

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Dalam pekerjaan perencanaan suatu embung diperlukan bidang-bidang ilmu pengetahuan yang saling mendukung demi kesempurnaan hasil perencanaan. Bidang ilmu pengetahuan itu antara lain geologi, hidrologi, hidrolika dan mekanika tanah. Setiap daerah pengaliran sungai mempunyai sifat-sifat khusus yang berbeda, hal ini memerlukan kecermatan dalam menerapkan suatu teori yang cocok pada daerah pengaliran. Oleh karena itu, sebelum memulai perencanaan konstruksi embung, perlu adanya kajian pustaka untuk menentukan spesifikasi-spesifikasi yang akan menjadi acuan dalam perencanaan pekerjaan konstruksi tersebut. Dalam tinjauan pustaka ini juga dipaparkan secara singkat mengenai kebutuhan air baku, analisis hidrologi, dasar-dasar teori perencanaan embung yang akan digunakan dalam perhitungan konstruksi dan bangunan pelengkapannya.

2.2 Kebutuhan Air Baku

Kebutuhan air baku di sini dititikberatkan pada penyediaan air baku untuk diolah menjadi air bersih.

2.2.1 Standar Kebutuhan Air

Standar kebutuhan air ada 2 (dua) macam yaitu :

a. Standar kebutuhan air domestik

Standar kebutuhan air domestik yaitu kebutuhan air yang digunakan pada tempat-tempat hunian pribadi untuk memenuhi keperluan sehari-hari seperti ; memasak, minum, mencuci dan keperluan rumah tangga lainnya. Satuan yang dipakai adalah liter/orang/hari.

b. Standar kebutuhan air non domestik

Standar kebutuhan air non domestik adalah kebutuhan air bersih diluar keperluan rumah tangga. Kebutuhan air non domestik antara lain :

Bab II Studi Pustaka

1) Penggunaan komersil dan industri

Yaitu penggunaan air oleh badan-badan komersil dan industri.

2) Penggunaan umum

Yaitu penggunaan air untuk bangunan-bangunan pemerintah, rumah sakit, sekolah-sekolah dan tempat-tempat ibadah.

Kebutuhan air non domestik untuk kota dapat dibagi dalam beberapa kategori antara lain :

- Kota kategori I (Metro)
- Kota kategori II (Kota besar)
- Kota kategori III (Kota sedang)
- Kota kategori IV (Kota kecil)
- Kota kategori V (Desa)

Tabel 2.1 Kategori kebutuhan air non domestik

NO	URAIAN	KATEGORI KOTA BERDASARKAN JUMLAH JIWA				
		>1.000.000	500.000 S/D 1.000.000	100.000 S/D 500.000	20.000 S/D 100.000	<20.000
		METRO	BESAR	SEDANG	KECIL	DESA
1	Konsumsi unit sambungan rumah (SR) l/o/h	190	170	130	100	80
2	Konsumsi unit hidran umum (HU) l/o/h	30	30	30	30	30
3	Konsumsi unit non domestik l/o/h (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30
4	Kehilangan air (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30
5	Faktor hari maksimum	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
6	Faktor jam puncak	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
7	Jumlah jiwa per SR	5	5	5	5	5
8	Jumlah jiwa per HU	100	100	100	100	100
9	Sisa tekan di penyediaan distribusi (mka)	10	10	10	10	10
10	Jam operasi	24	24	24	24	24

Bab II Studi Pustaka

11	Volume reservoir (% max day demand)	20	20	20	20	20
12	SR : HR	50:50 s/d 80:20	50:50 s/d 80:20	80:20	70:30	70:30
13	Cakupan pelayanan (%)	*) 90	90	90	90	***) 70

*) 60% perpipaan, 30% non perpipaan

Sumber : Ditjen Cipta Karya; tahun 2000

**) 25% perpipaan, 45% non perpipaan

Kebutuhan air bersih non domestik untuk kategori I sampai dengan V dan beberapa sektor lain adalah sebagai berikut :

Tabel 2.2 Kebutuhan air non domestik kota kategori I, II, III dan IV

NO	SEKTOR	NILAI	SATUAN
1	Sekolah	10	Liter/murid/hari
2	Rumah sakit	200	Liter/bed/hari
3	Puskesmas	2000	Liter/hari
4	Masjid	3000	Liter/hari
5	Mushola	2000	Liter/hari
6	Gereja dan Vihara	1000	Liter/hari
7	Kantor	10	Liter/pegawai/hari
8	Pasar	12000	Liter/hektar/hari
9	Hotel	150	Liter/bed/hari
10	Rumah makan	100	Liter/tempat duduk/hari
11	Kompleks militer	60	Liter/orang/hari
12	Kawasan industri	0,2-0,8	Liter/detik/hari
13	Kawasan pariwisata	0,1-0,3	Liter/detik/hari

Sumber : Ditjen Cipta Karya Dep PU

Tabel 2.3 Kebutuhan air bersih kategori V

NO	SEKTOR	NILAI	SATUAN
1	Sekolah	5	Liter/murid/hari
2	Rumah sakit	200	Liter/bed/hari
3	Puskesmas	1200	Liter/hari
4	Hotel/losmen	90	Liter/hari
5	Komersial/industri	10	Liter/hari

Sumber : Ditjen Cipta Karya Dep PU

Tabel 2.4 Kebutuhan air bersih domestik kategori lain

NO	SEKTOR	NILAI	SATUAN
1	Lapangan terbang	10	Liter/det
2	Pelabuhan	50	Liter/det
3	Stasiun KA-Terminal bus	1200	Liter/det
4	Kawasan industri	0,75	Liter/det/ha

Sumber : Ditjen Cipta Karya Dep PU

2.2.2 Proyeksi Kebutuhan Air Bersih

Proyeksi kebutuhan air bersih dapat ditentukan dengan memperhatikan pertumbuhan penduduk untuk diproyeksikan terhadap kebutuhan air bersih sampai dengan beberapa tahun mendatang atau tergantung dari proyeksi yang dikehendaki. Adapun yang berkaitan dengan proyeksi kebutuhan tersebut adalah :

a. Proyeksi Jumlah Penduduk

Dari angka pertumbuhan penduduk diatas dalam prosen digunakan untuk memproyeksikan jumlah penduduk sampai dengan lima puluh tahun mendatang. Meskipun pada kenyataannya tidak selalu tepat tetapi perkiraan ini dapat dijadikan sebagai dasar perhitungan volume kebutuhan air dimasa mendatang. Metode yang kami gunakan untuk memproyeksikan jumlah penduduk yaitu:

- Metode *Geometrical Increase*

$$P_n = P_o + (1 + r)^n \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana :

P_n = Jumlah penduduk pada tahun ke-n

P_o = Jumlah penduduk pada awal tahun

r = Prosentase pertumbuhan geometrical penduduk tiap tahun

n = Periode waktu yang ditinjau

2.3 Analisis Hidrologi

Hidrologi adalah bidang pengetahuan yang mempelajari kejadian-kejadian serta penyebab air alamiah di bumi. Faktor hidrologi yang sangat berpengaruh pada sekitar wilayah hulu Kali Pengkol adalah curah hujan (*presipitasi*). Curah hujan pada suatu daerah merupakan salah satu faktor yang menentukan besarnya debit banjir yang terjadi pada daerah yang menerimanya.

2.3.1 Penentuan Luas DAS (Daerah Aliran Sungai)

Daerah aliran sungai ditentukan berdasarkan topografi daerah tersebut, di mana daerah aliran sungai adalah daerah yang dibatasi oleh punggung-punggung bukit diantara dua buah sungai sampai ke sungai yang ditinjau. Pada peta topografi dapat ditentukan cara membuat garis imajiner yang menghubungkan titik yang mempunyai elevasi kontur tertinggi di sebelah kiri dan kanan sungai yang ditinjau.

2.3.2 Pemilihan Lokasi Stasiun Curah Hujan.

Dalam pemilihan jaringan lokasi stasiun, harus direncanakan untuk menghasilkan gambaran yang mewakili distribusi daerah hujan.. Satu alat ukur curah hujan dapat mewakili beberapa km persegi. Tergantung pada penempatan letak stasiun dan fungsinya, jaringan stasiun yang relatif renggang cukup untuk hujan besar yang biasa untuk menentukan nilai rata-rata tahunan di atas daerah luas yang datar. Sedangkan jaringan yang sangat rapat dibutuhkan guna menentukan pola hujan dalam hujan yang lebat disertai guntur. Kerapatan minimum jaringan stasiun curah hujan telah direkomendasikan *World Meteorological Organization* sebagai berikut :

1. Untuk daerah datar pada zona beriklim sedang, mediteranian, dan tropis, 600 km² sampai 900 km² untuk setiap stasiun.
2. Untuk daerah pegunungan pada zona beriklim sedang, mediteranian, dan tropis, 100 km² sampai 250 km² untuk setiap stasiun.

3. Untuk pulau-pulau dengan pegunungan kecil dengan hujan yang tak beraturan, 5 km²-25 km² untuk setiap stasiun.
4. Untuk zona-zona kering dan kutub, 1.500 km² sampai 10.000 km² untuk setiap stasiun

Sehingga curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah atau daerah dan dinyatakan dalam mm.

