

BAB II

DASAR TEORI

2.1 URAIAN 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, mekanika tanah, dan ilmu lainnya yang mendukung.

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.

2.2 ANALISIS HIDROLOGI

Data hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi (*hydrologic phenomena*), seperti besarnya : curah hujan, temperatur, penguapan, lamanya penyinaran matahari, kecepatan angin, debit sungai, tinggi muka air sungai, kecepatan aliran, konsentrasi sedimen sungai akan selalu berubah terhadap waktu (Soewarno, 1995).

Data hidrologi dianalisis untuk membuat keputusan dan menarik kesimpulan mengenai fenomena hidrologi berdasarkan sebagian data hidrologi yang dikumpulkan. Untuk perencanaan embung analisis hidrologi yang terpenting yaitu dalam menentukan debit banjir rencana.

Adapun langkah-langkah dalam analisis debit rencana adalah sebagai berikut :

- a. Menentukan Daerah Aliran Sungai (DAS) beserta luasnya.
- b. Menentukan luas pengaruh daerah stasiun-stasiun penakar hujan.
- c. Menentukan curah hujan maksimum tiap tahunnya dari data curah hujan yang ada.
- d. Menganalisis curah hujan rencana dengan periode ulang T tahun.

- e. Menghitung debit banjir rencana berdasarkan besarnya curah hujan rencana di atas pada periode ulang T tahun.

2.3 PENENTUAN DEBIT BANJIR RENCANA

2.3.1 Uraian Umum Mengenai Banjir Rencana

Pemilihan banjir rencana untuk bangunan air adalah suatu masalah yang sangat bergantung pada analisis statistik dari urutan kejadian banjir baik berupa debit air di sungai maupun hujan. Dalam pemilihan suatu teknik analisis penentuan banjir rencana tergantung dari data-data yang tersedia dan macam dari bangunan air yang akan dibangun (Soewarno, 1995).

2.3.2 Curah Hujan Daerah

Untuk memperoleh data curah hujan, maka diperlukan alat untuk mengukurnya yaitu penakar hujan dan pencatat hujan. Dalam stasiun-stasiun sekitar lokasi embung di mana stasiun hujan tersebut masuk dalam DAS.

2.3.3 Perencanaan Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah aliran sungai ditentukan berdasarkan topografi daerah tersebut, di mana daerah aliran sungai adalah daerah yang dibatasi oleh punggung-punggung bukit di antara 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 dari sebelah kiri dan kanan sungai yang ditinjau. Untuk menentukan luas daerah aliran sungai dapat digunakan planimeter.

2.3.4 Analisis Curah Hujan Rencana

Dalam penentuan curah hujan data dari pencatat atau penakar hanya didapatkan curah hujan di suatu titik tertentu (*point rainfall*). Untuk mendapatkan curah hujan areal dapat dihitung dengan beberapa metode :

a. Metode Rata-rata Aljabar

Curah hujan didapatkan dengan mengambil rata-rata hitung (*arithematic mean*) dari penakar hujan areal tersebut dibagi dengan jumlah stasiun pegamatan (Sosrodarsono dan Takeda, 1976). Cara ini digunakan apabila :

- Daerah tersebut berada pada daerah yang datar

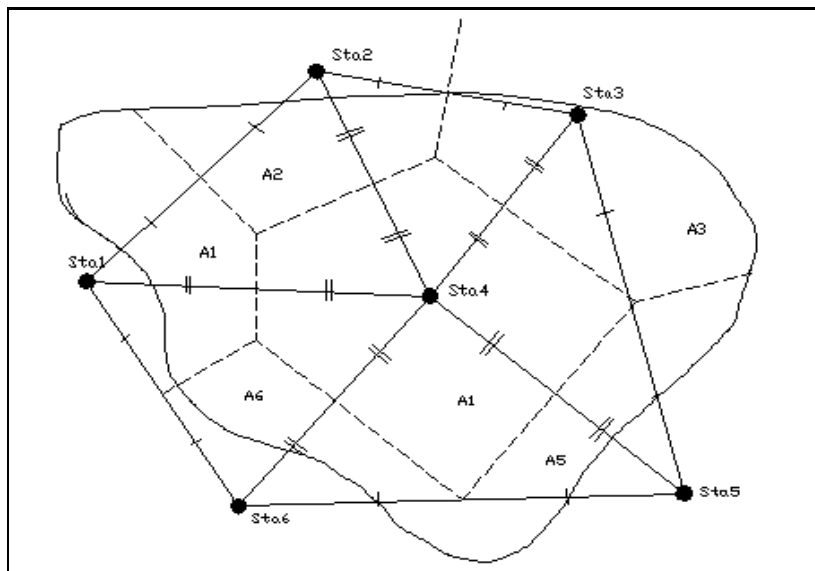
- Penempatan alat ukur tersebar merata
- Variasi curah hujan sedikit dari harga tengahnya

b. Metode Thiessen

Cara ini didasarkan atas cara rata-rata timbang, di mana masing-masing stasiun mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua stasiun dengan planimeter maka dapat dihitung luas daerah tiap stasiun. Sebagai kontrol maka jumlah luas total harus sama dengan luas yang telah diketahui terlebih dahulu. Masing-masing luas lalu diambil prosentasenya dengan jumlah total = 100%. Kemudian harga ini dikalikan dengan curah hujan daerah di stasiun yang bersangkutan dan setelah dijumlah hasilnya merupakan curah hujan yang dicari (Sosrodarsono dan Takeda, 1976).

Hal yang perlu diperhatikan dalam metode ini adalah sebagai berikut :

- Jumlah stasiun pengamatan minimal tiga buah stasiun.
- Penambahan stasiun akan mengubah seluruh jaringan
- Topografi daerah tidak diperhitungkan
- Stasiun hujan tidak tersebar merata



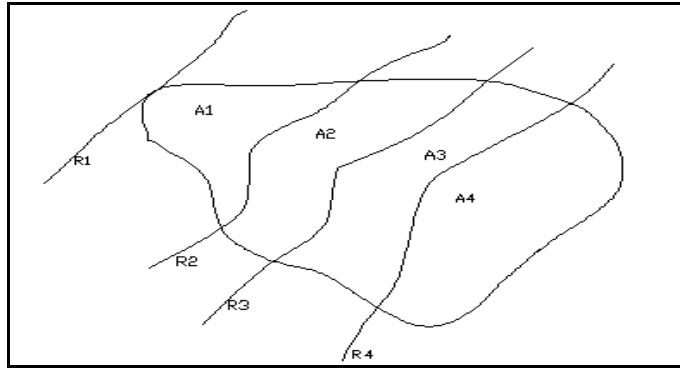
Gambar 2.1 Polygon Thiessen

c. Metode Isohyet

Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata. Pada setiap titik di suatu kawasan dianggap hujan sama dengan yang terjadi pada stasiun terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun mewakili suatu luasan (Sosrodarsono dan Takeda, 1976).

Metode ini digunakan dengan ketentuan :

- Dapat digunakan pada daerah datar maupun pegunungan
- Jumlah stasiun pengamatan harus banyak
- Bermanfaat untuk hujan yang sangat singkat



Gambar 2.2 Metode Isohyet

Dari beberapa metode di atas, kami memilih menggunakan metode Thiessen karena data-data yang kami dapat sesuai dengan ketentuan-ketentuan yang telah dijelaskan di atas.

2.3.5 Analisis Frekuensi

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.

2.3.5.1 Pengukuran Dispersi

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

Adapun cara pengukuran dispersi antara lain :

a. Deviasi Standar (S)

Jumlah aljabar dari penyimpangan harga variate terhadap harga rata-rata selalu akan sama dengan nol, oleh karenanya tidak ada gunanya untuk mencarinya. Harga rata-rata dari penyimpangan, yang dinamakan keragaman (variance) adalah yang terbaik sebagai parameter dispersi. Besarnya keragaman sample dihitung dari keragaman populasi dengan memasukkan koreksi Bessel, yaitu (Soemarto, 1987) :

$\frac{n}{n-1}$ dimana n adalah jumlah pengamatan dalam populasi.

Standard deviasi adalah merupakan akar pangkat dua dari keragaman.

b. Koefisien *Skewness* (CS)

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

Rumus :

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

(Soewarno, 1995)

dimana :

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 :

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

(Soewarno, 1995)

dimana :

CK = koefisien *skewness*

X_i = nilai varian ke i

\bar{X} = nilai rata-rata varian

n = jumlah data

S = deviasi standar

d. Koefisien Variasi

$$CV = \frac{S}{\bar{X}}$$

(Soewarno, 1995)

dimana :

CV = koefisien varian

\bar{X} = nilai rata-rata varian

S = deviasi standar

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

2.3.5.2 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, Pearson dan Gumbel (Soewarno, 1995).

Berikut ini adalah beberapa macam distribusi yang sering digunakan, yaitu:

a. Distribusi Normal

Dalam analisis hidrologi distribusi normal sering digunakan untuk menganalisis frekuensi 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 frekuensi 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 variabel hidrologi dengan nilai varian minimum misalnya analisis frekuensi distribusi dari debit minimum (*low flows*).

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

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

2.3.5.3 Pengujian Kecocokan Sebaran

Pengujian kecocokan sebaran ini digunakan untuk menguji sebaran data apakah memenuhi syarat untuk data perencanaan. Pengujian kecocokan sebaran ini dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu Chi-Kuadrat ataupun dengan Smirnov Kolmogorov .

a. Uji Chi-Kuadrat

Dalam pengujian menggunakan Chi-Kuadrat, harga Chi-Kuadrat yang didapat harus lebih kecil dari harga Chi-Kuadrat kritik. Dalam hal ini, disarankan agar banyaknya kelas tidak kurang dari 5 dan frekuensi absolut tiap kelas tidak kurang dari 5 pula.

Adapun kriteria penilaian hasilnya adalah sebagai berikut (Soewarno, 1995) :

- a. Apabila peluang lebih dari 5 % maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
- b. Apabila peluang lebih kecil dari 1 % maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
- c. Apabila peluang berada diantara 1 % - 5 %, maka tidak mungkin mengambil keputusan, perlu penambahan data.

b. Uji Smirnov-Kolmogorov

Pengujian kecocokan sebaran dengan cara ini dinilai lebih sederhana dibanding dengan pengujian dengan cara Chi-Kuadrat. Dengan membandingkan

kemungkinan (*probability*) untuk setiap variat, dari distribusi empiris dan teoritisnya, akan terdapat perbedaan (Δ) tertentu (Soewarno, 1995).

Apabila harga Δ max yang terbaca pada kertas probabilitas kurang dari Δ kritis untuk suatu derajat nyata dan banyaknya variat tertentu, maka dapat disimpulkan bahwa penyimpangan yang terjadi disebabkan oleh kesalahan-kesalahan yang terjadi secara kebetulan (Soewarno, 1995).

