

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Umum

Perencanaan dam penahan sedimen adalah untuk penanggulangan bencana aliran sedimen/debris dari banjir lahar dingin dengan metode konstruksi dan non konstruksi. Maksudnya mengatur sungai dan aliran sedimen agar sungai selalu dalam kondisi seimbang dan mampu dilalui debit banjir dengan aman.

Perencanaan Sabo untuk penanggulangan jumlah kelebihan sedimen yang membahayakan harus terdiri dari 3 perencanaan sebagai berikut:

1. Perencanaan aliran sedimen yang harus dikendalikan dari sumber produksi. Fasilitas Sabo misalnya adalah Sabo Dam (dam penahan sedimen), dam konsolidasi, dan kanalisasi. Letak fasilitas Sabo ini tidak hanya pada daerah pegunungan bagian hulu saja, tetapi juga untuk dasar sungai yang terletak di hilir sebagai sumber produksi sedimen sekunder.
2. Perencanaan jumlah sedimen yang harus ditampung dari alirannya. Fasilitas Sabo misalnya dam penahan sedimen dan kantong lahar. Pada kantong lahar, kapasitas harus disiapkan untuk sasaran banjir berikutnya dan diperhitungkan dalam evaluasi.
3. Perencanaan jumlah sedimen yang harus diatur dari alirannya. Dam penahan sedimen yang harus direncanakan untuk mengestimasi jumlah sedimen yang untuk sementara akan mengendap di bagian hulunya. Jumlah endapan sementara di bagian

hulu dam penahan sedimen tersebut akan terangkut ke hilir secara lambat laun oleh arus banjir sedang atau arus banjir kecil dan diharapkan tidak merusak daerah hilir.

Fasilitas Sabo harus direncanakan supaya membawa efek maksimal sesuai maksudnya. Setiap jenis fasilitas Sabo mempunyai bentuk yang sama tetapi mempunyai fungsi yang berbeda yaitu antara lain:

1. *Stepped dam*

Stepped dam dibuat dibagian hulu sungai yang curam, mudah longsor yang fungsinya untuk mencegah produksi sedimen.

2. Dam penahan sedimen

Dam penahan sedimen berfungsi untuk menahan, menampung, dan mengendalikan sedimen agar jumlah sedimen yang mengalir diperkecil.

3. Kantong pasir (*sand pocket*)

Di daerah gunung api aktif biasanya jumlah material sedimen yang dihasilkan begitu banyak sehingga sedimen tersebut tidak dapat dikendalikan oleh beberapa dam penahan sedimen. Oleh karena itu perlu dibuat kantong pasir di daerah kipas alluvial (biasa pada daerah yang mengalami perubahan kemiringan antara 3% dan lebih kecil dari 3%) untuk menampung sejumlah sedimen yang berlebihan agar tidak membahayakan daerah sekitarnya.

4. *Groundsill*

Groundsill atau ambang pengendali dasar adalah suatu bentuk dam penahan sedimen yang rendah untuk menstabilkan dasar sungai dan mengarahkan aliran sedimen.

5. Dam konsolidasi

Dam konsolidasi berfungsi menstabilkan dasar sungai, mengarahkan alur sungai, menahan dan mengendalikan material sedimen.

6. Kanalisasi

Pada umumnya arah aliran di daerah kipas alluvial selalu berubah akibat fluktuasi debit. Untuk menstabilkan arah alur dan mengalirkan banjir dengan aman dan cepat ke hilir maka perlu dibangun kanalisasi.

Sedangkan berdasarkan maksudnya, fasilitas Sabo dapat diklasifikasikan menjadi 5 macam, yaitu:

1. Dam untuk mendukung lereng bukit yang tidak stabil.

Dam ini ditujukan untuk mencegah produksi sedimen pada kaki longsor lereng sepanjang alur. Hal ini dimungkinkan karena dasar sungai naik akibat endapan sedimen di sebelah hulu dam sehingga mampu mendukung kaki lereng bukit dan mencegah longsor.

2. Dam untuk mencegah erosi vertikal dari alur sungai.

Dam ini dimaksudkan untuk mencegah produksi sedimen akibat tergerusnya dasar sungai.

3. Dam untuk menampung endapan yang tidak stabil pada alur sungai.

4. Dam untuk menahan aliran lahar sepanjang alur sungai.

5. Dam untuk mencegah dan mengontrol aliran sedimen.

Dam jenis ini dimaksudkan untuk menahan aliran sedimen dari hulu dan mengaturnya apabila dam tersebut penuh dengan material.

Tipe dam penahan sedimen dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Dam penahan sedimen tertutup (*impermeable dam*)

Dam tipe ini bentuk pada main dam adalah tertutup sehingga air yang akan melimpas hanya bisa melalui bagian atas mercu saja.