2.3.3 Perhitungan Curah Hujan Wilayah

Data curah hujan dan debit merupakan data yang paling fundamental dalam perencanaan/penelitian pembuatan embung. Ketetapan dalam memilih lokasi dan peralatan baik curah hujan maupun debit merupakan faktor yang menentukan kualitas data yang diperoleh. Analisis data hujan dimaksudkan untuk mendapatkan besaran curah hujan dan analisis statistik yang diperhitungkan dalam perhitungan debit banjir rencana. Data curah hujan yang dipakai untuk perhitungan dalam debit banjir adalah hujan yang terjadi pada daerah aliran sungai pada waktu yang sama.

Adapun metode yang kami gunakan dalam perhitungan curah hujan rata-rata wilayah daerah aliran sungai (DAS) Kali Pengkol di Kecamatan Musuk, Kabupaten Boyolali, kami menggunakan metoda sebagai berikut :

- **Poligon Thiessen**

Menurut Kiyotaka Mori dkk. (1977), metode ini sering digunakan pada analisis hidrologi karena metode ini lebih teliti dan obyektif dibanding metode lainnya dan metode ini dapat digunakan pada daerah yang memiliki titik pengamatan yang tidak merata. Cara ini adalah dengan memasukkan faktor pengaruh daerah yang mewakili oleh stasiun hujan yang disebut faktor pembobotan atau koefisien *Thiessen*. Untuk pemilihan stasiun hujan yang dipilih harus meliputi daerah aliran sungai yang akan dibangun. Besarnya koefisien *Thiessen* tergantung dari luas daerah pengaruh stasiun hujan yang dibatasi oleh

poligon-poligon yang memotong tegak lurus pada tengah-tengah garis penghubung stasiun. Setelah luas pengaruh tiap-tiap stasiun didapat, maka koefisien *Thiessen* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (CD Soemarto, 1999) :

$$C = \frac{A_i}{A_{total}} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\bar{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.3)$$

di mana :

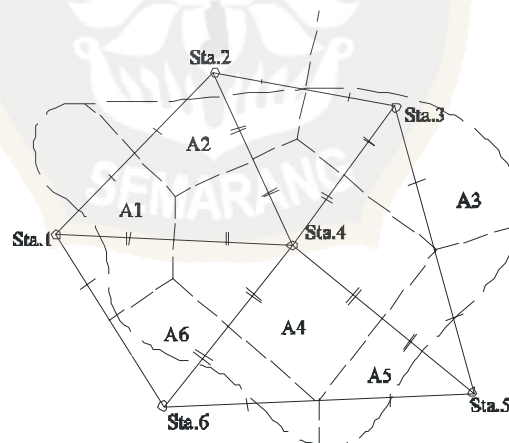
C = Koefisien *Thiessen*

A_i = Luas pengaruh dari stasiun pengamatan i

A = Luas total dari DAS

\bar{R} = Curah hujan rata-rata

R_1, R_2, \dots, R_n = Curah hujan pada setiap titik pengukuran (stasiun)



Gambar 2.1 Poligon Thiessen

2.3.3.1 Analisis Frekwensi

Dari curah hujan rata-rata dari berbagai stasiun yang ada di daerah aliran sungai, selanjutnya dianalisis secara statistik untuk mendapatkan pola sebaran data curah hujan yang sesuai dengan pola sebaran data curah hujan rata-rata.

2.3.3.2 Pengukuran Dispersi

Pada kenyataannya bahwa tidak semua varian dari suatu variable hidrologi terletak atau sama dengan nilai rata-ratanya. Variasi atau dispersi adalah besarnya derajat dari sebaran varian disekitar nilai rata-ratanya. Cara mengukur besarnya dispersi disebut pengukuran dispersi (Soewarno,1995).

Adapun cara pengukuran dispersi antara lain :

a. Deviasi Standart (S)

$$\text{Rumus : } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} \dots\dots\dots(2.4)$$

(Soewarno,1995)

di mana :

S = Deviasi standart

X_i = Nilai varian ke i

\bar{X} = Nilai rata-rata varian

N = Jumlah data

b. Koefisien *Skewness* (CS)

Kemencengan (*skewness*) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidak semetrisan dari suatu bentuk distribusi.

$$\text{Rumus : } CS = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \dots\dots\dots(2.5)$$

(Soewarno,1995)

di mana :

CS = koefisien *Skewness*

X_i = Nilai varian ke i

\bar{X} = Nilai rata-rata varian

n = Jumlah data

S = Deviasi standar

c. Pengukuran Kurtosis

Pengukuran kurtosis dimaksud untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi, yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal.

Rumus :

$$CK = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{S^4} \dots\dots\dots(2.6)$$

(Soewarno,1995)

di mana :

CK = Koefisien Kurtosis

X_i = Nilai varian ke i

\bar{X} = Nilai rata-rata varian

n = Jumlah data

S = Deviasi standar

d. Koefisien Variasi (CV)

Koefisien Variasi adalah nilai perbandingan antara deviasi standar dengan nilai rata-rata hitung suatu distribusi.

Rumus

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \dots\dots\dots(2.7)$$

(Soewarno,1995)

di mana :

CV = Koefisien variasi

\bar{X} = Nilai rata-rata varian

S = Standart deviasi

Dari nilai-nilai di atas, kemudian dilakukan pemilihan jenis sebaran yaitu dengan membandingkan koefisien distribusi dari metode yang akan digunakan.

2.3.3.3 Pemilihan Jenis Sebaran

Ada berbagai macam distribusi teoritis yang kesemuanya dapat dibagi menjadi dua yaitu distribusi diskrit dan distribusi kontinyu. Yang diskrit adalah binomial dan poisson, sedangkan yang kontinyu adalah Normal, Log Normal, Gama, Beta, Pearson dan Gumbel (Soewarno,1995).

Untuk memilih jenis sebaran, ada beberapa macam distribusi yang sering dipakai yaitu :

a. Distribusi Normal

Dalam analisis hidrologi distribusi normal sering digunakan untuk menganalisis frekwensi curah hujan, analisis statistik dari distribusi curah hujan tahunan, debit rata-rata tahunan.

Distribusi tipe normal, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefisien of skewness*) atau $CS = 0$ (Soewarno,1995).

b. Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal, merupakan hasil transformasi dari distribusi Normal, yaitu dengan mengubah varian X menjadi nilai logaritmik varian X . Distribusi ini dapat diperoleh juga dari distribusi Log Person Tipe III, apabila nilai koefisien kemencengan $CS = 0$ (Soewarno,1995).

Distribusi tipe Log Normal, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefisien of skewness*) atau $CS = 3 CV + CV^3$ (Soewarno,1995).

c. Distribusi Gumbel I

Distribusi Tipe I Gumbel atau Distribusi Extrim Tipe I digunakan untuk analisis data maksimum, misalnya untuk analisis frekwensi banjir.

Distribusi Tipe I Gumbel, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefisien of skewness*) atau $CS = 1,139$ (Soewarno,1995).

d. Distribusi Log Person Tipe III

Distribusi Gumbel Tipe III atau Distribusi Extrim Tipe III digunakan untuk analisis variable hidrologi dengan nilai varian minimum misalnya analisis frekwensi distribusi dari debit minimum (*low flows*).

Distribusi Tipe I Gumbel, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefisien of skewness*) atau $CS \neq 0$.

Setelah pemilahan jenis sebaran dilakukan maka prosedur selanjutnya yaitu mencari curah hujan rencana periode ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun (Soewarno,1995).

2.3.4 Uji Keselarasan

Uji keselarasan dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaam distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Ada dua jenis keselarasan (*Goodnes of Fit Test*), yaitu uji keselarasan *Chi Square* dan *Smirnov Kolmogorof*. Pada tes ini kami menggunakan

Laporan Tugas Akhir

Perencanaan Embung di Kecamatan Musuk, Kab. Boyolali

Dyan Radityo – Helmi Suprpto

metode uji keselarasan *Chi Square*, biasanya yang diamati adalah nilai hasil perhitungan yang diharapkan.

1. Uji keselarasan *chi square*

Prinsip pengujian dengan metode ini didasarkan pada jumlah pengamatan yang diharapkan pada pembagian kelas, dan ditentukan terhadap jumlah data pengamatan yang terbaca di dalam kelas tersebut, atau dengan membandingkan nilai *chi square* (f^2) dengan nilai *chi square* kritis (f^2_{cr}).