2.3.5.4 Ploting Data Curah Hujan ke Kertas Probabilitas

Ploting data distribusi frekuensi dalam kertas probabilitas bertujuan untuk mencocokkan rangkaian data dengan jenis sebaran yang dipilih, dimana kecocokan dapat dilihat dengan persamaan garis yang membentuk garis lurus. Hasil plotting juga dapat digunakan untuk menaksir nilai tertentu dari data baru yang kita peroleh (Soewarno, 1995).

2.3.6 Analisis Debit Banjir Rencana

Metode yang digunakan untuk menghitung debit banjir rencana sebagai dasar perencanaan konstruksi embung pada umumnya ada 2 yaitu sebagai berikut:

2.3.6.1 Metode Rasional

Metode Rasional hanya digunakan untuk menentukan banjir maksimum bagi saluran-saluran dengan daerah aliran kecil, kira-kira 100-200 acres atau kira-kira 40-80 ha. Metode Rasional ini dapat dinyatakan secara aljabar dengan persamaan sebagai berikut (Subarkah, 1980):

$$Q = 0,278 C \cdot I \cdot A$$

dimana :

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

C = koefisien *run off*

I = intensitas maksimum selama waktu konsentrasi (mm/jam)

A = luas daerah aliran (km^2)

Koefisien pengaliran (C) 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 2.1 Koefisien Pengaliran

| Kondisi Daerah Pengaliran | Koefisien Pengaliran (C) |
|---|--------------------------|
| 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 di daerah pegunungan | 0,75-0,85 |
| Sungai kecil di daratan | 0,45-0,75 |
| Sungai yang besar dengan wilayah pengaliran lebih dari seperduanya terdiri dari daratan | 0,50-0,75 |

Sumber : Loebis (1984)

Metode-metode lainnya yang didasarkan pada metode rasional dalam memperkirakan puncak banjir di sungai adalah sebagai berikut (Kodoatie & Sugianto,2001):

→ Metode Weduwen

Adapun syarat dalam perhitungan debit banjir dengan metode Weduwen adalah sebagai berikut (Loebis, 1984) :

$A =$ luas daerah pengaliran $< 100 \text{ km}^2$

$t = 1/6$ sampai 12 jam

Langkah kerja perhitungan Metode Weduwen (Loebis, 1984) :

- Hitung luas daerah pengaliran, panjang sungai, dan gradien sungai dari peta garis tinggi DAS.
- Buat harga perkiraan untuk debit banjir pertama dan hitung besarnya waktu konsentrasi, debit persatuan luas, koefisien pengaliran dan koefisien pengurangan daerah untuk curah hujan DAS.
- Kemudian dilakukan iterasi perhitungan untuk debit banjir kedua.
- Ulangi perhitungan sampai hasil debit banjir ke-n sama dengan debit banjir ke-n dikurangi 1 ($Q_n = Q_{n-1}$) atau mendekati nilai tersebut.

→ Metode Melchior

Syarat batas dalam perhitungan debit banjir dengan metode Melchior ini adalah sebagai berikut (Loebis, 1984) :

- Luas Daerah Pengaliran sungai $> 100 \text{ km}^2$.
- Hujan dengan durasi $t < 24$ jam

Hasil perhitungan debit maksimum dengan metode Melchior untuk sungai-sungai di Pulau Jawa cukup memuaskan. Akan tetapi untuk daerah-daerah aliran yang luas, hasil-hasil tersebut terlalu kecil (Subarkah, 1980).

→ Metode *Haspers*

Adapun langkah-langkah dalam menghitung debit puncak adalah sebagai berikut (Loebis, 1984) :

- a. Menentukan besarnya curah hujan sehari (R_h rencana) untuk periode ulang rencana yang dipilih
- b. Menentukan koefisien runoff untuk daerah aliran sungai
- c. Menghitung luas daerah pengaliran, panjang sungai dan gradien sungai untuk daerah aliran sungai
- d. Menghitung nilai waktu konsentrasi
- e. Menghitung koefisien reduksi, intensitas hujan, debit persatuan luas dan debit rencana.

2.3.6.2 Program Komputer

HEC-HMS adalah *software* yang dikembangkan oleh *U.S. Army Corps of Engineer*. *Software* ini digunakan untuk analisa hidrologi dengan mensimulasikan proses curah hujan dan limpasan langsung (*run off*) dari sebuah watershed. HEC-HMS didisain untuk bisa diaplikasikan dalam area geografik yang sangat luas untuk menyelesaikan masalah, meliputi suplai air daerah pengaliran sungai, hidrologi banjir dan limpasan air di daerah kota kecil ataupun kawasan watershed alami. Hidrograf satuan yang dihasilkan dapat digunakan langsung ataupun digabungkan dengan *software* lain yang digunakan dalam studi ketersediaan air, drainase perkotaan, ramalan dampak urbanisasi, desain pelimpah, pengurangan kerusakan banjir, regulasi penanganan banjir dan sistem operasi hidrologi (*US Army corps of engineering, 2001*).

HEC-HMS mengangkat teori klasik hidrograf satuan untuk digunakan dalam permodelannya, antara lain hidrograf satuan sintetik Snyder, Clark, SCS, ataupun kita dapat mengembangkan hidrograf satuan lain dengan menggunakan fasilitas *user define hydrograph* (*US Army corps of engineering, 2001*).

Teori klasik unit hidrograf (hidrograf sintetik) berasal dari hubungan antara hujan efektif dengan limpasan. Hubungan tersebut merupakan salah satu komponen model watershed yang umum (Soemarto, 1997).

Penerapan pertama unit hidrograf memerlukan tersedianya data curah hujan yang panjang. Unsur lain adalah tenggang waktu (*time lag*) antara titik berat hujan efektif dengan titik berat hidrograf, atau antara titik berat hujan efektif dengan puncak hidrograf (*basin lag*) (Soemarto, 1997).

Yang termasuk dalam Unit Hidrograf adalah sebagai berikut (Soemarto, 1987):

a. Hidrograf Satuan dengan Pengukuran

Hidrograf satuan dari suatu daerah pengaliran tertentu dapat dicari dari hidrograf sungai yang diakibatkan oleh hujan sembarang yang meliputi daerah penangkapannya dengan intensitas yang cukup merata (Soemarto, 1987).

Jika daerah penangkapannya sangat besar, tidak mungkin hujannya merata. Berhubung luasan yang dapat diliput oleh hujan merata sangat terbatas karena dipengaruhi oleh keadaan meteorologi. Dalam keadaan demikian luas daerah penangkapannya harus dibagi menjadi bagian-bagian luas dari daerah pengaliran anak-anak sungai, dan hidrograf satuannya dicari secara terpisah (Soemarto, 1987).

b. Hidrograf Satuan Sintetik

Untuk membuat hidrograf banjir pada sungai-sungai yang tidak ada atau sedikit sekali dilakukan observasi hidrograf banjirnya, maka perlu dicari karakteristik atau parameter daerah pengaliran tersebut terlebih dahulu, misalnya waktu untuk mencapai puncak hidrograf (*time to peak magnitude*), lebar dasar, luas kemiringan, panjang alur terpanjang (*length of the longest channel*), koefisien limpasan (*run off coefficient*) dan sebagainya. Dalam hal ini biasanya kita gunakan hidrograf-hidrograf sintetik yang telah dikembangkan di negara-negara lain, dimana parameter-parameternya harus disesuaikan terlebih dahulu dengan karakteristik daerah pengaliran yang ditinjau (Soemarto, 1987).

c. Hidrograf Distribusi

Hidrograf distribusi adalah hidrograf satuan yang ordinat-ordinatnya merupakan prosentase terhadap aliran total dengan periode atau durasi tertentu. Karena debit yang tertera pada hidrograf satuan berbanding lurus dengan hujan efektif, maka prosentasenya akan tetap konstan, meskipun hujan efektifnya berubah-

ubah. Ini merupakan alat yang berguna jika hanya diketahui debit totalnya atau debit rata-ratanya saja (Soemarto, 1986).

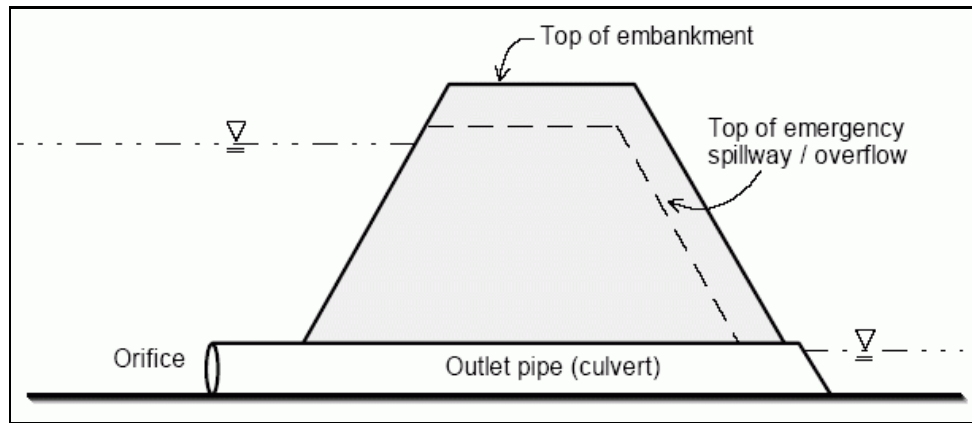
Pada grafik hidrograf satuan yang digabung dengan hidrograf distribusinya, luas di bawah lengkung sama dengan luas di bawah garis bertangga. Sehingga apabila ingin mencari hidrograf satuan dari prosentase distribusi, haruslah digambarkan garis kontinyu lewat tangga-tangga agar didapat luas yang sama (Soemarto, 1986).

Selain menggunakan metode-metode yang telah dijabarkan di atas, puncak banjir dapat diperkirakan dengan metode komputersasi. Untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini, kami menggunakan metode HEC – HMS karena pengoperasiannya menggunakan sistem window, sehingga model ini menjadi lebih sederhana, mudah dipelajari dan mudah untuk digunakan (US Army Corps of Engineers, 2000).

2.4 SALURAN OUTLET

Struktur bangunan Embung atau Waduk menyimpan air sementara dan mengalirkannya, bisa melalui saluran pelimpah atau pipa *outlet*, pipa outlet ini disebut saluran *Outlet*. Konfigurasi cara kerja outlet saluran *Outlet* memberikan dua tujuan, yaitu membatasi aliran air pada saat banjir dan memberikan cara untuk mengosongkan waduk dalam periode waktu tertentu sehingga embung dapat menyimpan banjir yang akan datang.

Saluran *outlet* pada embung bisa terdiri dari satu *culvert* seperti terlihat pada Gambar 2.3. *Outlet* bisa juga terdiri dari beberapa saluran dengan ukuran yang berbeda-beda dan beberapa saluran masuk. Jumlah debit yang keluar melalui saluran *Outlet* tergantung dari karakteristik dimensi saluran dan elevasi muka air banjir di hulu saluran.



