasil Jari – jari mercu sebesar $R = 0,85$ m.

2.11.6 Kolam Olak

Kolam olak adalah bangunan peredam energi dari air jatuh terletak pada hilir mercu bendung. Tipe kolam olak ditentukan oleh besarnya angka Froude. Dalam perhitungan kolam olak, memerlukan data - data sebagai berikut:

Elevasi Mercu	= 80.5	m
Elevasi dasar sungai	= 77	m
Elevasi muka air di hilir	= 77.325	m
Tinggi energi hulu	= 82.56	m
Q50	= 135	m^3/s
Cd	= 1.3	
H1	= 2.14	m
HC	= 1.4	m
g	= 9.81	m^3/s^2
Be	= 19.5	m
Z	= 9,56	m

Berikut langkah – langkah dalam menentukan dan mendesain kolam olak menurut Standar Perencanaan Irigasi KP-02.

1. Kecepatan air saat terjadinya loncat air:

$$V_1 = \sqrt{2g(0,5H_1 + Z)}$$

$$V_1 = 14,4 \text{ m/det}$$

Keterangan :

V_1 = Kecepatan air saat awal loncat air (m/det)

g = Percepatan gravitasi (m^3/det^2)

H1 = Tinggi energi diatas mercu bendung (m)

Z = Tinggi jatuh air dari mercu sampai dengan dasar kolam olak (m)

2. Ketinggian air saat terjadinya loncat air:

$$Y_1 = \frac{Q}{B_e \times V_1}$$

$$Y_1 = 0,479 \text{ m}$$

Keterangan :

Y_1 = Ketinggian air sebelum loncat air (m)

Q = Debit banjir rencana periode 50 tahun (m^3/s)

3. Angka Froude, ketinggian air setelah terjadi loncatan air, dan kecepatan air saat sedang loncat air:

$$Fr = \frac{V_u}{\sqrt{g \times Y_1}}$$

$$Fr = 6,663 > 4,5 \text{ (USBR Tipe III)}$$

$$Y_2 = \frac{Y_1}{2} \sqrt{1 + 8 \times Fr^2 - 1}$$

$$Y_2 = 4,038 \text{ m}$$

Keterangan :

Fr = Angka Froude

Y_2 = Ketinggian air pada saat terjadi loncatan air (m)

4. Tinggi ujung ambang (n), blok halang (n_3), dan panjang kolam olak (L):

$$n = \frac{(y_1 \cdot (18 + Fr))}{18}$$

$$n = 0,66 \text{ m}$$

$$n_3 = \frac{(y_1 \cdot (4 + Fr))}{6}$$

$$n_3 = 0,9 \text{ m}$$

$$L = 2,7 \times Y_2$$

$$L = 11 \text{ m}$$

Keterangan:

n_3 = Tinggi blok halang

n = Tinggi ambang

L = Panjang kolam olak

Berdasarkan dari perhitungan tersebut, kolam olak pada Bendung Kenangan menghasilkan angka Froude sebesar 6,509 yang menurut sumber KP – 02 PUPR SDA jika angka froude lebih dari 4,5 maka termasuk pada kolam olak USBR Tipe III. Dengan hasil perhitungan diatas didapat dimensi – dimensi dari kolam olak sebagai berikut:

1. Tinggi balok = lebar balok = jarak antar balok muka = Y_1
2. Jarak tepi kolam olak ke blok muka = 0.24 m
3. Jarak tepi kolam olak ke blok halang = 3.3 m

4. Tebal blok halang bagian atas	= 0.17 m
5. Jarak tepi kolam olak ke blok halang	= 0.57 m
6. Lebar balok alang = jarak antar balok halang	= 0.64 m
7. Jumlah blok muka	= 14 buah
8. Jumlah blok halang	= 16 buah