Rumus :

$$f^2 = \sum \frac{(E_i - O_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots (2.8)$$

di mana :

f^2 = harga *chi square*

O_i = jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke-1

E_i = jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke-1

Dari hasil pengamatan yang didapat dicari penyimpangannya dengan *chi square* kritis (didapat dari tabel 2.6) paling kecil. Untuk suatu nilai nyata tertentu (*level of significant*) yang sering diambil adalah 5%. Derajat kebebasan ini secara umum dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Dk = n-3 \dots\dots\dots (2.9)$$

di mana :

Dk = Derajat kebebasan

n = banyaknya rata-rata

Tabel 2.5 Nilai kritis untuk Distribusi Chi-Square

Dk	α derajat kepercayaan							
	0.995	0.99	0.975	0.95	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0,0000393	0,000157	0,000982	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	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
11	2,603	3,053	3,816	4,575	19,675	21,920	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	21,026	23,337	26,217	28,300
13	3,565	4,107	5,009	5,892	22,362	24,736	27,688	29,819
14	4,075	4,660	5,629	6,571	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	24,996	27,488	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	26,296	28,845	32,000	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,587	30,191	33,409	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,390	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	30,144	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,260	9,591	10,851	31,41	34,170	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,260	10,196	11,689	13,091	36,172	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,415	39,364	42,980	45,558
25	10,520	11,524	13,120	14,611	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,160	12,198	13,844	15,379	38,885	41,923	45,642	48,290
27	11,808	12,879	14,573	16,151	40,113	43,194	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,256	16,047	17,708	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,493	43,773	46,979	50,892	53,672

Sumber : Soewarno, 1995

2.3.5 Perhitungan Debit Banjir Rencana

Metode yang digunakan untuk menghitung debit banjir rencana sebagai dasar perencanaan konstruksi embung adalah sebagai berikut :

1. Metode Rasional

Perhitungan metode rasional menggunakan rumus sebagai berikut (Loebis, 1984) :

$$Q = \frac{1}{3,6} \cdot f \cdot r \cdot A \dots\dots\dots(2.10)$$

di mana :

Q = Debit banjir rencana (m³/det)

f = Koefisien pengaliran

r = Intensitas hujan selama t jam (mm/jam)

$$= \frac{R_{24} 24^{2/3}}{24T} = R_{24} \left[\frac{0,347}{T^{2/3}} \right]$$

$$T = \frac{l}{w}$$

T = Waktu konsentrasi (jam)

$$w = 20 \frac{H^{0,6}}{l} (m / det)$$

$$w = 72 \frac{H^{0,6}}{l} (Km / jam)$$

w = waktu kecepatan perambatan (m/det atau Km/jam)

l = Jarak dari ujung daerah hulu sampai titik yang ditinjau (Km)

A = Luas DAS (Km²)

H = Beda tinggi ujung hulu dengan titik tinggi yang ditinjau (m)

Koefisien pengaliran (f) tergantung tergantung dari beberapa faktor antara lain jenis tanah, kemiringan, luas dan bentuk pengaliran sungai. Sedangkan besarnya nilai koefisien pengaliran dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.6 Koefisien Pengaliran

Kondisi Daerah Pengaliran	Koefisien Pengaliran (f)
Daerah pegunungan berlereng terjal	0,75 – 0,90
Daerah perbukitan	0,70 – 0,80
Tanah bergelombang dan bersemak-semak	0,50 – 0,75
Tanah dataran yang digarap	0,45 – 0,65
Persawahan irigasi	0,70 – 0,80
Sungai didaerah pegunungan	0,75 – 0,85
Sungai kecil didataran	0,45 – 0,75
Sungai yang besar dengan wilayah pengaliran lebih dari seperduanya terdiri dari dataran	0,50 – 0,75

Sumber : Loebis (1984)

2. Metode Der Weduwen

Digunakan untuk luas DAS $\leq 100 \text{ km}^2$.

Rumus :

$$Q_n = \alpha \cdot \beta \cdot q_n \cdot A \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\alpha = 1 - \frac{4.1}{\beta \cdot q + 7} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$\beta = \frac{120 + \frac{t+1}{t+9} \cdot A}{120 + A} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$q_n = \frac{R_n}{240} \cdot \frac{67,65}{t+1,45} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$t = 0,25 \cdot L \cdot Q^{-0,125} \cdot I^{-0,25} \dots\dots\dots (2.15)$$

di mana :

Q_n = debit banjir (m^3/det) dengan kemungkinan tak terpenuhi n %

R_n = curah hujan harian maksimum ($mm/hari$) dengan kemungkinan tak terpenuhi n %

α = koefisien limpasan air hujan (*run off*)

β = koefisien pengurangan daerah untuk curah hujan DAS

q_n = curah hujan ($m^3/det.km^2$)

A = luas daerah aliran (km^2) sampai $100 km^2$

t = lamanya curah hujan (jam) yaitu pada saat-saat kritis curah hujan yang mengacu pada terjadinya debit puncak, tidak sama dengan waktu konsentrasi Melchior

L = panjang sungai (km)

I = gradien (Melchior) sungai atau medan

3. Metode Haspers

Rumus :

$$Q_n = \alpha \cdot \beta \cdot q_n \cdot A \dots\dots\dots (2.16)$$

$$\alpha = \frac{1 + 0,012 \cdot A^{0,70}}{1 + 0,075 \cdot A^{0,70}} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t + 3,70 \cdot 10^{-0,40t}}{t^2 + 15} \cdot \frac{A^{0,75}}{12} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$q_n = \frac{t \cdot R_n}{3,6 \cdot t} \dots\dots\dots (2.19)$$

$$t = 0,10.L^{0,80}.i^{-0,30} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$R_n = \frac{t.R_t}{t+1} \dots\dots\dots (2.21)$$

di mana :

Q_n = debit banjir rencana periode ulang T tahun (m^3/det)

R_n = curah hujan harian maksimum rencana periode ulang T tahun ($mm/hari$)

α = koefisien limpasan air hujan (*run off*)

β = koefisien pengurangan daerah untuk curah hujan DAS

q_n = curah hujan ($m^3/det.km^2$)

A = luas daerah aliran sungai (DAS) (km^2)

t = lamanya curah hujan (jam) yaitu pada saat-saat kritis curah hujan yang mengacu pada terjadinya debit puncak, tidak sama dengan waktu konsentrasi Melchior

L = panjang sungai (km)

i = kemiringan dasar sungai

2.4 Penelusuran Banjir (*Flood Routing*)

Penelusuran banjir dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik *hidrograf outflow*/keluaran, yang sangat diperlukan dalam pengendalian banjir. Perubahan *hidrograf* banjir antara *inflow* (I) dan *outflow* (O) karena adanya faktor tampungan atau adanya penampang sungai yang tidak seragam atau akibat adanya meander sungai. Jadi penelusuran banjir ada dua, untuk mengetahui perubahan *inflow* dan *outflow* pada waduk dan *inflow* pada satu titik dengan suatu titik di tempat lain pada sungai.

Perubahan *inflow* dan *outflow* akibat adanya tampungan. Maka pada suatu embung terdapat *inflow* banjir (I) akibat adanya banjir dan *outflow* (O) apabila muka air waduk naik, di atas *spillway* (terdapat limpasan).

$I > O$ tampungan waduk naik Elevasi muka air waduk naik.

$I < O$ tampungan waduk turun Elevasi muka waduk turun.

Pada penelusuran banjir berlaku persamaan kontinuitas.

$$I - O = \Delta S \dots\dots\dots (2.22)$$

ΔS = Perubahan tampungan air di waduk

Persamaan kontinuitas pada periode $\Delta t = t_1 - t_2$ adalah :

$$\left[\frac{I1 + I2}{2} \right] * \Delta t - \left[\frac{O1 + O2}{2} \right] * \Delta t = S2 - S1 \dots\dots\dots (2.23)$$

Misalnya penelusuran banjir pada waduk, maka langkah yang diperlukan adalah :

- 1) Menentukan *hidrograf inflow* sesuai skala perencanaan
- 2) Menyiapkan data hubungan antara volume dan area waduk dengan elevasi waduk
- 3) Menentukan atau menghitung debit limpasan *spillway* waduk pada setiap ketinggian air diatas *spillway* dan dibuat dalam grafik
- 4) Ditentukan kondisi awal waduk (muka air waduk) pada saat dimulai *routing*. Hal ini diperhitungkan terhadap kondisi yang paling bahaya dalam rangka pengendalian banjir.
- 5) Menentukan periode waktu peninjauan t_1, t_2, \dots , dst, semakin periode waktu (t_2-t_1) semakin kecil adalah baik.
- 6) Selanjutnya perhitungan dilakukan dengan tabel, seperti contoh di bawah (dengan cara analisis langkah demi langkah)

Tabel 2.7 Contoh Tabel Flood routing Dengan Step By Step Method

Waktu ke:	t	I Inflow	I _r Rata ²	Volume I _r *t	Asumsi el. Waduk	O outflow	O _r rata ²	Vol O _r *t	S Storage	Kumulatif Storage x 10 ³	Elv. M.a. Waduk
1		1			70	0				1000	70
	60		2	720			1	3600	3600		
2		3			71,2	2				1003.6	71.1
dst											

Sumber: (Kodoatie dan Sugiyanto, 2000)

2.5 Embung

Embung adalah bangunan penyimpanan air yang dibangun di daerah depresi, kolam embung akan menyimpan air di musim hujan, dan kemudian air akan dimanfaatkan oleh penduduk suatu desa selama musim kemarau, misalnya untuk memenuhi kebutuhan air baku dan lain-lain.

Secara umum, gambaran bangunan embung mirip dengan bendungan (Dam), tapi dengan kapasitas tampungan air yang lebih kecil.