Gambar 2.3 Saluran Outlet (HEC-HMS Technical Reference Manual)

Untuk jumlah air yang keluar dari waduk menggunakan saluran *Outlet* dapat dihitung dengan rumus:

$$O = KA\sqrt{2gH} \quad (\text{HEC-HMS Technical Reference Manual})$$

Dimana:

O = debit keluaran

K = koefisien saluran *Outlet*

A = luas penampang saluran

H = jumlah tinggi energi pada saluran keluar

2.4.1 Kehilangan Energi di Saluran Outlet

Untuk dapat mengetahui seberapa besar tinggi energi pada saluran *Outlet* maka perlu dicari besarnya kehilangan energi pada saluran. Kehilangan energi yang terjadi adalah sebagai berikut :

1. Pada mulut saluran (Hf_1)
2. Di dalam saluran (Hf_2)
3. Pada saluran keluar (Hf_3)

Rumus yang digunakan adalah :

$$hf_1 = \frac{1}{2} \frac{v^2}{2g}$$

$$hf_2 = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

$$hf_3 = \frac{1}{2} \frac{v^2}{2g}$$

Dimana :

v = Kecepatan air di dalam saluran (m/s)

L = Panjang saluran

f = Koefisien kekasaran saluran

D = Diameter saluran

2.4.2 Tinggi Air Banjir di Hilir Outlet

Perhitungan dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * I^{1/2} \quad (\text{Kodoatie \& Sugiyanto, 2001})$$

$$A = (b + m.h)h$$

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

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

Perhitungan h dengan coba-coba.

Elevasi muka air di hilir = elevasi dasar hilir + h

2.5 EMBUNG

Embung adalah suatu bangunan yang berfungsi untuk menampung kelebihan air pada saat debit tinggi dan melepaskannya pada saat dibutuhkan.

Faktor yang menentukan didalam pemilihan tipe embung adalah:

- Keadaan klimatologi setempat
- Keadaan hidrologi setempat
- Keadaan geologi setempat
- Tersedianya bahan bangunan
- Keadaan lingkungan setempat

2.5.1 Pemilihan Tipe Embung

Tipe embung dapat dikelompokkan menjadi empat keadaan yaitu :

1. Tipe Embung Berdasar Tujuan Pembangunannya

Ada dua tipe embung dengan tujuan tunggal dan embung serbaguna (Sudiby, 1993).

- (1). Embung dengan tujuan tunggal (*single purpose dams*) adalah embung yang dibangun untuk memenuhi satu tujuan saja, misalnya untuk

kebutuhan air baku atau irigasi (pengairan) atau perikanan darat atau tujuan lainnya tetapi hanya satu tujuan saja.

- (2). Embung serbaguna (*multipurpose dams*) adalah embung yang dibangun untuk memenuhi beberapa tujuan misalnya : irigasi (pengairan), air minum dan PLTA, pariwisata dan irigasi dan lain-lain.

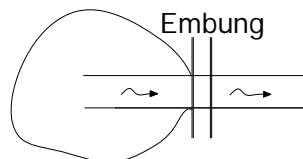
2. Tipe Embung Berdasar Penggunaannya (*Sudibyo, 1993*).

- (1). Embung penampung air (*storage dams*) adalah embung yang digunakan untuk menyimpan air pada masa surplus dan dipergunakan pada masa kekurangan. Termasuk dalam embung penampung air adalah untuk tujuan rekreasi, perikanan, pengendalian banjir dan lain-lain.
- (2). Embung pembelok (*diversion dams*) adalah embung yang digunakan untuk meninggikan muka air, biasanya untuk keperluan mengalirkan air ke dalam sistem aliran menuju ke tempat yang memerlukan.
- (3). Embung penahan (*detention dams*) adalah embung yang digunakan untuk memperlambat dan mengusahakan seoptimal mungkin efek aliran banjir yang mendadak. Air ditampung secara berkala/ sementara, dialirkan melalui pelepasan (*outlet*). Air ditahan selama mungkin dan dibiarkan meresap ke daerah sekitarnya.

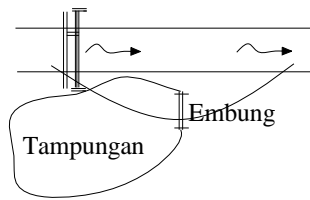
3. Tipe Embung Berdasar Letaknya Terhadap Aliran Air

Ada dua tipe yaitu embung yaitu embung pada aliran (*on stream*) dan embung di luar aliran air (*off stream*) (*Sudibyo, 1993*).

- (1). Embung pada aliran air (*on stream*) adalah embung yang dibangun untuk menampung air misalnya pada bangunan pelimpah (*spillway*).



- (2). Embung di luar aliran air (*off stream*) adalah embung yang umumnya tidak dilengkapi *spillway*, karena biasanya air dibendung terlebih dahulu di *on stream*-nya baru disuplesi ke tampungan. Kedua tipe ini biasanya dibangun berbatasan dan dibuat dari beton, pasangan batu atau pasangan bata.



4. Material Pembentuk Embung

Embung urugan (*fill dams, embankment dams*) adalah embung yang dibangun dari hasil penggalian bahan (*material*) tanpa tambahan bahan lain yang bersifat campuran secara kimia, jadi betul-betul bahan pembentuk embung asli. Embung ini masih dapat dibagi menjadi dua yaitu embung urugan serba sama (*homogeneous dams*) adalah embung apabila bahan membentuk tubuh embung tersebut terdiri dari tanah yang hampir sejenis dan gradasinya (susunan ukuran butirannya) hampir seragam. Yang kedua adalah embung zonal yaitu embung apabila timbunan yang membentuk tubuh embung terdiri dari batuan dengan gradasi (susunan ukuran butiran) yang berbeda-beda dalam urutan-urutan pelapisan tertentu.

Dengan pertimbangan hal-hal di atas maka tipe embung yang paling sesuai untuk diterapkan dalam menangani permasalahan di Kali Bringin adalah Embung Tipe Penahan (*detention dams*).

2.5.2 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 embung, harus memperhatikan beberapa faktor yaitu :

- Dekat dengan daerah layanan.
- Dekat dengan jalan.
- Pada sungai yang curam dan alur yang sempit.

2.5.3 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 tiga persyaratan penting yaitu :

1. Mempunyai daya dukung yang mampu menahan bahan 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 tiga jenis yaitu :

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

Daya dukung (*bearing capacity*) tanah adalah kemampuan tanah untuk mendukung beban baik dari segi struktur pondasi maupun bangunan di atasnya tanpa terjadi 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 (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 (*Pondasi Dangkal dan Pondasi Dalam, Rekayasa Pondasi II, 1997*) :

$$qa = \frac{q_{ult}}{FK}$$

Perhitungan daya dukung batas untuk pondasi dangkal pada kondisi umum :

1. Pondasi menerus

$$q_{ult} = c * N_c + \gamma * D_f * N_q + 0,5 B \gamma * N_\gamma$$

2. Pondasi persegi

$$q_{ult} = 1,3 * c * N_c + \gamma * D_f * N_q + 0,4 B \gamma * N_\gamma$$

dimana :

q_a = kapasitas daya dukung ijin

q_{ult} = kapasitas daya dukung maximum

FK = faktor keamanan (*safety factor*)

N_c, N_q, N_γ = faktor kapasitas daya dukung Terzaghi

c = kohesi tanah

γ = berat isi tanah

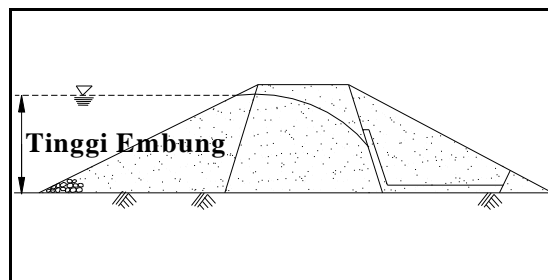
B = dimensi untuk pondasi menerus dan persegi (m)

2.5.4 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 20 m (*Loebis, 1984*).



Gambar 2.4 Tinggi Embung

Apabila didasarkan pada tinggi embung yang direncanakan, maka standar tinggi jagaan embung urugan adalah sebagai berikut (*Soedibyo, 1993*) :

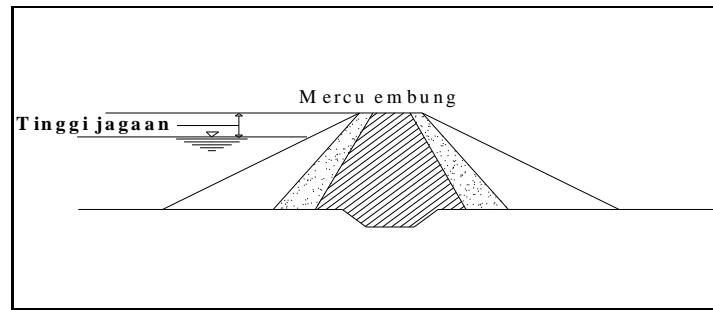
Tabel 2.2 Tinggi Jagaan

| | |
|-------------------------------|------------------|
| 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 |

Sumber : Soedibyo, 1993

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.



Gambar 2.5 Tinggi Jagaan Pada Mercu Embung

Tinggi jagaan dimaksudkan untuk menghindari terjadinya peristiwa pelimpasan air melewati puncak bendungan sebagai akibat diantaranya dari

- Debit banjir yang masuk waduk.
- Gelombang akibat angin.
- Pengaruh pelongsoran tebing-tebing di sekeliling embung.
- Gempa.
- Penurunan tubuh bendungan.
- Kesalahan di dalam pengoperasian pintu.

Tinggi jagaan adalah jarak vertikal antara puncak bendungan dengan permukaan air reservoir. *Tinggi jagaan normal* diperoleh sebagai perbedaan antara elevasi puncak bendungan dengan elevasi tinggi muka air normal di embung.

Tinggi jagaan minimum diperoleh sebagai perbedaan antara elevasi puncak bendungan dengan elevasi tinggi muka air maksimum di reservoir yang disebabkan oleh debit banjir rencana saat pelimpah bekerja normal.

Tinggi tambahan adalah sebagai perbedaan antara tinggi jagaan normal dengan tinggi jagaan minimum.

Tinggi jagaan diperoleh dari persamaan sebagai berikut ini.

Kriteria I :

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

Kriteria II :

$$H_f \geq h_w + \frac{h_e}{2} + h_a + h_i$$

Dimana :

H_f = tinggi jagaan (m)

h_w = tinggi ombak akibat tiupan angin (m)

h_e = tinggi ombak akibat gempa (m)

h_a = perkiraan tambahan tinggi akibat penurunan tubuh bendungan (m)

h_i = tinggi tambahan (m)

Tambahan tinggi akibat gelombang (H_w) dihitung berdasarkan pada kecepatan angin, jarak seret gelombang (*fetch*) dan sudut lereng hulu dari bendungan.

3. Lebar Puncak

Lebar puncak dari embung tipe urugan ditentukan berdasarkan pertimbangan sebagai berikut ini.