2.12 Perencanaan Jaringan Saluran Irigasi

2.12.1 Bangunan Pengambilan (*Intake*)

Bangunan pengambilan adalah sebuah bangunan berbentuk pintu yang digunakan untuk mengalirkan air irigasi dari sungai. Bangunan ini dibangun untuk mengatur jumlah air yang masuk ke saluran sesuai dengan kebutuhan, serta mencegah masuknya air banjir ke saluran. Pintu air pada bagian pengambilan dilengkapi dengan bilah pintu yang dapat dibuka dan ditutup, dan bagian depannya terbuka untuk memungkinkan aliran air tinggi selama banjir. Ukuran pembukaan pintu tergantung pada kecepatan aliran masuk yang diizinkan, sebelumnya telah ditentukan oleh ukuran partikel yang dapat diangkat

Kapasitas pengambilan minimal 120% dari kebutuhan pengambilan yang memiliki fungsi sebagai fleksibilitas dan memenuhi kebutuhan yang lebih tinggi selama masa proyek. Dengan kecepatan masuk normal sekitar 1,0 – 2,0 mt/det, diharapkan partikel yang memiliki diameter 0.01 – 0.04 mampu masuk ke dalam sistem. Bangunan pengambilan atau *intake* dirumuskan sebagai berikut:

$$Q_n = 1,2 \times Q$$

$$Q = \mu \times b \times a \times \sqrt{2gz}$$

Keterangan :

Q_n = Debit rencana (m^3/dt)

Q = Kebutuhan debit (m^3/dt)

b = Lebar bukaan (m)

a = tinggi bukaan (m)

g = Percepatan gravitasi (m / det^2)

μ = Koefisien debit

Z = kehilangan tinggi energi pada bukaan (m)

h = kedalaman air (m)

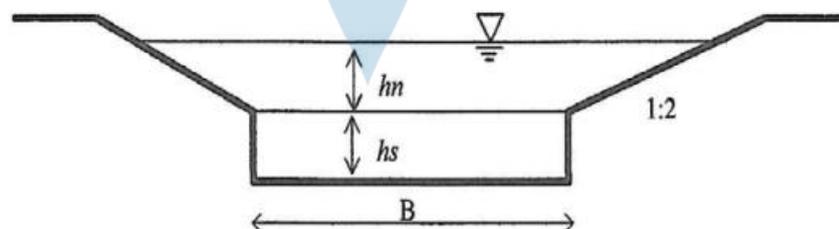
d = diameter butir (m)

Dari hasil perhitungan didapatkan data dimensi saluran pengambilan sebagai berikut:

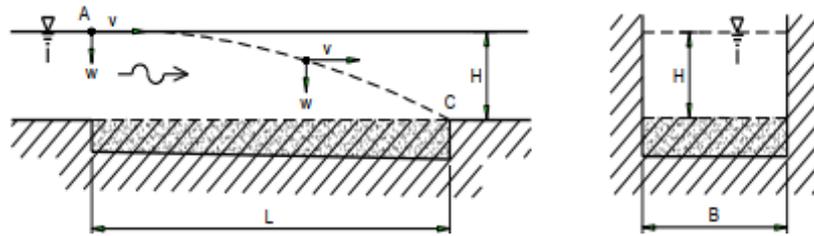
1. Tinggi bersih bukaan pintu = 0.27 m
2. Lebar bersih bukaan pintu = 1.3 m
3. Elevasi dasar bangunan pengambilan = 78.36 m
4. Elevasi dasar bangunan pengambilan = 78.56 m
5. Elevasi muka air di hilir pintu = 78.84 m
6. Elevasi muka air di hulu pintu = 80.50 m
7. Z = 0.16 m
8. Q_n = 0,488 m³/det
9. Kemiringan Intake = 45 °

2.12.2 Saluran Pengendap atau Kantong Lumpur

Kantong lumpur adalah perluasan penampang melintang saluran sampai jarak tertentu untuk mengurangi kecepatan aliran dan sebagai tempat pengendapan sedimen. Bangunan ini terletak pada bagian awal bangunan pengambilan air (pintu *intake*). Kantong lumpur dibuat jika jumlah sedimen yang memasuki pada sistem saluran irigasi dalam satu tahun yang tidak terangkut ke sawah lebih dari 5% dari kedalaman air di jaringan saluran.