2.5.1 Klasifikasi Embung menurut fungsi dan material penyusunnya.

1. Klasifikasi embung menurut fungsinya ada tiga macam, yaitu :

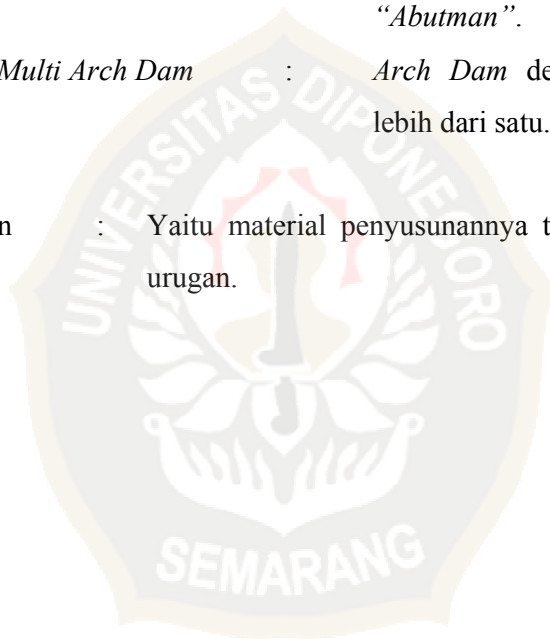
- (1). *Storage Dam* yaitu berfungsi menampung air disaat kelebihan, dan melepaskan air di saat kekurangan yaitu untuk PLTA, pengairan dan lain-lain..
- (2). *Diversion Dam* yaitu berfungsi selain menampung air, juga meninggikan air untuk dialirkan ke saluran, penggelontoran, dan lain-lain.
- (3). *Detention Dam / Flood storage* yaitu berfungsi menando debit banjir dan melepaskan dengan besar debit terkontrol.

2. Klasifikasi embung menurut material penyusun ada 3 macam yaitu :

- (1). Embung urugan (Timbunan)
 - Timbunan Tanah (*Earth Fill*).
 - Homogen : Bila material penyusunnya 100 % dari tanah.
 - Zonal : Ditengah urugan tanah terdapat lapis-lapis inti/*core*, dan transisi Lapis inti/*core* dapat berbentuk miring, dapat berbentuk tegak.
 - Lapis Muka : Bila dilereng *Up-stream* Dam urugan diberi lapisan dengan maksud tertentu.
 - Timbunan Batu (*Rock Fill*).
Bila hampir 100% Dam disusun dari material batu (urugan batu), biasanya dilengkapi dengan lapisan inti.
- (2). Beton (*Concrete*)
 - *Gravity Dam* : Dam dibuat dari konstruksi beton dengan bentuk lurus membentang

sungai, dan jenis ini lebih menggantungkan kestabilannya pada masa dam tersebut.

- *Arch Dam* : *Gravity Dam* dengan bentuk tidak lurus membentang sungai, tetapi berbentuk “*curve*” atau melengkung. Dan jenis ini lebih menggantungkan kestabilannya pada konstruksi “*Arch*” dan “*Abutman*”.
 - *Multi Arch Dam* : *Arch Dam* dengan *curve*/ jari-jari lebih dari satu.
- (3). Gabungan : Yaitu material penyusunannya terdiri dari beton dan urugan.



2.5.2 Pemilihan Tipe Konstruksi Embung

Untuk pemilihan tipe embung Musuk ini kami memilih tipe embung urugan dengan klasifikasi urugan homogen dengan pertimbangan mudah didapatnya bahan untuk tubuh embung, dapat digunakan tanah yang terdapat disekitar desa Musuk. Karena dibandingkan dengan jenis-jenis lainnya, embung urugan ini mempunyai keistimewaan –keistimewaan sebagai berikut :

- ✓ Bahan untuk tubuh embung dapat digunakan tanah yang hampir sejenis dan gradasinya (susunan ukuran butirannya) hampir seragam yang terdapat di sekitar calon lokasi pembuatan embung, dibandingkan dengan jenis embung tipe beton.
- ✓ Dalam pembangunannya, embung urugan dapat dilaksanakan secara mekanis dengan intensitas yang tinggi, dan karena banyaknya tipe-tipe peralatan yang sudah diproduksi, maka dapat dipilih peralatan yang paling cocok, sesuai dengan sifat-sifat bahan yang akan digunakan serta kondisi lapangan pelaksanaan.

2.5.3 Pemilihan Lokasi Embung

Embung merupakan salah satu bagian dari proyek secara keseluruhan maka letaknya juga dipengaruhi oleh bangunan-bangunan lain seperti bangunan pelimpah, bangunan penyadap bangunan pengeluaran, bangunan untuk pembelokan sungai dan lain-lain.

Untuk menentukan lokasi dan denah embung harus memperhatikan beberapa faktor yaitu :

1. Tempat embung merupakan cekungan yang cukup untuk menampung air, terutama pada lokasi yang keadaan geotekniknya tidak lulus air, sehingga kehilangan airnya hanya sedikit.
2. Lokasinya terletak di daerah manfaat yang memerlukan air sehingga jaringan distribusinya tidak begitu panjang dan tidak banyak kehilangan energi.
3. Lokasi embung terletak di dekat jalan, sehingga jalan masuk (*access road*) tidak begitu panjang dan lebih mudah ditempuh.

Sedangkan faktor yang menentukan didalam pemilihan tipe embung adalah :

1. Tujuan pembangunan proyek
2. Keadaan klimatologi setempat
3. Keadaan hidrologi setempat
4. Keadaan di daerah genangan
5. Keadaan geologi setempat
6. Tersedianya bahan bangunan
7. Hubungan dengan bangunan pelengkap
8. Keperluan untuk pengoperasian waduk
9. Keadaan lingkungan setempat
10. Biaya proyek

2.5.4 Rencana Teknis Pondasi

Keadaan geologi pada pondasi embung sangat mempengaruhi pemilihan tipe embung, oleh karena itu penelitian dan penyelidikan geologi perlu dilaksanakan dengan baik. Pondasi suatu embung harus memenuhi 3 (tiga) persyaratan penting yaitu :

1. Mempunyai daya dukung yang mampu menahan beban dari tubuh embung dalam berbagai kondisi
2. Mempunyai kemampuan penghambat aliran filtrasi yang memadai, sesuai dengan fungsinya sebagai penahan air.
3. Mempunyai ketahanan terhadap gejala-gejala sufosi (*piping*) dan sembulan (*boiling*) yang disebabkan oleh aliran filtrasi yang melalui lapisan-lapisan pondasi tersebut.

Sesuai dengan jenis batuan yang membentuk lapisan pondasi, maka secara umum pondasi embung dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu :

1. Pondasi batuan (*Rock foundation*)
2. Pondasi pasir atau kerikil
3. Pondasi tanah.

Daya dukung tanah (*bearing capacity*) adalah kemampuan tanah untuk mendukung beban baik dari segi struktur pondasi maupun bangunan di atasnya tanpa terjadinya keruntuhan geser. Daya dukung batas (*ultimate bearing capacity*) adalah daya dukung terbesar dari tanah mendukung beban dan diasumsikan tanah mulai terjadi keruntuhan.

Besarnya daya dukung batas terutama ditentukan oleh :

1. Parameter kekuatan geser tanah yang terdiri dari kohesi (C) dan sudut geser dalam (ϕ)
2. Berat isi tanah (γ)
3. Kedalaman pondasi dari permukaan tanah (Z_f)
4. Lebar dasar pondasi (B)

Besarnya daya dukung yang diijinkan sama dengan daya dukung batas dibagi angka keamanan, dan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$qa = \frac{q_{ult}}{FK} \dots\dots\dots (2.24)$$

Perhitungan daya dukung batas untuk pondasi dangkal pada kondisi umum :

1. Pondasi menerus

$$q_{ult} = c * N_c + \gamma * D * N_q + \left(\frac{B}{2}\right) * \gamma * N_\gamma \dots\dots\dots (2.25)$$

2. Pondasi persegi

$$q_{ult} = c * N_c \left(1 + 0.3 * \left(\frac{B}{2}\right)\right) + \gamma * D * N_q + B * 0.4 \gamma * N_\gamma \dots\dots\dots (2.26)$$

2.5.5 Perencanaan Tubuh Embung

Beberapa istilah penting mengenai tubuh embung:

1. Tinggi Embung.

Tinggi embung adalah perbedaan antara elevasi permukaan pondasi dan elevasi mercu embung. Apabila pada embung dasar dinding kedap air atau zona kedap air, maka yang dianggap permukaan pondasi adalah garis perpotongan antara bidang vertikal yang melalui hulu mercu embung dengan permukaan pondasi alas embung tersebut. Tinggi maksimal untuk embung adalah 15 m.

2. Tinggi Jagaan (*free board*)

Tinggi jagaan adalah perbedaan antara elevasi permukaan maksimum rencana air dalam waduk dan elevasi mercu embung. Elevasi permukaan air maksimum rencana biasanya merupakan elevasi banjir rencana waduk.

Tinggi jagaan ditentukan dengan rumus sebagai berikut (*Suyono Sosrodarsono, 1989*) :

$$H_f \geq \Delta h + (h_w \text{ atau } \frac{h_e}{2}) + h_a + h_i \dots\dots\dots (2.27)$$

$$H_f \geq h_w + \frac{h_e}{2} + h_a + h_i \dots\dots\dots (2.28)$$

di mana	:	
H_f	=	tinggi jagaan
Δh	=	tinggi kemungkinan kenaikan permukaan air waduk yang terjadi akibat timbulnya banjir abnormal
h_w	=	tinggi ombak akibat tiupan angin
h_e	=	tinggi ombak akibat gempa
h_a	=	tinggi kemungkinan kenaikan permukaan air waduk, apabila terjadi kemacetan-kemacetan pada pintu bangunan pelimpah.
h_i	=	tinggi tambahan yang didasarkan pada tingkat urgensi dari waduk

Tinggi kenaikan permukaan air yang disebabkan oleh banjir abnormal (Δh)

Digunakan rumus :

$$\Delta h = \frac{2}{3} \cdot \frac{\alpha Q_0}{Q} \cdot \frac{h}{1 + \frac{\Delta h}{Q_T}} \dots\dots\dots (2.29)$$

di mana	:	
Q_0	=	debit banjir rencana
Q	=	kapasitas rencana

- α = 0,2 untuk bangunan pelimpah terbuka
 α = 1,0 untuk bangunan pelimpah tertutup
 h = kedalaman pelimpah rencana
 A = luas permukaan air waduk pada elevasi banjir rencana

Tinggi ombak yang disebabkan oleh gempa (h_e)

$$h_e = \frac{e \cdot \tau}{\pi} \sqrt{g \cdot h_0} \dots\dots\dots (2.30)$$

di mana :

- e = Intensitas seismis horizontal
 τ = Siklus seismis
 h_0 = Kedalaman air di dalam waduk

Kenaikan permukaan air waduk yang disebabkan oleh ketidaknormalan operasi pintu bangunan (h_a)

Sebagai standar biasanya diambil $h_a = 0,5$ m (*Suyono Sosrodarsono, 1989*)

Angka tambahan tinggi jagaan yang didasarkan pada tipe embung (h_i)

Mengingat limpasan melalui mercu embung urugan sangat berbahaya maka untuk embung tipe ini angka tambahan tinggi jagaan (h_i) ditentukan sebesar 1,0 m ($h_i = 1,0$ m).