- Bahan timbunan asli (alam) dan jarak minimum garis rembesan melalui timbunan pada elevasi muka air normal.
- Pengaruh tekanan gelombang di bagian permukaan lereng hulu.
- Tinggi dan tingkat kepentingan dari konstruksi bendungan.
- Kemungkinan puncak bendungan untuk jalan penghubung.
- Pertimbangan praktis dalam pelaksanaan konstruksi.

Formula yang digunakan untuk menentukan lebar puncak pada bendungan urugan sebagai berikut (*USBR, 1987, p.253*) :

$$w = \frac{z}{5} + 10$$

dengan:

w : lebar puncak bendungan (feet),

z : tinggi bendungan di atas dasar sungai (feet).

Atau dengan menggunakan persamaan (*Suyono S., 1977, p. 174*) :

$$b = 3,6H^{\frac{1}{3}} - 3,0$$

dengan:

b : lebar puncak (meter),

H : tinggi bendungan (meter).

Untuk bendungan-bendungan kecil (Embung), yang di atasnya akan dimanfaatkan untuk jalan raya, lebar minimumnya adalah 4 meter, sementara untuk jalan biasa cukup 2,5 meter. Lebar bendungan kecil dapat digunakan pedoman sebagai berikut :

Tabel 2.3 Lebar Puncak Bendungan Kecil (Embung) yang Dianjurkan.

| Tinggi Embung, m | Lebar Puncak, m |
|------------------|-----------------|
| 2,0 - 4,5 | 2,50 |
| 4,5 - 6,0 | 2,75 |
| 6,0 - 7,5 | 3,00 |
| 7,5 - 9,0 | 4,00 |

Sumber : Suyono Sosrodarsono, 1977

4. Perhitungan Hubungan Elevasi terhadap Volume Waduk

Seluruh jumlah volume konstruksi yang dibuat dalam rangka pembangunan tubuh embung termasuk semua bangunan pelengkapanya dianggap sebagai volume embung. Analisis keandalan embung sebagai sumber air menyangkut volume air yang tersedia, debit pengeluaran untuk kebutuhan air untuk air baku (PDAM), pengendalian banjir, dan debit air untuk keperluan lain-lain selama waktu yang diperlukan. Analisis keandalan embung diperlukan perhitungan-perhitungan diantaranya adalah perhitungan kapasitas embung yaitu volume tampungan air maksimum dihitung berdasarkan elevasi muka air maksimum, kedalaman air dan luas genangannya. Perkiraan kedalaman air dan luas genangan memerlukan adanya data elevasi dasar embung yang berupa peta topografi dasar embung. Penggambaran peta topografi dasar embung didasarkan pada hasil pengukuran topografi.

Perhitungan ini didasarkan pada data peta topografi dengan skala 1:1000 dan beda tinggi kontur 1m. Cari luas permukaan waduk yang dibatasi garis kontur, kemudian dicari volume yang dibatasi oleh 2 garis kontur yang berurutan dengan menggunakan rumus pendekatan volume sebagai berikut (*Bangunan Utama KP-02,1986*) :

$$V_x = \frac{1}{3} * Z * (F_y + F_x + \sqrt{F_y * F_x})$$

dimana :

V_x = Volume pada kontur X

Z = Beda tinggi antar kontur

F_y = Luas pada kontur Y

F_x = Luas pada kontur X

5. 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.

6. Flood Routing

Dengan menggunakan cara penelusuran banjir, besarnya hidrograf disetiap titik di sungai dapat dihitung berdasarkan dari titik (disebelah hulunya) yang diketahui. Pada bagian hulu, debit hidgrograf disebut dengan *Inflow* (I) sedang di hilir atau dititik yang ditinjau debit hidrograf disebut dengan *Outflow* (O).

Dalam masalah routing ini, rumus dasar yang dipakai adalah sebagai berikut (Suyono Sosrodarsono, 1993) :

$$I - O = \frac{dS}{dt}$$

dimana :

| | | |
|------------|---|--------------------------|
| I | = | inflow |
| O | = | outflow |
| S | = | timbunan disetiap pangsa |
| Δt | = | waktu |

Rumus tersebut dapat dimodifikasi menjadi :

$$\frac{I_1 - I_2}{2} \Delta t - \frac{O_1 - O_2}{2} \Delta t = S_2 - S_1$$

dimana :

$\Delta t = t_2 - t_1$ (yang disebut interval routing)

7. 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. Berlawan dan drainase prisma biasanya dimasukkan dalam perhitungan penentuan kemiringan lereng, akan tetapi alas kedap air biasanya diabaikan.

Kestabilan urugan harus diperhitungkan terhadap frekuensi naik turun muka air, rembesan, dan harus tahan terhadap gempa.

Tabel 2.4 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 | | | |
| 1. Urugan batu dengan inti lempung atau dinding diafragma | Pecahan batu | 1 : 1,50 | 1 : 1,25 |
| 2. Kerikil-kerakal dengan inti lempung atau dinding diafragma | Kerikil-kerakal | 1 : 2,50 | 1 : 1,75 |

Sumber : Suyono Sosrodarsono, 1977

8. Penimbunan Ekstra (*Extra Banking*)

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.

2.5.5 Stabilitas Lereng 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 (*rapid draw-down*).

Salah satu tinjauan keamanan embung adalah menentukan apakah embung dalam kondisi stabil, sehingga beberapa faktor yang harus ditentukan adalah sebagai berikut.

- Kondisi beban yang dialami oleh embung.
- Karakteristik bahan / material tubuh embung termasuk tegangan dan *density*.
- Besar dan variasi tegangan air pori pada tubuh embung dan di dasar embung.
- Angka aman minimum (SF) yang diperbolehkan untuk setiap kondisi beban yang digunakan.

Kemiringan timbunan embung pada dasarnya tergantung pada stabilitas bahan timbunan. Semakin besar stabilitas bahannya, maka kemiringan timbunan dapat makin terjal. Bahan yang kurang stabil memerlukan kemiringan yang lebih landai. Sebagai acuan dapat disebutkan bahwa kemiringan lereng depan (*upstream*) berkisar antara 1: 2,5 sampai 1 : 3,5 , sedangkan bagian belakang (*downstream*) antara 1: 2 sampai 1: 3.

Kemiringan lereng yang efisien untuk bagian hulu maupun bagian hilir masing-masing dapat ditentukan dengan rumus berikut (*Sumber : Suyono Sosrodarsono, 1977*) :

$$S_f = \left[\frac{m - k \cdot \gamma''}{m + k \cdot m \cdot \gamma''} \right] \tan \phi$$

$$S_f = \left[\frac{n - k}{n + k \cdot n} \right] \tan \phi$$

dimana:

S_f = faktor keamanan (dapat diambil 1,1)

m dan n masing-masing kemiringan lereng hulu dan hilir.

k = koefien gempa dan $\gamma'' = \gamma_{\text{sat}}/\gamma_{\text{sub}}$.

Angka aman stabilitas lereng embung di bagian lereng hulu dan hilir dengan variasi beban yang digunakan, diperhitungkan berdasarkan pada analisis keseimbangan batas (*limit equilibrium analysis*). Geometri lereng tubuh embung disesuaikan dengan hasil analisis tersebut, sehingga diperoleh angka aman (SF) yang sama atau lebih besar dari angka aman minimum yang persyaratkan.

Kemiringan lereng baik di sisi hilir maupun di sisi hulu embung harus cukup stabil baik pada saat konstruksi, pengoperasian yaitu pada saat waduk kosong, waduk penuh, saat waduk mengalami rapid draw down, dan ditinjau saat ada pengaruh gempa. Sehingga, kondisi beban harus diperhitungkan berdasarkan rencana konstruksi, pengoperasian reservoir, menjaga elevasi muka air normal di dalam reservoir dan kondisi *emergency*, *flood storage* dan rencana melepas air dalam reservoir, antisipasi pengaruh tekanan air pori dalam tubuh bendungan dan tanah dasar fondasi. Tinjauan stabilitas bendungan dilakukan dalam berbagai kondisi sebagai berikut :

- *Steady-state seepage*

Stabilitas lereng di bagian hulu di analisis pada kondisi muka air di reservoir yang menimbulkan terjadinya aliran rembesan melalui tubuh embung. Elevasi muka air pada kondisi ini, umumnya dinyatakan sebagai elevasi muka air normal (*Normal High Water Level*).

- *Operation*

Pada kondisi ini, muka air dalam reservoir maksimum (penuh - lebih tinggi dari elevasi muka air normal). Stabilitas lereng di sebelah hulu dianalisis dengan kondisi muka air tertinggi dimana dalam masa operasi muka air mengalami turun dengan tiba-tiba (*sudden draw down*) dari elevasi dari muka air maksimum (tertinggi) menjadi muka air terendah (LWL).

Angka aman yang digunakan untuk tinjauan stabilitas lereng embung dengan berbagai kondisi beban dan tegangan geser yang digunakan seperti dalam Tabel 2.5 Secara umum, kemiringan minimum untuk lereng hilir dan lereng hulu juga dicantumkan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.5 Angka Aman Minimum Dalam Tinjauan Stabilitas Lereng Sebagai Fungsi dari Tegangan Geser. (*)

| Kriteria | Kondisi Tinjauan | Lereng | Tegangan geser | Koef. Gempa | SF min. |
|----------|-----------------------------|--------|----------------|-------------|---------|
| I | <i>Rapid drawdown</i> | Hulu | CU | 0% | 1,50 |
| | | Hulu | CU | 100% | 1,20 |
| II | Muka air penuh (banjir) | Hulu | CU | 0% | 1,50 |
| | | Hulu | CU | 100% | 1,20 |
| III | <i>Steady State Seepage</i> | Hilir | CU | 0% | 1,50 |
| | | Hilir | CU | 100% | 1,20 |

Catatan : CU : Consolidated Undrained Test

(*) : *Engineering and Design Stability of Earth and Rock-fill Dams, EM 1110-2-1902, 1970, p. 25.*

Tabel 2.6 Angka Aman Minimum Untuk Analisis Stabilitas Lereng.

| Keadaan Rancangan/ Tinjauan | Angka Aman Minimum | |
|--|--------------------|-------------------|
| | Lereng hilir (D/S) | Lereng Hulu (U/S) |
| 1. Saat Konstruksi dan akhir konstruksi | 1,25 | 1,25 |
| 2. Saat pengoperasian Waduk dan saat waduk Penuh | 1,50 | 1,50 |
| 3. Rapid Draw Down | - | 1,20 |
| 4. Saat Gempa | 1,10 | 1,10 |

Sumber : Suyono Sosrodarsono, 1977

Secara prinsip, analisa kestabilan lereng didasarkan pada keseimbangan antara masa tanah aktif (*potential runtuh*) dengan gaya-gaya penahan runtuh di bidang runtuh. Perbandingan gaya-gaya di atas menghasilkan faktor aman, S_f yang didefinisikan sebagai berikut:

$$S_f = \frac{\sum \eta}{\sum \tau}$$

dimana :

η = gaya-gaya penahan,

τ = gaya-gaya aktif penyebab runtuh

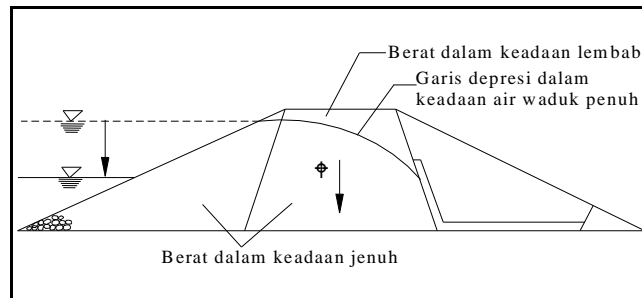
Analisis ini dilakukan pada segala kemungkinan bidang permukaan runtuh dan pada berbagai keadaan waduk di atas. Nilai angka aman hasil perhitungan (S_f hitungan) tersebut di atas harus lebih besar dari nilai angka aman minimum (S_f minimum) seperti tertera pada Tabel 2.5 dan 2.6.