Gambar 2. 5 Skema Penampang Kantong Lumpur



(Sumber: SDA KP-02 Bangunan Utama, 2013)

Gambar 2. 6 Skema Kantong Lumpur Tampak Depan dan Samping

Kantong lumpur atau saluran pengendap dapat dihitung dengan tahap – tahap sebagai berikut:

1. Rumus Kemiringan Jari – jari Kantong Lumpur (In)

$$V = k \times R^{2/3} \times i^{1/2}$$

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

$$A = (B + mh)h$$

$$P = (b + 2h\sqrt{1 + m^2})$$

$$Q = v \times A$$

$$b = n \times h$$

Keterangan:

Q = Debit saluran (m^3/dt)

V = Kecepatan aliran (m/dt)

A = Potongan melintang aliran (m^2)

R = Jari – jari hidrolis (m)

P = Keliling basah (m)

b = Lebar dasar

h = tinggi air (m)

I = Kemiringan energi (kemiringan saluran)

k = Koefisien kekasaran *stickler* ($m^{1/3}/dt$)

m = kemiringan talut (vertical : horizontal)

2. Perhitungan Kemiringan Dasar Saluran Kantong Lumpur (Is)

Agar pengambilan mendapatkan hasil yang baik, maka pada kecepatan aliran $Fr = 1$.

$$H_c = \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{B}\right)^2 \times \frac{1}{g}}$$

$$Fr = \frac{v_s}{\sqrt{g \times h_s}}$$

$$I_s = \frac{v_s}{\left(\frac{1}{n} \times R_s^{2/3}\right)^2}$$

Keterangan :

V_s = Kecepatan rata – rata saat pembilasan = 1.5 m/det (sedimen berpasir)

R_s = Jari – jari hidrolis (m)

I_s = Kemiringan saluran

Q = Kebutuhan debit (m^3/dt)

h_s = Kedalaman saluran kantong lumpur (m)

g = Gravitasi bumi ($9,81 m / det^2$)

B = Lebar aras kantong lumpur (m)

H_c = Kedalaman kritis (m)

Fr = Angka Froude

N_s = Koefisien *Manning*

3. Perhitungan Panjang dan Lebar Kantong Lumpur

$L/B > 8$ (Bentuk trapesium)

$L \times B = Q_n \times w$

Keterangan:

L = Panjang kantong lumpur (m)

B = Lebar kantong lumpur (m)

Q_n = Debit saluran (m^3/dt)

W = kecepatan endap partikel sedimen (m/dt)

Dari hasil perhitungan menghasilkan dimensi – dimensi saluran pengendap atau kantong lumpur sebagai berikut:

- | | |
|------------------------------------|------------------------|
| a. Luas penampang basah | (A_n) = 1.22 m^2 |
| b. Keliling Basah | (P_n) = 5.49 m |
| c. Jari – jari hidrolis | (R_n) = 0.22 m |
| d. Luas kantong lumpur saat kosong | (A_s) = 0.39 m |
| e. Tinggi endapan lumpur | (H_s) = 0.11 m |

f. Keliling saluran dalam keadaan kosong	(Ps)	= 3.89 m
g. Kemiringan energi	(Is)	= 0.12
h. Kemiringan jari – jari hidrolis	(In)	= 0,005
i. Panjang kantong lumpur	(L)	= 33.1 m
j. Lebar dasar kantong lumpur	(B)	= 3.7 m
k. Volume kantong lumpur	(V)	= 147.55 m ³

2.12.3 Saluran Primer

Sebelum merencanakan dimensi saluran primer, perlu ditentukan terlebih dahulu elevasi pada saluran primernya. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi elevasi air di saluran primer, seperti:

1. Elevasi sawah terjatuh dan tertinggi yang akan dialiri
2. Tinggi genangan air di sawah
3. Jumlah kehilangan energi
4. Kehilangan energi di saluran pengambilan atau titik pengambilan air

Dalam perencanaan saluran primer ini menggunakan rumus Chezy dengan tahapan – tahapan sebagai berikut:

$$V = k \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

$$R = A/P$$

$$A = (b + mh)h$$

$$Q = A \cdot V$$

$$p = b + 2h \sqrt{1 + m^2}$$

$$C = \frac{87}{\left(1 + \frac{y}{\sqrt{R}}\right)}$$

Keterangan :

Q = debit saluran (m³/dt)