Apabila didasarkan pada tinggi embung yang direncanakan, maka standar tinggi jagaan embung urugan adalah sebagai berikut :

Lebih rendah dari 50 m	$H_f \geq 2$ m
Dengan tinggi antara 50-100 m	$H_f \geq 3$ m
Lebih tinggi dari 100 m	$H_f \geq 3,5$ m

3. Lebar Mercu Embung

Lebar mercu embung yang memadai diperlukan agar puncak embung dapat tahan terhadap hempasan ombak dan dapat tahan terhadap aliran filtrasi yang melalui puncak tubuh embung. Disamping itu, pada penentuan lebar mercu perlu

diperhatikan kegunaannya sebagai jalan inspeksi dan pemeliharaan embung. Penentuan lebar mercu dirumuskan sebagai berikut (*Suyono Sosrodarsono, 1989*) :

$$b = 3,6 H^{1/3} - 3 \dots\dots\dots (2.31)$$

di mana :

b = lebar mercu

H = tinggi embung

4. Panjang Embung

Yang dimaksud dengan panjang embung adalah seluruh panjang mercu embung yang bersangkutan, termasuk bagian yang digali pada tebing-tebing sungai di kedua ujung mercu tersebut. Apabila bangunan pelimpah atau bangunan penyadap terdapat pada ujung-ujung mercu, maka lebar bangunan-bangunan pelimpah tersebut diperhitungkan pula dalam menentukan panjang embung.

5. Volume Embung

Seluruh jumlah volume konstruksi yang dibuat dalam rangka pembangunan tubuh embung termasuk semua bangunan pelengkapanya dianggap sebagai volume embung.

6. Kemiringan lereng (*slope gradient*)

Kemiringan rata-rata lereng embung (lereng hulu dan lereng hilir) adalah perbandingan antara panjang garis vertikal yang melalui tumit masing-masing lereng tersebut. Berm lawan dan drainase prisma biasanya dimasukkan dalam perhitungan penentuan kemiringan lereng, akan tetapi alas kedap air biasanya diabaikan. Kemiringan lereng urugan harus ditentukan sedemikian rupa agar stabil terhadap longoran. Hal ini sangat tergantung pada jenis material urugan yang dipakai. Kestabilan urugan harus diperhitungkan terhadap frekuensi naik turunnya muka air, rembesan, dan harus tahan terhadap gempa.

Tabel 2.8 Kemiringan Lereng Urugan

Material Urugan	Material Utama	Kemiringan Lereng	
		Vertikal : Horisontal	
		Hulu	Hilir
a. Urugan homogen	CH CL SC GC GM SM	1 : 3	1 : 2,25
b. Urugan majemuk			
a. Urugan batu dengan inti lempung atau dinding diafragma	Pecahan batu	1 : 1,50	1 : 1,25
b. Kerikil-kerakal dengan inti lempung atau dinding diafragma	Kerikil-kerakal	1 : 2,50	1 : 1,75

7. Penimbunan Ekstra

Sehubungan dengan terjadinya gejala konsolidasi tubuh embung, yang prosesnya berjalan lama sesudah pembangunan embung tersebut diadakan penimbunan ekstra melebihi tinggi dan volume rencana dengan perhitungan agar sesudah proses konsolidasi berakhir maka penurunan tinggi dan penyusutan volume akan mendekati tinggi dan volume rencana embung.

2.5.6 Stabilitas Embung

Merupakan perhitungan konstruksi untuk menentukan ukuran (dimensi) embung agar mampu menahan muatan-muatan dan gaya-gaya yang bekerja padanya dalam keadaan apapun juga. Konstruksi harus aman terhadap geseran, penurunan embung, terhadap rembesan dan keadaan embung kosong, penuh air maupun permukaan air turun tiba-tiba.

Gaya-gaya yang bekerja pada embung urugan :

1. Berat Tubuh Embung Sendiri.

Berat tubuh embung dihitung dalam beberapa kondisi yang tidak menguntungkan yaitu :

- a. Pada kondisi lembab segera setelah tubuh pondasi selesai dibangun.
- b. Pada kondisi sesudah permukaan waduk mencapai elevasi penuh, dimana bagian embung yang terletak di sebelah atas garis depresi dalam keadaan jenuh.
- c. Pada kondisi di mana terjadi gejala penurunan mendadak (rapid draw-down) permukaan air waduk, sehingga semua bagian embung yang semula terletak di sebelah bawah garis depresi tetap dianggap jenuh.

2. Tekanan Hidrostatik

Pada perhitungan stabilitas embung dengan metode irisan (*slice methode*) biasanya beban hidrostatik yang bekerja pada lereng sebelah hulu embung dapat digambarkan dalam tiga cara pembebanan. Pemilihan cara pembebanan yang cocok untuk suatu perhitungan, harus disesuaikan dengan semua pola gaya-gaya yang bekerja pada embung, yang akan diikuti sertakan dalam perhitungan. Pada kondisi dimana garis depresi mendekati bentuk horizontal, maka dalam perhitungan langsung dapat dianggap horizontal dan berat bagian tubuh embung yang terletak dibawah garis depresi tersebut diperhitungkan sebagai berat bahan yang terletak dalam air. Tetapi dalam kondisi perhitungan yang berhubungan dengan gempa, biasanya berat bagian ini dianggap dalam kondisi jenuh.

3. Tekanan air pori

Gaya-gaya yang timbul dari tekanan air pori di embung terhadap lingkaran bidang luncur. Tekanan air pori dihitung dengan beberapa kondisi yaitu :

- a. Gaya-gaya yang timbul dari tekanan air pori dalam kondisi tubuh embung baru dibangun.

- b. Gaya-gaya yang timbul dari tekanan air pori dalam kondisi waduk telah terisi penuh dan permukaan air sedang menurun secara berangsur-angsur.
- c. Gaya-gaya yang timbul dari tekanan air pori dalam kondisi terjadinya penurunan mendadak permukaan waduk hingga mencapai permukaan terendah, sehingga besarnya tekanan air pori dalam tubuh embung masih dalam kondisi waduk terisi penuh.

4. Beban seismis (*seismic force*)

Beban seismis akan timbul pada saat terjadinya gempa bumi, dan penetapan suatu kapasitas beban seismis secara pasti sangat sukar. Faktor-faktor yang menentukan besarnya beban seismis pada embung urugan, adalah :

- a. Karakteristik, lamanya dan kekuatan gempa yang terjadi.
- b. Karakteristik dari pondasi embung.
- c. Karakteristik bahan pembentuk tubuh embung.
- d. Tipe embung.

Komponen horisontal beban seismis dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut (*Suyono Sosrodarsono, 1989*) :

$$M \cdot \alpha = e (M \cdot g) \dots\dots\dots (2.32)$$

dimana :

- M = massa tubuh embung
 α = percepatan horizontal
 e = intensitas seismic horizontal
 g = percepatan grafitasi bumi

Tabel 2.9 Percepatan gempa horisontal

Intensitas Seismis	Gal	Jenis Pondasi	
		Batuan	Tanah
Luar biasa 7	400	0.20 g	0.25 g
Sangat Kuat 6	400-200	0.15 g	0.20 g
Kuat 5	200-100	0.12 g	0.15 g
Sedang 4	100	0.10 g	0.12 g

sumber suyono sosrodarsono, 1989

(ket : 1 gal = 1 cm/det²)

5. Stabilitas Lereng Embung Urugan Menggunakan Metode Irisan Bidang Luncur Bundar.

Faktor keamanan dari kemungkinan terjadinya longsoran dapat diperoleh dengan menggunakan rumus keseimbangan sebagai berikut :

$$F_s = \frac{\sum \{C.l + (N - U - N_e) \tan \phi\}}{\sum (T + T_e)} \dots\dots\dots (2.33)$$

$$= \frac{\sum C.l + \sum \{\gamma.A(\cos \alpha - e.\sin \alpha) - V\} \tan \phi}{\sum \gamma.A(\sin \alpha + e.\cos \alpha)} \dots\dots\dots (2.34)$$

di mana :