Gaya-gaya yang bekerja pada embung urugan :

1. Berat Tubuh Embung Sendiri

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

- Pada kondisi lembab segera setelah tubuh pondasi selesai dibangun.
- Pada kondisi sesudah permukaan waduk mencapai elevasi penuh, dimana bagian embung yang terletak disebelah atas garis depresi dalam keadaan jenuh.
- Pada kondisi dimana 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.



Gambar 2.6 Berat bahan yang terletak dibawah garis depresi

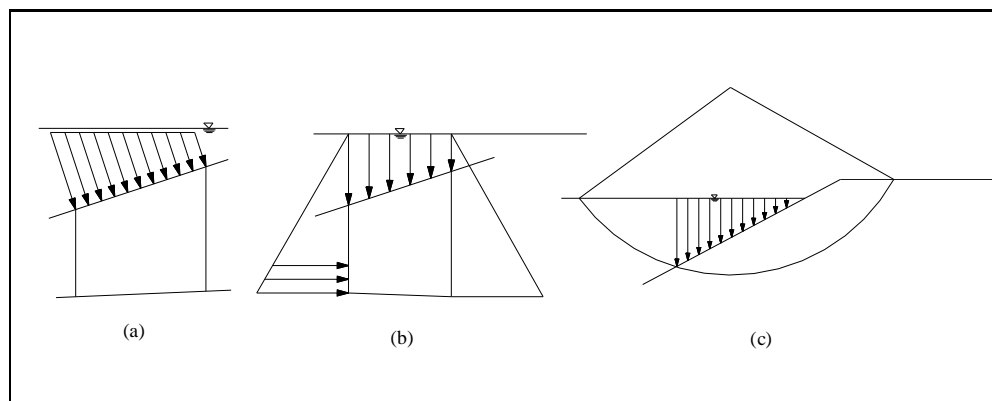
Gaya-gaya atau beban-beban utama yang bekerja pada embung urugan yang akan mempengaruhi stabilitas tubuh embung dan pondasi dari embung tersebut adalah:

- Berat tubuh embung itu sendiri yang membebani lapisan-lapisan yang lebih bawah dari tubuh embung dan membebani pondasi.
- Tekanan hidrostatik yang akan membebani tubuh embung dan pondasinya, baik dari air yang terdapat didalam waduk di hulu embung maupun dari air didalam sungai di hilirnya.
- Tekanan air pori yang terkandung diantara butiran dari zone-zone tubuh embung.
- Gaya seismic yang menimbulkan beban-beban dinamika baik yang bekerja pada tubuh embung maupun pondasinya.

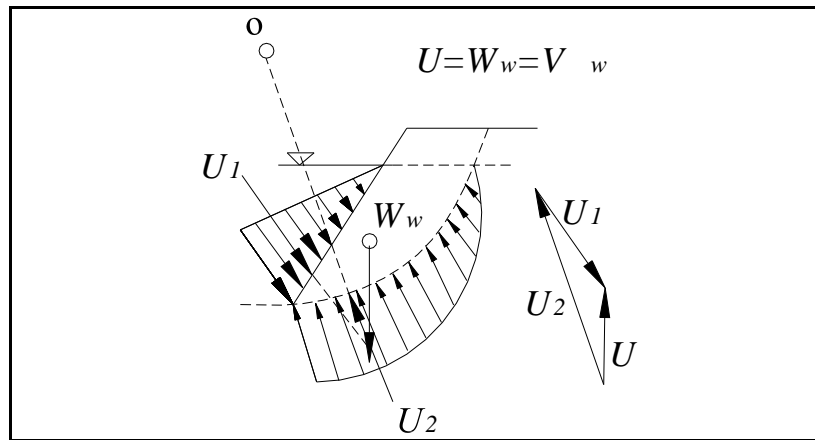
2. Tekanan Hidrostatik

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 diikut 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.



Gambar 2.7 Gaya tekanan hidrostatik pada bidang luncur



Gambar 2.8 Skema pembebanan yang disebabkan oleh tekanan hidrostatik yang bekerja pada bidang luncur

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 :

- Gaya-gaya yang timbul dari tekanan air pori dalam kondisi tubuh embung baru dibangun
- Gaya-gaya yang timbul dari tekanan air pori dalam kondisi waduk telah terisi penuh dan permukaan air sedang menurun secara berangsur-angsur.
- 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 :

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

Komponen horizontal beban seismis dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut (*Suyono Sosrodarsono, 1977*) :

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

| | | |
|----------|---|---|
| Dimana | : | |
| M | = | massa tubuh embung (ton) |
| α | = | percepatan horizontal (m/s^2) |
| e | = | intensitas seismis horizontal (0,10-0,25) |
| g | = | percepatan gravitasi bumi (m/s^2) |

Tabel 2.7 Percepatan gempa horizontal

| 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 |

(ket : 1 gal = 1cm/det²)

Sumber: Suyono Sosrodarsono, 1977

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

Metode analisis stabilitas lereng untuk embung tipe tanah urugan (*earth fill type dam*) dan timbunan batu (*rock fill type dam*) didasarkan pada bidang longsor bentuk lingkaran. Faktor keamanan dari kemungkinan terjadinya longsor dapat diperoleh dengan menggunakan rumus keseimbangan sebagai berikut :

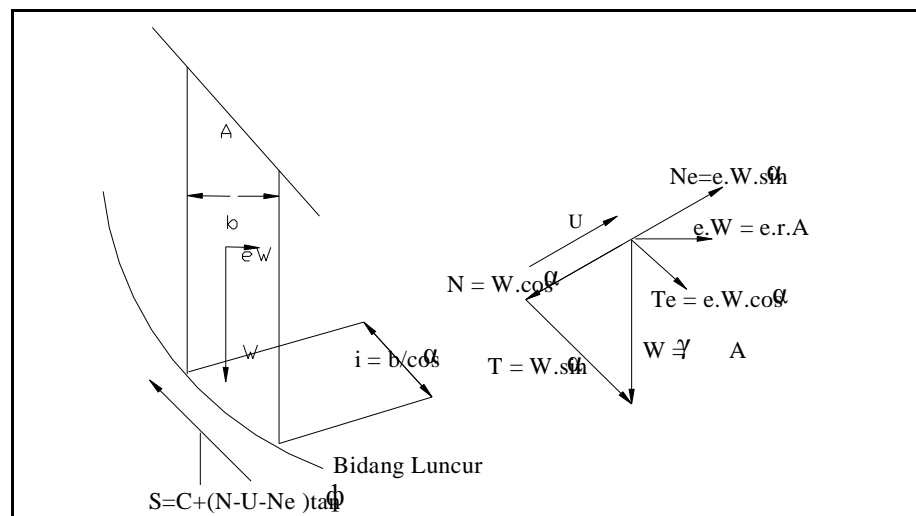
$$F_s = \frac{\sum \{C.l + (N - U - Ne) \tan \phi\}}{\sum (T + Te)}$$

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

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 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 ($= e \cdot \gamma \cdot A \cdot \sin \alpha$)
- T_e = komponen tangensial beban seismic yang bekerja pada setiap irisan bidang luncur ($= e \cdot \gamma \cdot A \cdot \cos \alpha$)
- \emptyset = sudut gesekan dalam bahan yang membentuk dasar setiap irisan bidang luncur
- Z = lebar setiap irisan bidang luncur (m)
- E = intensitas seismic horisontal
- γ = berat isi dari setiap bahan pembentuk irisan bidang luncur
- α = sudut kemiringan rata-rata dasar setiap irisan bidang luncur
- V = tekanan air pori



Gambar 2.9 Cara menentukan harga-harga N dan T (Suyono Sosrodarsono, 1977)

Prosedur perhitungan metode irisan bidang luncur bundar :

1. Andaikan bidang luncur bundar dibagi menjadi beberapa irisan vertikal dan walaupun bukan merupakan persyaratan yang mutlak, biasanya setiap irisan lebarnya dibuat sama. Disarankan agar irisan bidang luncur 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 $W = A \cdot \gamma$

4. Beban berat komponen vertikal yang 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 $N = W \cdot \cos \alpha$
5. Beban dari tekanan hidrostatis 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 $U = U \cdot b/\cos \alpha$
6. Berat beban 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 koehesi bahan (c') dengan panjang dasar irisan (b) dibagi lagi dengan $\cos \alpha$, jadi $C = c' \cdot b/\cos \alpha$
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 lurus, 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 lurus tersebut adalah perbandingan antara jumlah gaya pendorong dan jumlah gaya penahan yang dirumuskan :

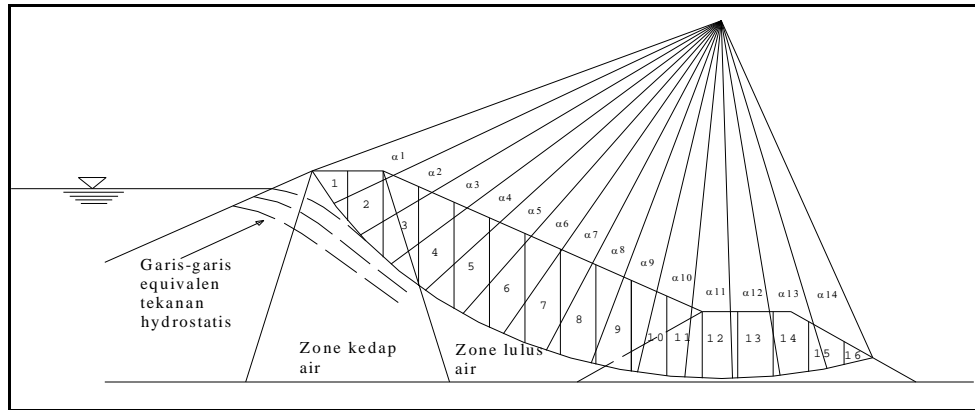
$$F_s = \frac{\sum S}{\sum T}$$

di mana :

F_s = faktor aman

$\sum S$ = jumlah gaya pendorong

$\sum T$ = jumlah gaya penahan



Gambar 2.10 Skema perhitungan bidang luncur dalam kondisi waduk penuh air (Suyono Sosrodarsono, 1977)