V = kecepatan aliran (m/dt)

A = potongan melintang aliran (m²)

R = jari – jari hidrolis (m)

b = lebar dasar (m)

h = tinggi air (m)

I = kemiringan energi (kemiringan saluran)

k = koefisien kekasaran ($m^{1/3} / dt$)

m = kemiringan talut

P = keliling basah (m)

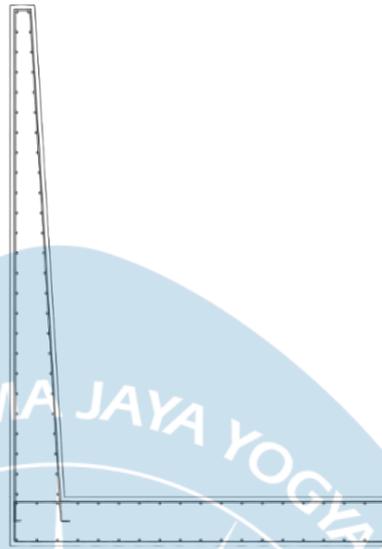
Menghasilkan dimensi – dimensi dari saluran primer sabagai berikut:

Elevasi dasar saluran di hulu sungai primer	= 79	m
Elevasi muka air saluran primer	= 79.484	m
Debit saluran (Q)	= 0.48	m^3/dt
Tinggi air (h)	= 0.484	m
Lebar dasar (b)	= 1	m
Potongan melintang saluran (A)	= 0.70	m^2
Keliling basah (P)	= 2.33	m
Jari – jari hidrolis (R)	= 0.3	m
C	= 103.5	
Kecepatan aliran (V)	= 0.68	(m/dt)

2.13 Dinding Penahan Tanah

Menurut Nur dan Hakam (2010), dinding penahan tanah adalah suatu bangunan yang berfungsi untuk menstabilkan kondisi tanah tertentu, yang pada umumnya dipasang pada daerah tebing yang labil. Dinding penahan tanah dirancang untuk mampu menahan tekanan tanah lateral yang ditimbulkan oleh tanah urug atau tanah asli yang labil, tanah urugan yang digunakan sebaiknya dipilih dari bahan yang lolos air atau tanah berbutir seperti pasir, kerikil atau batu pecah. Jenis material konstruksi yang digunakan antara lain, batu dengan mortar, pasangan batu kosong, beton, kayu dan sebagainya.

Tipe dinding penahan tanah yang digunakan dalam perancangan bendung kenangan adalah dinding penahan tanah kantilever, seperti terlihat pada Gambar 2.7. Pemilihan jenis ini didsaari dengan keterbatasan lahan yang dapat digunakan untuk bangunan dinding penahan tanah, karena pada ujung luar dinding penahan tanah berhadapan langsung dengan lantai muka/apron.



Gambar 2. 7 Dinding Penahan Tanah Kantilever

2.14 Saluran Pengelak

Saluran pengelak merupakan saluran yang dibangun untuk mengalihkan air pada aliran sungai, agar tidak mengganggu pekerjaan bendung selama pelaksanaan konstruksi berlangsung. Saluran pengelak dapat berupa saluran terbuka atau tertutup, dalam perencanaan Bendung Kenangan, jenis saluran pengelak yang digunakan adalah saluran terbuka.

2.15 Kistdam

Kistdam merupakan struktur bangunan sementara yang dibuat untuk mengatasi aliran air dari sungai yang akan masuk kedalam area pekerjaan konstruksi bendung. Kistdam biasanya dibangun dengan tumpukan karung yang berisi pasir atau tumpukan pasir yang diselimuti oleh terpal, hal ini membantu proses pekerjaan bendung seperti pekerjaan pondasi. Kistdam ini dimaksudkan untuk membendung aliran sungai sementara agar aliran masuk kedalam saluran pengelak dan tidak mengalir area yang sedang dilakukan tahapan konstruksi pembangunan bendung. Pada proyek Bendung Kenangan ini dipilih jenis kistdam dari tumpukan karung goni yang berisi tanah dengan tinggi 3 meter dan diberi penyokong dengan kayu kaso untuk memperkuat kistdam sementara agar tidak hanyut dengan air.