- F_s = faktor keamanan
- N = beban komponen vertikal yang timbul dari berat setiap irisan bidang luncur ($= \gamma.A.\cos \alpha$)
- T = beban komponen tangensial yang timbul dari berat setiap irisan bidang luncur ($= \gamma.A.\sin \alpha$)
- U = tekanan air pori yang bekerja pada setiap irisan bidang luncur
- N_e = komponen vertikal beban seismic yang bekerja pada setiap irisan bidang luncur ($= e.\gamma.A.\sin \alpha$)
- T_e = komponen tangensial beban seismic yang bekerja pada setiap irisan bidang luncur ($= e.\gamma.A.\cos \alpha$)
- ϕ = sudut gesekan dalam bahan yang membentuk dasar setiap irisan bidang luncur.
- C = Angka kohesi bahan yang membentuk dasar setiap irisan bidang luncur
- Z = lebar setiap irisan bidang luncur
- E = intensitas seismic horisontal
- γ = berat isi dari setiap bahan pembentuk irisan bidang luncur
- A = luas dari setiap bahan pembentuk irisan bidang luncur
- α = sudut kemiringan rata-rata dasar setiap irisan bidang luncur

V = tekanan air pori

Prosedur perhitungan metode irisan bidang lancur bundar :

1. Andaikan bidang lancur bundar dibagi menjadi beberapa irisan vertikal dan walaupun bukan merupakan persyaratan yang mutlak, biasanya setiap irisan lebarnya dibuat sama. Disarankan agar irisan bidang lancur tersebut dapat melintasi perbatasan dari dua buah zone penimbunan atau supaya memotong garis depresi aliran filtrasi.
2. Gaya-gaya yang bekerja pada setiap irisan adalah sebagai berikut :
3. Berat irisan (W), dihitung berdasarkan hasil perkalian antara luas irisan (A) dengan berat isi bahan pembentuk irisan (γ), jadi $W=A.\gamma$
4. Beban berat komponen vertikal yang bekerja pada dasar irisan (N) dapat diperoleh dari hasil perkalian antara berat irisan (W) dengan cosinus sudut rata-rata tumpuan (α) pada dasar irisan yang bersangkutan jadi $N=W.\cos \alpha$
5. Beban dari tekanan hidrostatik yang bekerja pada dasar irisan (U) dapat diperoleh dari hasil perkalian antara panjang dasar irisan (b) dengan tekanan air rata-rata ($U/\cos\alpha$) pada dasar irisan tersebut, jadi: $U=U.b/\cos\alpha$
6. Beban berat komponen tangensial (T) diperoleh dari hasil perkalian antara berat irisan (W) dengan sinus sudut rata-rata tumpuan dasar irisan tersebut jadi $T=W\sin\alpha$
7. Kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C) diperoleh dari hasil perkalian antara angka kohesi bahan (c') dengan panjang dasar irisan (b) dibagi lagi dengan $\cos \alpha$, jadi $C=c'.b/\cos\alpha$
8. Kekuatan tahanan geseran terhadap gejala peluncuran irisan adalah kekuatan tahanan geser yang terjadi pada saat irisan akan meluncur meninggalkan tumpuannya
9. Kemudian jumlahkan semua kekuatan-kekuatan yang menahan (T) dan gaya-gaya yang mendorong (S) dari setiap irisan bidang lancur, dimana T dan S dari masing-masing irisan dinyatakan sebagai $T = W \sin \alpha$ dan $S = C + (N-U) \tan \phi$.
10. Faktor keamanan dari bidang lancur tersebut adalah perbandingan antara jumlah gaya pendorong dan jumlah gaya penahan yang dirumuskan :

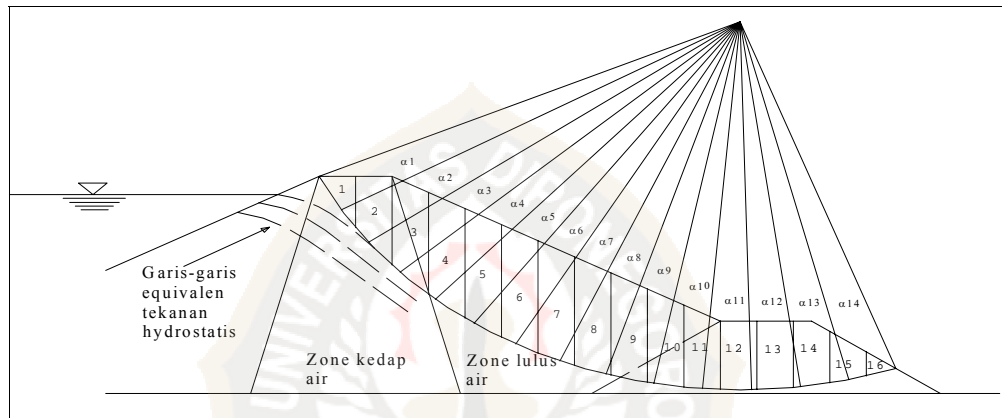
$$F_s = \frac{\sum S}{\sum T} \dots\dots\dots (2.35)$$

di mana :

F_s = factor aman

$\sum S$ = jumlah gaya pendorong

$\sum T$ = jumlah gaya penahan

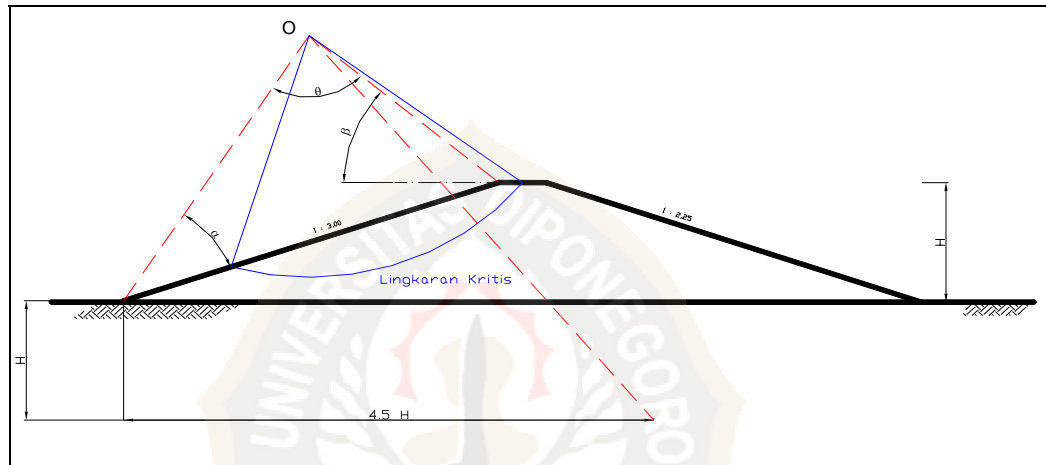


Gambar 2.4 Skema perhitungan bidang luncur dalam kondisi waduk penuh air

Cara mencari titik o:

1. Dalam menentukan titik pusat (o) untuk sliding bidang luncur pada perhitungan stabilitas lereng adalah sebagai berikut:
2. Dengan direncanakan kemiringan talud hulu dan talud hilir, maka langkah selanjutnya kita gunakan table fellenius untuk mengetahui sudut α dan β .
3. Setelah didapat harga sudut α dan β selanjutnya ditarik garis dan titik A dan B hingga kedua garis tersebut berpotongan.
4. Manarik garis ertikal ke kaki tanggul setinggi H dan dari garis tersebut dilanjutkan ditarik garis searah horizontal sepanjang 4.5 H, kemudian tarik garis dan titik perpotongan ke titik pada dasar embung yang sejauh 4.5 H tersebut.
5. Maka di sepanjang garis tersebut terletak garis kritis dalam menentukan titik pusat O.

6. Dengan cara coba – coba dilakukan penggambaran busur yang diawali dari dasar tumit embung hingga memotong puncak embung tersebut.
7. Dari penggambaran langkah diatas selanjutnya garis busur yang memotong lebar puncak embung dan menyinggung dasar tumit embung dan dapat ditentukan letak titik pusat O yang memenuhi syarat dan jari jari busur (R) dapat diukur.



Gambar 2.19. Mencari Titik Pusat dengan Metode Fellenius

Untuk mencari harga i , α , β dapat diperoleh dari table berikut ini:

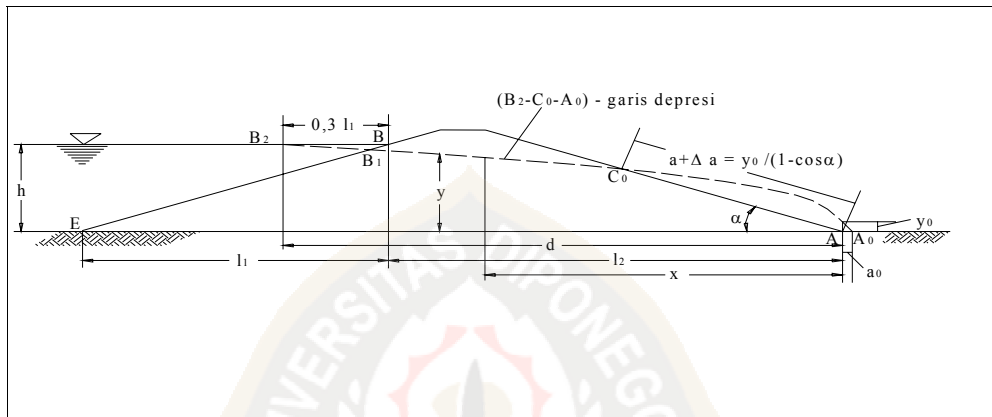
Table 2.20. Harga i , α , β untuk menentukan pusat lingkaran

m	i	α	β
1 : 0,58	60	29	40
1 : 1	45	28	37
1 : 1,5	30,8	26	35
1 : 2	26,6	25	35
1 : 2,5	21,8	25	35
1 : 3	18,4	25	35
1 : 5	11,3	25	37

6. Stabilitas embung terhadap aliran filtrasi

Baik embung maupun pondasinya diharuskan mampu menahan gaya-gaya yang ditimbulkan oleh adanya air filtrasi yang mengalir melalui celah-celah antara butiran-butiran tanah pembentuk tubuh embung dan pondasi tersebut.