6. Stabilitas Embung Terhadap Aliran Filtrasi

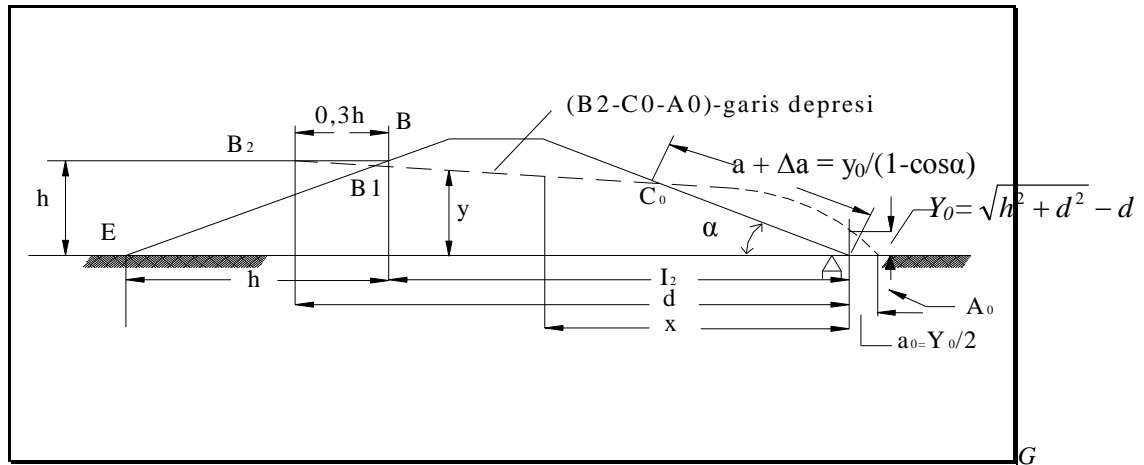
Baik embung maupun pondasinya diharuskan mampu menahan gaya-gaya yang ditimbulkan oleh adanya air filtrasi yang mengalir melalui celah-celah antara butiran-butiran tanah pembentuk tubuh embung dan pondasi tersebut.

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 pada Gambar 2.11 dibawah ini.

A_1 = titik perpotongan antara parabola bentuk besar garis depresi dengan garis vertikal melalui titik B

B_2 = titik yang terletak sejauh $0,3 l_1$ horisontal ke arah hulu dari titik B

Akan tetapi garis parabola bentuk dasar (B_2-Co-A_0) diperoleh dari persamaan tersebut, bukanlah garis depresi sesungguhnya, masih diperlukan penyesuaian menjadi garis B-C-A yang merupakan bentuk garis depresi yang sesungguhnya seperti tertera pada Gambar 2.11 sebagai berikut (Suyono Sosrodarsono, 1977) :



Gambar 2.11 Garis depresi pada embung homogen (sesuai dengan garis parabola)

Pada titik permulaan, garis depresi berpotongan tegak lurus dengan lereng hulu embung, dan dengan demikian titik C₀ dipindahkan ke titik C sepanjang Δa.

Panjang Δa tergantung dari kemiringan lereng hilir embung, dimana air filtrasi tersembul keluar yang dapat dihitung dengan rumus berikut (Suyono Sosrodarsono, 1977) :

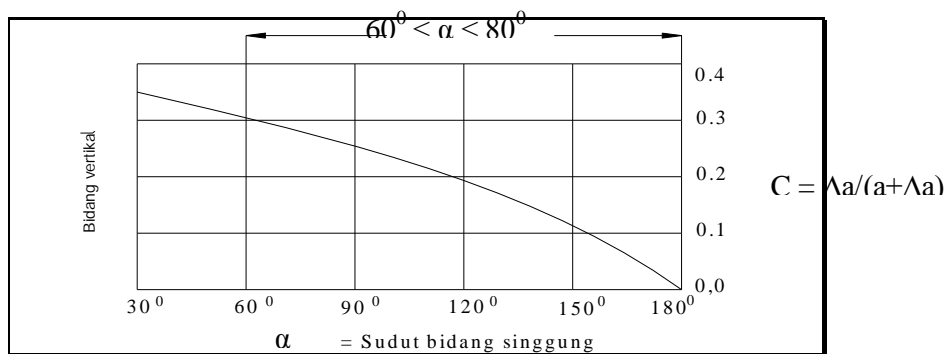
$$a + \Delta a = \frac{\gamma_0}{1 - \cos \alpha}$$

di mana : a = jarak \overline{AC} (m)

Δa = jarak $\overline{C_0C}$ (m)

α = sudut kemiringan lereng hilir embung

Untuk memperoleh nilai a dan Δa dapat dicari berdasarkan nilai α dengan menggunakan grafik sebagai berikut (Suyono Sosrodarsono, 1977) :



Gambar 2.12 Grafik hubungan antara sudut bidang singgung (α) dengan $\frac{\Delta a}{a + \Delta a}$

7. Gejala Sufosi (*piping*) dan Sembulan (*boiling*)

Agar gaya-gaya hidrodinamis yang timbul pada aliran filtrasi tidak akan menyebabkan gejala sufosi dan sembulan yang sangat membahayakan baik tubuh embung maupun pondasinya, maka kecepatan aliran filtrasi dalam tubuh dan pondasi embung tersebut pada tingkat-tingkat tertentu perlu dibatasi. 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, 1977*):

$$C = \sqrt{\frac{w_1 \cdot g}{F \cdot \gamma}}$$

di mana :

C = kecepatan kritis (m/s)

w_1 = berat butiran bahan dalam air (kg)

g = gravitasi (m/s^2)

F = luas permukaan yang menampung aliran filtrasi (m^2)

γ = berat isi air

2.5.6 Bangunan Pelimpah (*Spillway*)

Sebagai bangunan besar, waduk harus dilengkapi dengan bangunan pengaman yang salah satunya berupa spillway. Spillway berfungsi untuk melimpahkan air waduk apabila air waduk melebihi dari kapasitas waduk, sehingga waduk tidak akan bahaya. Untuk spillway harus dirancang dapat mengalirkan air secara cepat dengan kapasitas besar tapi dengan struktur yang seminimal mungkin.

Ada berbagai macam jenis Spillway, baik yang berpintu maupun yang bebas, *side channel spillway*, *chute Spillway* dan *Syphon Spillway*. Jenis-jenis ini dirancang dalam upaya untuk mendapatkan jenis Spillway yang mampu mengalirkan air sebanyak-banyaknya. Pemilihan jenis spillway ini disamping terletak pada pertimbangan hidrolika, juga pertimbangan ekonomis serta operasional dan pemeliharaannya.

Pada prinsipnya bangunan spillway terdiri dari 3 bagian, yaitu pelimpah, baik dengan pintu maupun bebas; saluran atau pipa pembawa; dan bangunan peredam energi.

1) Bangunan Pelimpah

Bangunan pelimpah harus dapat mengalirkan debit banjir rencana dengan aman. Rumus umum yang dipakai untuk menghitung kapasitas bangunan pelimpah adalah (*Bangunan Utama KP-02,1986*) :

$$Q = \frac{2}{3} x C d x B x \sqrt{2/3 x g x h^{3/2}}$$

dimana :

Q = debit aliran (m^3/s)

Cd = koefisien limpahan

B = lebar efektif ambang (m)

h = tinggi energi di atas ambang (m)

g = percepatan grafitasi (m/s)

Lebar efektif ambang dapat dihitung dengan rumus (*Suyono Sosrodarsono, 1977*) :

$$L_e = L - 2(N \cdot K_p + K_a) \cdot H$$

dimana :

L_e = lebar efektif ambang (m)

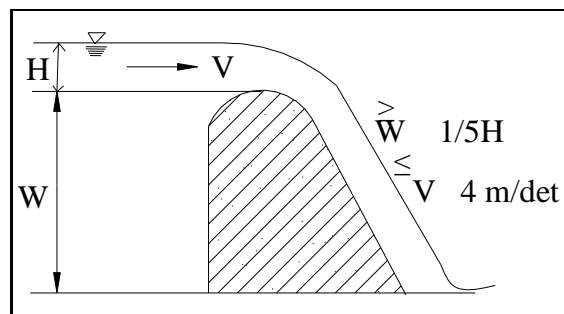
L = lebar ambang sebenarnya (m)

N = jumlah pilar

K_p = koefisien kontraksi pilar

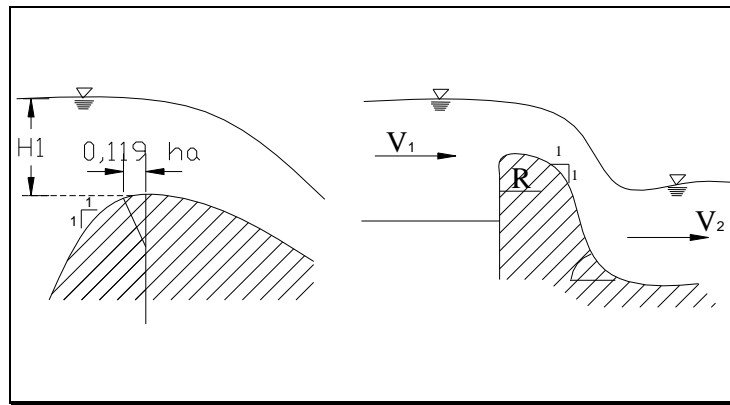
K_a = koefisien kontraksi pada dinding samping ambang

H = tinggi energi di atas ambang (m)



Gambar 2.13 Saluran pengarah aliran dan ambang pengatur debit pada sebuah pelimpah

Bentuk-bentuk mercu :



Gambar 2.14 Bentuk mercu Bulat dan Ogee

2) Saluran/Pipa Pembawa/Peluncur

Saluran/pipa pembawa merupakan bangunan transisi antara ambang dan bangunan peredam. Biasanya bagian ini mempunyai keringan yang terjal dan alirannya adalah super kritis. Hal yang perlu diperhatikan pada perencanaan bagian ini adalah terjadinya kavitasi.

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

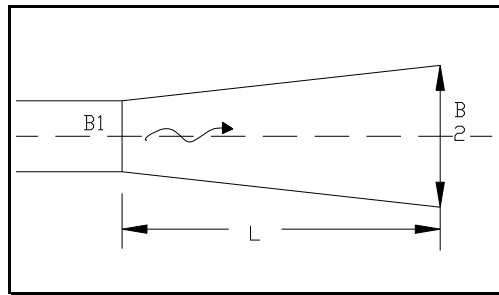
Guna memenuhi persyaratan tersebut maka diusahakan agar tampak atasnya selurus mungkin. Jika bentuk yang melengkung tidak dapat dihindarkan, maka diusahakan lengkungan terbatas dan dengan radius yang besar. Biasanya aliran tak seragam terjadi pada saluran peluncur yang tampak atasnya melengkung, terutama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

3) Berbentuk Terompet Pada Ujung Hilir Bagian Yang 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 peredam 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 diatas, 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 2.15 Bagian berbentuk terompet dari saluran peluncur pada bangunan

2.5.7 Kolam Olak

Kolam olak adalah suatu bangunan yang berfungsi untuk meredam energi yang timbul di dalam type air superkritis yang melewati pelimpah.