Hal tersebut dapat diketahui dengan mendapatkan formasi garis depresi (*seepage flow-net*) yang terjadi dalam tubuh dan pondasi embung tersebut. Garis depresi didapat dengan persamaan parabola bentuk dasar seperti pada gambar 2.16 dibawah ini.



Gambar 2.5 Garis depresi pada embung homogen

Untuk perhitungan selanjutnya maka digunakan persamaan-persamaan di bawah ini :

$$x = \frac{y^2 - y_0^2}{2y_0} \dots\dots\dots (2.36)$$

$$y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d \dots\dots\dots (2.37)$$

Untuk zone inti kedap air garis depresi digambarkan sebagai kurva dengan persamaan berikut :

$$y = \sqrt{2y_0x + y_0^2} \dots\dots\dots (2.38)$$

- di mana :
- h = jarak vertikal antara titik A dan B
 - d = jarak horisontal antara titik B₂ dan A
 - l₁ = jarak horisontal antara titik B dan E
 - l₂ = jarak horisontal antara titik B dan A
 - A = ujung tumit hilir embung

- B = titik perpotongan antara permukaan air waduk dengan lereng hulu embung.
- A₁ = titik perpotongan antara parabola bentuk besar garis depresi dengan garis vertikal melalui titik B
- B₂ = titik yang terletak sejauh 0,3 l₁ horisontal kearah hulu dari titik B

7. Kapasitas aliran filtrasi

Memperkirakan besarnya kapasitas filtrasi yang mengalir melalui tubuh dan pondasi embung yang didasarkan pada jaringan trayektori aliran filtrasi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_f = \frac{N_f}{N_p} \cdot K \cdot H \cdot L \dots\dots\dots (2.40)$$

di mana :

- Q_f = kapasitas aliran filtrasi
- N_f = angka pembagi dari garis trayektori aliran filtrasi
- N_p = angka pembagi dari garis equipotensial
- K = koefisien filtrasi
- H = tinggi tekan air total
- L = panjang profil melintang tubuh embung

8. Gejala sufosi (*piping*) dan sembulan (*boiling*)

Kecepatan aliran keluar ke atas permukaan lereng hilir yang komponen vertikalnya dapat mengakibatkan terjadinya perpindahan butiran-butiran bahan embung, kecepatannya dirumuskan sebagai berikut (*Suyono Sosrodarsono, 1989*):

$$C = \sqrt{\frac{w_1 \cdot g}{F \cdot \gamma}} \dots\dots\dots (2.41)$$

di mana :

- c = kecepatan kritis
- w₁ = berat butiran bahan dalam air
- g = grafitasi

F	=	luas permukaan yang menampung aliran filtrasi
γ	=	berat isi air

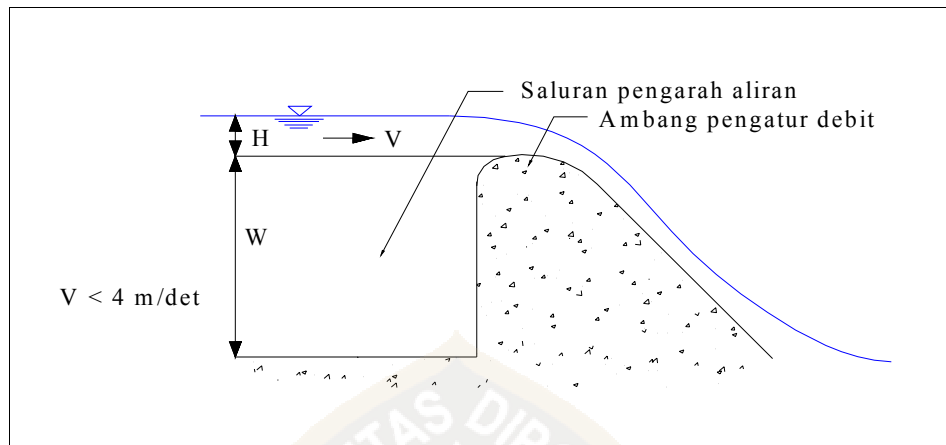
2.5.7 Rencana Teknis Bangunan Pelimpah

Suatu pelimpah banjir merupakan katup pengaman untuk suatu embung. Maka pelimpah banjir seharusnya mempunyai kapasitas untuk mengalirkan banjir-banjir besar tanpa merusak embung atau bangunan-bangunan pelengkapannya, selain itu juga menjaga waduk agar tetap berada dibawah ketinggian maksimum yang ditetapkan. Suatu pelimpah banjir dapat terkendali maupun tidak, yang terkendali dilengkapi dengan pintu air mercu atau sarana-sarana lainnya, sehingga laju aliran keluaranya dapat diatur. Pada hakekatnya untuk embung terdapat berbagai tipe bangunan pelimpah dan untuk menentukan tipe yang sesuai diperlukan suatu studi yang luas dan mendalam, sehingga diperoleh alternatif yang paling ekonomis. Bangunan pelimpah yang biasa digunakan yaitu bangunan pelimpah terbuka dengan ambang tetap. Bangunan pelimpah ini biasanya terdiri dari tiga bagian utama yaitu :

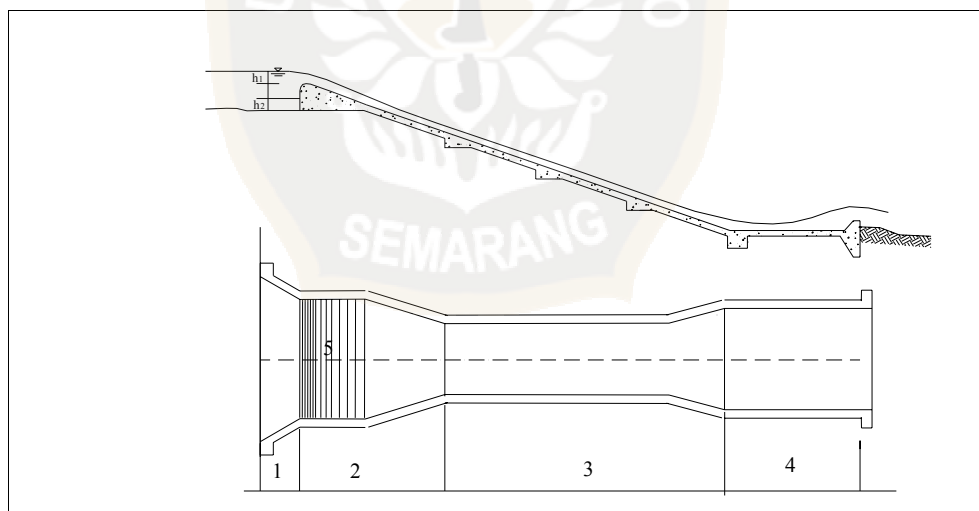
- Saluran pengarah dan pengatur aliran
- Saluran peluncur
- Peredam energi

1. Saluran Pengarah Dan Pengatur Aliran.

Bagian ini berfungsi sebagai penuntun dan pengarah aliran agar aliran tersebut senantiasa dalam kondisi hidrolika yang baik. Pada saluran pengarah aliran ini, kecepatan masuknya aliran air supaya tidak melebihi 4 m/det dan lebar saluran makin mengecil ke arah hilir. Kedalaman dasar saluran pengarah aliran biasanya diambil lebih besar dari 1/5 X tinggi rencana limpasan di atas mercu ambang pelimpah. Kapasitas debit air sangat dipengaruhi oleh bentuk ambang. Sedangkan untuk Embung Musuk ini kami menggunakan tipe bendung pelimpah (*over flow weir tipe*), untuk lebih jelasnya tentang perhitungan dan alasan menggunakan tipe ini kami jelaskan lebih detail di bab V pada Perencanaan Konstruksi.



Gambar 2.8 Saluran pengarah aliran dan ambang pengatur debit pada sebuah pelimpah



Keterangan gambar :

1. Saluran pengarah
2. Saluran pengatur
3. Saluran peluncur
4. Bangunan peredam energi
5. Ambang

Gambar 2.9 Bangunan Pelimpah

2. Saluran Peluncur

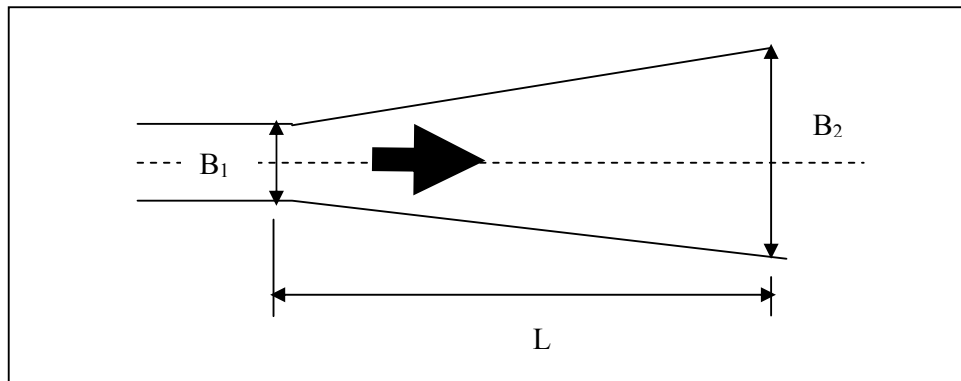
Dalam merencanakan saluran peluncur (*flood way*) harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- Agar air yang melimpah dari saluran pengatur mengalir dengan lancar tanpa hambatan-hambatan.
- Agar konstruksi saluran peluncur cukup kukuh dan stabil dalam menampung semua beban yang timbul.
- Agar biaya konstruksi diusahakan seekonomis mungkin.