Faktor pemilihan type kolam olak (Joetata dkk, 1997) :

- Gambar karakteristik hidrolis pada peredam energi yang direncanakan.
- Hubungan lokasi antara peredam energi dengan tubuh embung.
- Karakteristik hidrolis dan karakteristik konstruksi dari bangunan pelimpah.
- Kondisi-kondisi topografi, geologi dan hidrolis di daerah tempat kedudukan calon peredam energi.
- Situasi serta tingkat perkembangan dari sungai di sebelah hilirnya.

Beberapa jenis kolam olak adalah sebagai berikut (Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, 1986) :

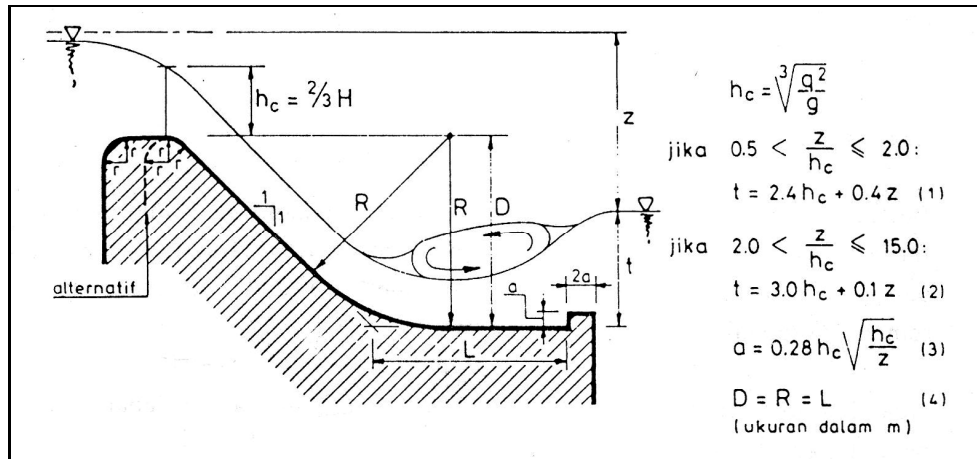
2.5.7.1 Jenis Vlughter

Bentuk hidrolisnya merupakan pertemuan suatu penampang lurus yang merupakan suatu pematian energi yang diakibatkan oleh jatuhan langsung karena aliran air.

Menurut Vlugter bentuk dan hidrolis ruang olak dipengaruhi oleh :

1. Tinggi muka air udik di atas mercu = H
2. Perbedaan muka air udik dan di hilir = Z

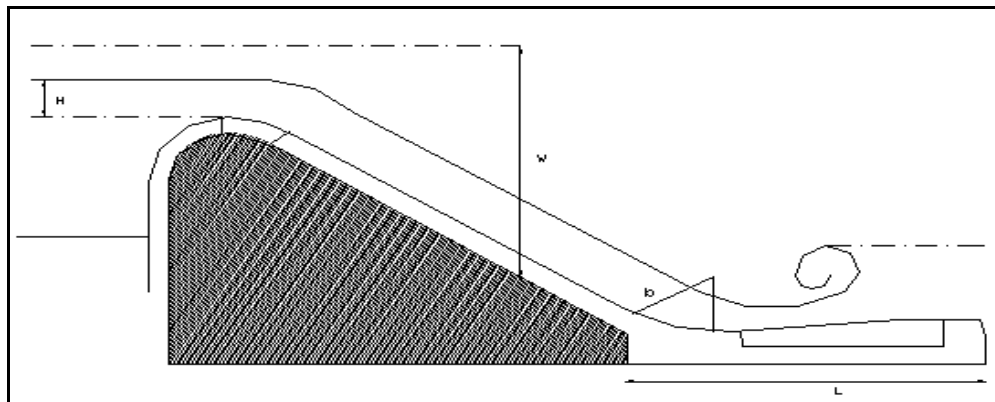
Kolam olak jenis ini digunakan pada tanah dasar aluvial dengan sungai yang tidak banyak membawa batu-batu besar. Dalamnya lantai ruang olakan dari puncak mercu tidak lebih dalam dari 8 meter atau perbedaan muka air di udik dan hilir tidak lebih dari 4,5 meter.



Gambar 2.16 Kolam Olak menurut Vlugter (KP-02 halaman 65)

2.5.7.2 Jenis Shocklitsch

Bentuk hidrolis kolam olak jenis ini sama dengan tipe Vlugter, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.17 di bawah ini :



Gambar 2.17 Kolam Olak Jenis Shocklitsch

Berdasarkan eksperimen bentuk hidrolis kolam olak dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut :

1. Tinggi muka air udik di atas mercu

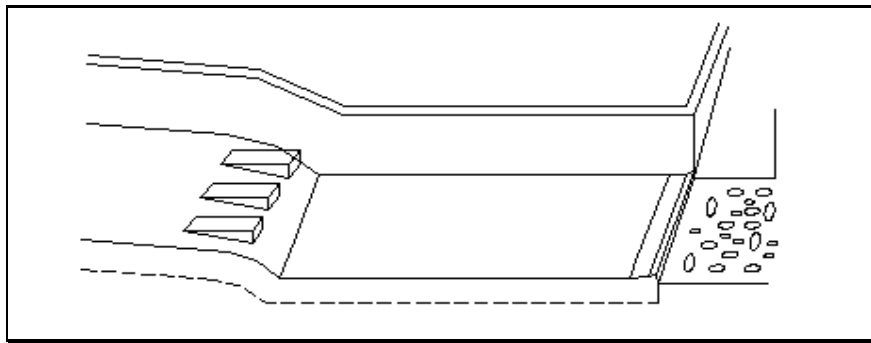
- Perbedaan tinggi antara garis tinggi (energi) air udik mercu dengan muka air di hilir mercu.

Kolam olak tipe ini memiliki sifat yang sama dengan tipe Vlughter dan dipakai apabila harga R atau D pada tipe Vlughter terlalu besar sehingga pengalihan untuk lantai kolam olakan beserta koperannya terlalu dalam.

2.5.7.3 Jenis USBR

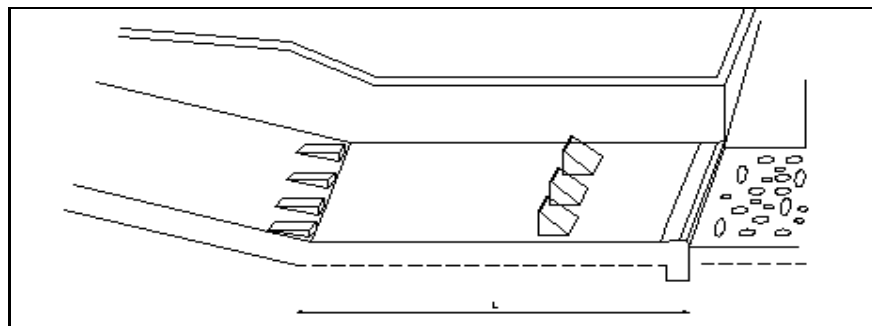
Berdasarkan bilangan Froude, kolam olak dikelompokkan sebagai berikut (Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, 1986) :

- Untuk $Fr \leq 1,7$ tidak diperlukan kolam olak. Pada saluran tanah bagian hilir harus dilindungi dari bahaya erosi.



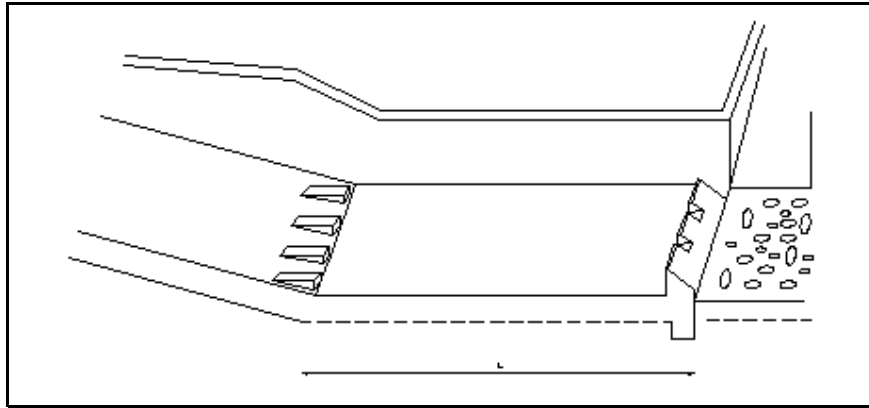
Gambar 2.18 Kolam Olak USBR Type I

- Bila $1,7 < Fr \leq 2,5$ maka kolam olak diperlukan untuk meredam energi secara efektif. Kolam olak dengan ambang ujung mampu bekerja dengan baik.



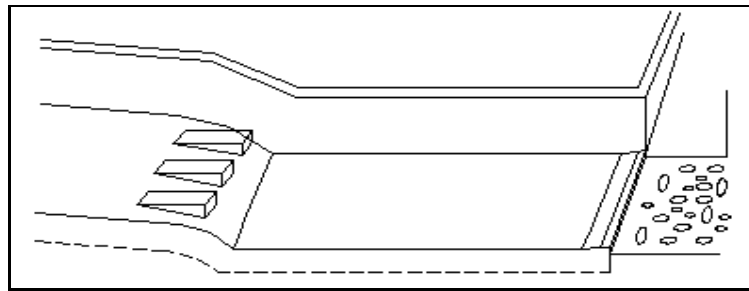
Gambar 2.19 Kolam Olak USBR Type II

- Jika $2,5 < Fr \leq 4,5$ maka loncatan air tidak terbentuk dan loncatan menimbulkan gelombang sampai jarak yang jauh di saluran. Kolam olak yang digunakan untuk menimbulkan turbulensi (olakan) yakni tipe USBR tipe IV.



Gambar 2.20 Kolam Olak USBR Type III

4. Untuk $Fr \geq 4,5$ merupakan kolam olak yang paling ekonomis, karena kolam ini pendek. Kolam olak yang sesuai adalah USBR tipe III.