Guna memenuhi persyaratan tersebut maka diusahakan agar tampak atasnya selurus mungkin. Jika bentuk yang melengkung tidak dapat dihindarkan, maka diusahakan lengkungan terbatas dan dengan radius yang besar. Biasanya aliran tak seragam terjadi pada saluran peluncur yang tampak atasnya melengkung, terutama terjadi pada bagian saluran yang paling curam dan apabila pada bagian ini terjadi suatu kejutan gelombang hidrolis, peredam energi akan terganggu.

3. Bagian yang berbentuk terompet pada ujung hilir saluran peluncur

Semakin kecil penampang lintang saluran peluncur, maka akan memberikan keuntungan ditinjau dari segi volume pekerjaan, tetapi akan menimbulkan masalah-masalah yang lebih besar pada usaha peredaman energi yang timbul per-unit lebar aliran tersebut. Sebaliknya pelebaran penampang lintang saluran akan mengakibatkan besarnya volume pekerjaan untuk pembuatan saluran peluncur, tetapi peredaman energi per-unit lebar alirannya akan lebih ringan. Berdasarkan pada pertimbangan-pertimbangan tersebut di atas, maka saluran peluncur dibuat melebar (berbentuk terompet) sebelum dihubungkan dengan peredam energi. Pelebaran tersebut diperlukan agar aliran super-kritis dengan kecepatan tinggi yang meluncur dari saluran peluncur dan memasuki bagian ini, sedikit demi sedikit dapat dikurangi akibat melebarnya aliran dan aliran tersebut menjadi semakin stabil sebelum mengalir masuk ke dalam peredam energi.



Gambar 2.10 Bagian berbentuk terompet dari saluran peluncur

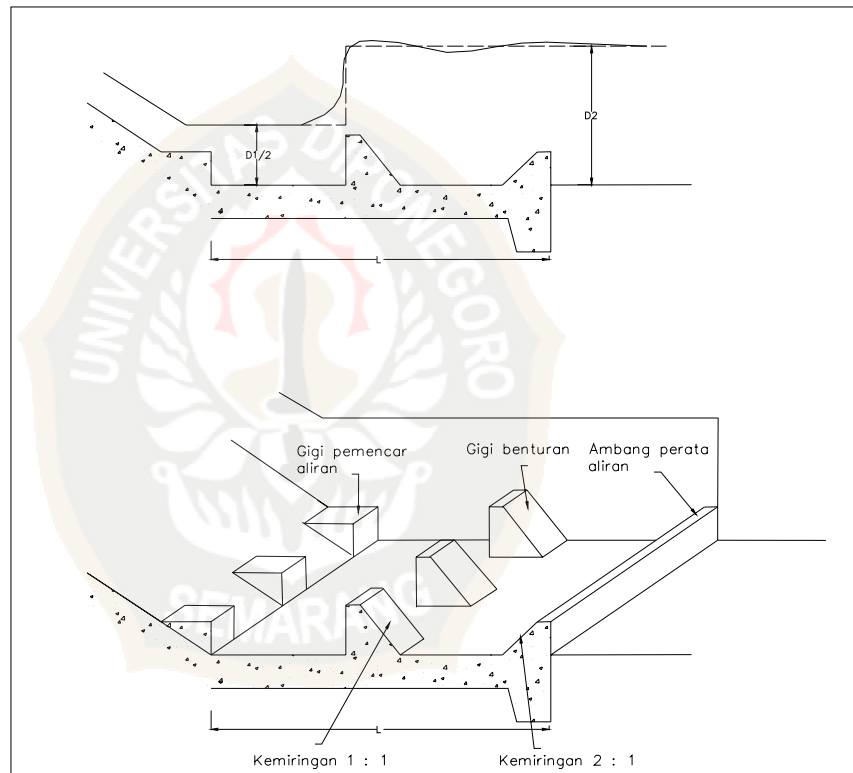
4. Peredam energi

Sebelum aliran yang melintasi bangunan pelimpah dikembalikan lagi ke dalam sungai, maka aliran dengan kecepatan yang tinggi dalam kondisi super kritis tersebut harus diperlambat dan dirubah pada kondisi aliran sub kritis. Dengan demikian, kandungan energi dengan daya penggerus sangat kuat yang timbul dalam aliran tersebut harus direduksi hingga mencapai tingkat yang normal kembali, sehingga aliran tersebut kembali ke dalam sungai tanpa membahayakan kestabilan alur sungai yang bersangkutan.

Guna mereduksi energi yang terdapat didalam aliran tersebut, maka diujung hilir saluran peluncur biasanya dibuat suatu bangunan yang disebut peredam energi pencegah gerusan. Untuk menyakinkan kemampuan dan keamanan dari peredam energi, maka pada saat melaksanakan pembuatan rencana teknisnya diperlukan pengujian kemampuannya. Apabila alur sungai disebelah hilir bangunan pelimpah kurang stabil, maka kemampuan peredam energi supaya direncanakan untuk dapat menampung debit banjir dengan probabilitas 2% (atau dengan perulangan 50 tahun). Angka tersebut akan ekonomis dan memadai tetapi dengan pertimbangan bahwa apabila terjadi debit banjir yang lebih besar, maka kerusakan-kerusakan yang mungkin timbul pada peredam energi, tidak akan membahayakan kestabilan tubuh embungunya.

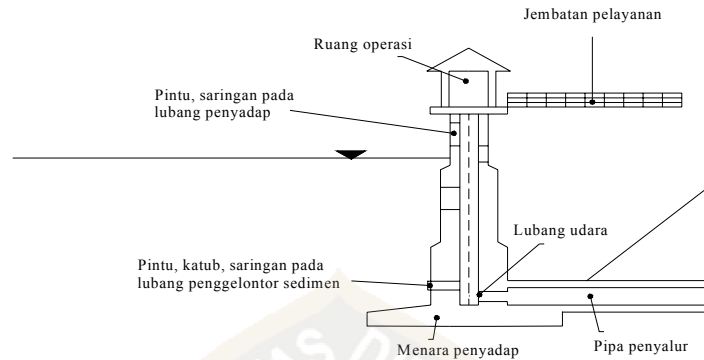
Dalam perencanaan Embung Musuk ini dipakai tipe kolam olakan yang dipakai adalah Kolam Olakan Datar Tipe III. Pada hakekatnya prinsip kerja dari kolam olakan ini sangat mirip dengan sistim kerja dari kolam olakan datar tipe II,

akan tetapi lebih sesuai untuk mengalirkan air dengan tekanan hidrostatik yang rendah dan debit yang agak kecil ($q < 18,5 \text{ m}^3/\text{dt/m}$, $V < 18,0 \text{ m/dt}$ dan bilangan Froude $> 4,5$). Untuk mengurangi panjang kolam olakan, biasanya dibuatkan gigi pemencar aliran di tepi hulu dasar kolam, gigi penghadang aliran (gigi benturan) pada dasar kolam olakan. Kolam olakan tipe ini biasanya untuk bangunan pelimpah pada bendungan urugan rendah. Untuk pemilihan Kolam Olakan Datar Tipe III, mengacu pada perhitungan yang akan kami jelaskan lebih lanjut di bab V pada Perencanaan Konstruksi.



Gambar 2.11 Bentuk kolam olakan datar tipe III USBR

2.5.8. Bangunan Penyadap Menara (*outlet tower*)



Gambar 2.12 Komponen bangunan penyadap tipe menara

Bangunan penyadap menara adalah bangunan penyadap yang bagian pengaturnya terdiri dari suatu menara yang berrongga di dalamnya dan pada dinding menara tersebut terdapat lubang-lubang penyadap yang dilengkapi pintu-pintu. Pada hakekatnya konstruksinya amat kompleks serta biayanyapun tinggi. Hal ini disebabkan oleh hal-hal penting yang mengakibatkan adanya keterbatasan yaitu :

- Bangunan penyadap menara merupakan bangunan yang berdiri sendiri, sehingga semua beban luar yang bekerja pada menara tersebut harus ditampung keseluruhan oleh pondasinya.
- Bangunan penyadap menara merupakan bangunan yang berat, sehingga membutuhkan pondasi yang kukuh dengan kemampuan daya dukung yang besar.
- Didasarkan pada pertimbangan-pertimbangan ekonomis dan keamanan bangunan, pembuatan bangunan penyadap menara kurang menguntungkan apalagi bila menara yang dibutuhkan cukup tinggi.

Untuk perencanaan Embung Musuk ini kami menggunakan bangunan penyadap menara (*outlet tower*), untuk keterangan lebih detail, kami jelaskan di bab V pada Perencanaan Konstruksi.