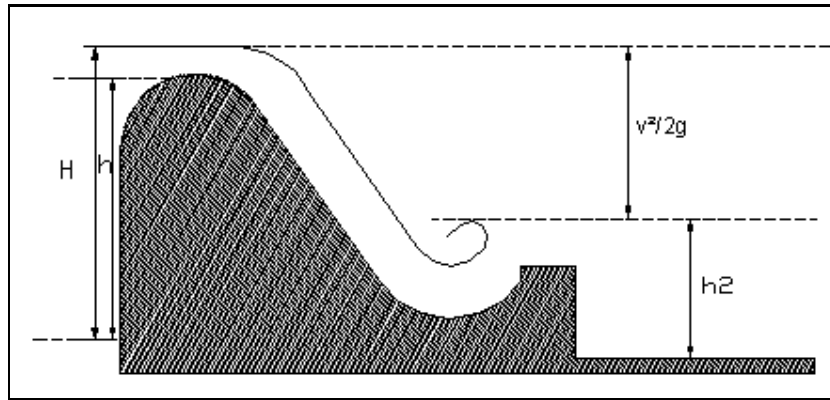
Gambar 2.21 Kolam Olak USBR Type IV

2.5.7.4 Kolam Olak Bucket

Pada umumnya kolam olak Bucket ini hampir sama dengan kolam olak tipe Vlughter, namun lebih baik penggunaannya pada daerah yang sangat kokoh dan kuat. Konstruksi lantai kolam olak Bucket ini lebih aman terhadap daerah banjir yang membawa batu-batu.

1. Solid Bucket

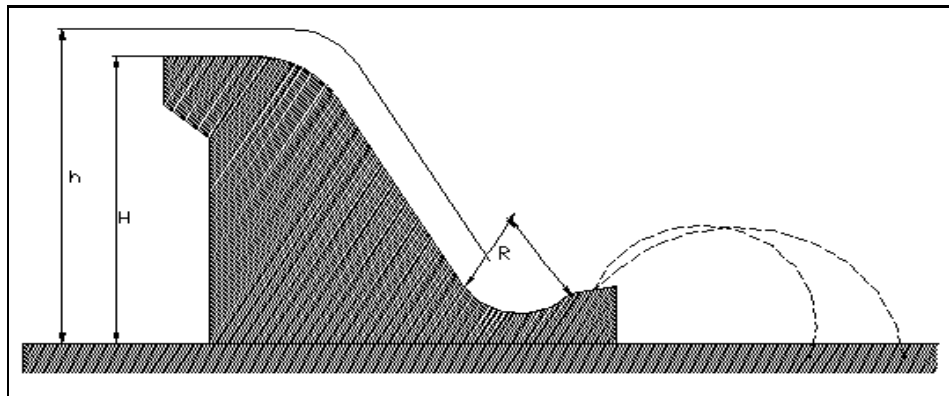
Kolam olak Solid Bucket digunakan bila loncatan air membawa material/batu-batu yang dianggap menghancurkan lantai ruang olak, maka kolam olak dibuat agak melingkar sampai pada bagian *cut off*.



Gambar 2.22 Kolam Olak Solid Bucket

2. Sky Jump

Kolam olak Sky Jump digunakan bila loncatan air sungai tinggi dan keadaan air di belakang kolam olak kecil sehingga perlu memperhitungkan loncatan air.



Gambar 2.23 Kolam Olak Sky Jump

2.5.8 Panjang Lantai Depan

Untuk merencanakan lantai depan embung digunakan garis kemiringan hidrolis. Garis gradien hidrolis ini digambar dari hilir ke arah hulu dengan titik ujung hilir embung sebagai permukaan dengan tekanan sebesar nol. Kemiringan garis gradien hidrolis disesuaikan dengan kemiringan yang diijinkan untuk suatu tanah dasar tertentu, yaitu menggunakan *creep ratio* (C). Untuk mencari panjang lantai depan hulu yang menentukan adalah beda tinggi energi terbesar dimana terjadi pada saat muka air banjir di hulu dan kosong di hilir. Garis hidrolis gradien akan membentuk sudut dengan bidang horisontal sebesar α sehingga akan memotong muka air banjir di hulu. Proyeksi titik perpotongan tersebut ke arah horisontal (lantai hulu embung) adalah titik ujung dari panjang lantai depan minimum.

2.5.9 Tinjauan Terhadap Gerusan

Tinjauan terhadap gerusan digunakan untuk menentukan tinggi dinding halang (koperan) di ujung hilir embung. Untuk mengatasi gerusan tersebut dipasang apron yang berupa pasangan batu kosong sebagai selimut lintang bagi tanah asli. Batu yang dipakai untuk apron harus keras, padat, awet dan mempunyai berat jenis 2,4 ton/m³. Untuk menghitung kedalaman gerusan digunakan Metoda Lacey.

Rumus :

$$R = 1,76Dm^{1/2}$$

dimana :

R = kedalaman gerusan di bawah permukaan air banjir (m)

Dm = diameter nilai tengah (mean) untuk bahan jelek (m)

Q = debit yang melimpah di atas mercu (m³/det)

f = faktor *Lacey*

Menurut *Lacey*, kedalaman gerusan bersifat empiris, maka dalam penggunaannya dikalikan dengan angka keamanan 1,5.

2.5.10 Analisis Gaya-gaya Horisontal

a. Gaya akibat tekanan lumpur

Rumus (Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, 1986) :

$$P_s = \frac{\gamma_s x h^2}{2} \left[\frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} \right]$$

dimana :

P_s = gaya horisontal terletak pada 2/3 kedalaman dari atas lumpur yang bekerja secara horisontal

θ = sudut geser dalam, derajat

γ_s = berat jenis lumpur (ton/m³) = 1,6 ton/m³

h = kedalaman lumpur (m)

b. Tekanan Hidrostatik

Rumus :

$$W_u = c \cdot \gamma_w [h_2 + 1/2\zeta (h_1 - h_2)]A$$

(Joetata dkk, 1997)

dimana :

c = proporsi luas dimana tekanan hidrostatik bekerja ($c = 1$ untuk semua tipe

pondasi)

γ_w = berat jenis air (kN/m^3)

h_2 = kedalaman air hilir (m)

h_1 = kedalaman air hulu (m)

ζ = proporsi tekanan, diberikan pada Tabel 2.8 (m)

A = luas dasar (m^2)

W_u = gaya tekanan ke atas resultante (kN)

Tabel 2.8 Harga-harga ζ

| Tipe Pondasi Batuan | Proporsi Tekanan |
|----------------------------------|-------------------------|
| Berlapis horisontal | 1,00 |
| Sedang, pejal (<i>massive</i>) | 0,67 |
| Baik, pejal | 0,5 |

Sumber : Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum (1986)

c. Tekanan tanah aktif dan pasif

- Tekanan tanah aktif dihitung dengan rumus sebagai berikut (Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, 1986):

$$Pa = \frac{1}{2} \gamma_{sub} * Kp * h^2$$

$$Ka = \tan^2(45^\circ - \phi/2)$$

$$\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

$$= \left[\gamma_w \frac{Gs + e}{1 + e} \right] - \gamma_w \quad \text{dimana } \gamma_w = 1 \text{ t/m}^3$$

$$= \left[\gamma_w \frac{Gs - e}{1 + e} \right]$$

- Tekanan tanah pasif dihitung dengan rumus sebagai berikut (Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, 1986):

$$Pp = \frac{1}{2} \gamma_{sub} * Kp * h^2$$

$$Kp = \tan^2(45^\circ + \phi/2)$$

$$\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

$$= \left[\gamma_w \frac{Gs + e}{1 + e} \right] - \gamma_w \quad \text{dimana } \gamma_w = 1 \text{ t/m}^3$$

$$= \left[\gamma_w \frac{Gs - 1}{1 + e} \right]$$

keterangan :

P_a = tekanan tanah aktif (t/m^2)

P_p = tekanan tanah pasif (t/m^2)

ϕ = sudut geser dalam ($^\circ$)

g = gravitasi bumi = $9,8 \text{ m/det}^2$

h = kedalaman tanah aktif dan pasif (m)

γ_{sub} = berat jenis submerged/tanah dalam keadaan terendam (t/m^3)

γ_{sat} = berat jenis saturated/tanah dalam keadaan jenuh (t/m^3)

γ_w = berat jenis air = $1,0 \text{ ton/m}^3$

G_s = Spesifik Gravity

e = Void Ratio

2.5.11 Analisis Gaya Vertikal

a. Akibat berat

Berat bangunan bergantung kepada bahan yang dipakai untuk membuat bangunan itu. Untuk tujuan-tujuan perencanaan pendahuluan, boleh dipakai harga-harga berat volume di bawah ini (Joetata dkk, 1997):

Pasangan batu 22 kN/m^3 ($=2,200 \text{ kgf/m}^3$)

Beton tumbuk 23 kN/m^3 ($=2,300 \text{ kgf/m}^3$)

Beton bertulang 24 kN/m^3 ($=2,400 \text{ kgf/m}^3$)

Berat volume beton tumbuk bergantung kepada berat volume agregat serta ukuran maksimum kerikil yang digunakan.

Untuk ukuran maksimum agregat 150 mm dengan berat volume 2.65, berat volumenya lebih dari 24 kN/m^3 (Joetata dkk, 1997).

2.5.12 Analisis Stabilitas Embung

a. Terhadap Guling

Guling (overtuning), dapat terjadi di dalam embung, pada dasar (base) atau pada bidang di bawah dasar. Agar bangunan aman terhadap guling, maka resultante semua gaya yang bekerja pada bagian bangunan di atas bidang horisontal, termasuk gaya angkat, harus memotong bidang ini pada teras. Tidak boleh ada tarikan pada bidang manapun (Joetata dkk, 1997).

Besarnya tegangan dalam bangunan dan pondasi harus tetap dipertahankan pada harga-harga maksimal yang dianjurkan. Harga-harga untuk beton adalah sekitar

4,0 N/mm² atau 40 kgf/cm², pasangan batu sebaiknya mempunyai kekuatan minimum 1,5 sampai 3,0 N/mm² atau 15 sampai 30 kgf/cm² (Joetata dkk,1997).

b. Terhadap Gelincir

Gelincir (sliding) dapat terjadi di sepanjang sendi horisontal atau hampir horisontal di atas pondasi, di sepanjang pondasi atau sepanjang bidang horisontal atau hampir horisontal dalam pondasi (Joetata dkk, 1997).

Sudut antara garis vertikal dan resultante semua gaya, termasuk gaya angkat, yang bekerja pada embung di atas semua bidang horisontal, harus kurang dari koefisien gesekan yang diijinkan pada bidang tersebut (Joetata dkk,1997).

c. Terhadap Daya Dukung Tanah

Dari data tanah diperoleh :

γ = berat volume tanah (ton/m³)

c = kohesi

ϕ = sudut geser dalam (°)

D_f = kedalaman pondasi (m)

N_c, N_q, N_γ didapat dari grafik Terzaghi.

Rumus daya dukung tanah Terzaghi (*Penerbit Erlangga, 1995*)

$$q_{ult} = c \cdot N_c + \gamma \cdot N_q \cdot D_f + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

$$\bar{\sigma} = \frac{q_{ult}}{SF}$$

Kontrol :

$$\sigma_{maks} = \frac{RV}{BL} x \left(1 + \frac{6.e}{B} \right) < \bar{\sigma}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{RV}{BL} x \left(1 - \frac{6.e}{B} \right) > 0$$

dimana :

SF = faktor keamanan

RV = gaya vertikal (ton)

L = panjang embung (m)

σ = tegangan yang timbul (ton/m²)

$\bar{\sigma}$ = tegangan ijin (ton/m²)