Gambar 1. *Impermeable dam*

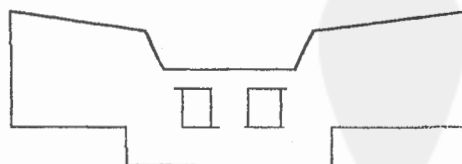
2. Dam penahan sedimen terbuka

a. Dam penahan sedimen berbentuk celah (*slit dam*)



Gambar 2. *Slit dam*

b. Dam penahan sedimen berbentuk lubang (*drip hole*)



Gambar 3. Dam dengan *drip hole*

Ada tiga tipe Sabo dam menurut bahan konstruksinya, yaitu:

1. Dam tipe rangka baja rangkap (*stell double wall dam type*)

Dam tipe ini tersusun dari dinding baja rangkap (*expanded metal*) pada sebelah hulu dan sebelah hilir yang disatukan dengan batang baja (*tie bar*) dan ruang diantaranya diisi dengan timbunan tanah. Tubuh dam yang terbuat dari timbunan tanah yang disatukan dengan dinding baja rangkap dan *tie bar* stabil terhadap gaya luar yang bekerja pada tubuh dam dengan memanfaatkan gesekan tanah. Pelaksanaan penimbunan menggunakan alat yang berupa *bulldozer*, *vibrator roler*, dan *dump truk*. Material timbunan diambil disebelah hulu dam. Dam tipe ini waktu pelaksanaannya cepat dan fleksibel terhadap penurunan tubuh dam, fondasi dam, maupun terhadap aliran *debris* yang mendadak. Namun biaya yang diperlukan cukup mahal apabila dibandingkan dengan dua tipe dam lainnya.

2. Dam dari pasangan batu (*masonry dam type*)

Dam tipe ini terdiri dari pasangan batu yang dilapisi beton dengan ketebalan 0,3 meter pada bagian dinding dam serta 0,5 meter pada bagian peluap maupun apronnya. Tipe ini sangat kaku dan stabil terhadap gaya luar karena berat sendirinya (sistem gravitasi). Pekerjaan pasangan batu dilaksanakan secara manual dan rongga diantara bebatuan diisi dengan semen (PC/mortar), sedangkan penimbunan maupun penggaliannya dilakukan dengan alat berat berupa *bulldozer* dan *excavator*. Pengecoran dapat dilakukan secara manual maupun dengan bantuan alat berskala kecil. Dam pasangan batu (*masonry*) tidak hanya sangat kaku, namun waktu pelaksanaannya juga relatif lebih lama apabila dibandingkan dengan pembuatan *stell double dam*, serta tidak fleksibel terhadap penurunan fondasi karena gerusan air di sebelah hilir dam, sehingga penentuan lokasinya memerlukan perencanaan yang

cermat. Keuntungannya adalah biaya pembangunannya cukup murah, dengan bebatuan yang dapat diambil disekitar lokasi pembuatan dam.

3. Dam dari cor beton (*concrete type*)

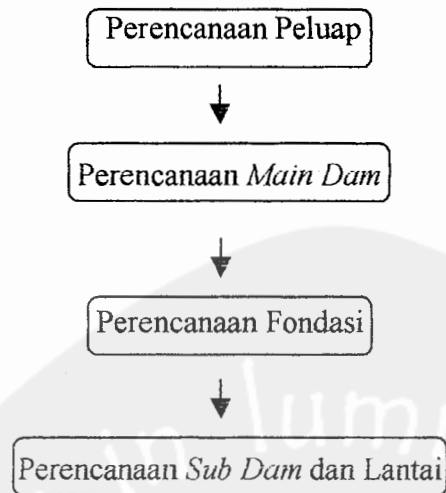
Tipe ini tersusun dari cor beton dan secara mekanik sama dengan tipe pasangan batu, hanya saja tipe ini lebih baik namun biayanya lebih mahal.

Dalam buku "Pelaksanaan Sabo" oleh Departemen Pekerjaan Umum, dam yang sering digunakan di Indonesia adalah dam yang terbuat dari pasangan batu yang dilapisi beton. Tipe ini lebih kaku dan stabil terhadap gaya luar karena gaya berat sendirinya (sistem gravitasi) dibandingkan dengan kedua tipe lainnya. Selain itu bangunan penahan sedimen tipe ini dapat dibuat dengan harga yang agak relatif murah karena bebatuan yang digunakan dapat diambil di sekitar lokasi pembuatan.

Bangunan penahan sedimen menurut "Petunjuk Perencanaan dan Desain Bangunan Pengendali Sedimen" oleh Departemen Pekerjaan Umum adalah bangunan melintang sungai yang berfungsi untuk menampung sedimen, menstabilkan kemiringan dasar sungai, menahan sedimen yang mengalir dari puncak gunung, dan menurunkan besarnya debit banjir.

Sedangkan dalam buku "Desain Struktur Fasilitas Bangunan Sabo" oleh Departemen Pekerjaan Umum, urutan dalam perancangan pembangunan dam penahan sedimen adalah sebagai berikut:

1. Perancangan bagian peluap (*design of overflow section*).
2. Perancangan dam utama (*design of main dam*).
3. Perancangan fondasi (*design of foundation*).
4. Perancangan sub dam dan apron (*design of sub dam and apron*).



Gambar 4. Diagram alur urutan perencanaan

2.2 Urutan dalam Perancangan Bangunan Penahan Sedimen

Dalam perancangan bangunan penahan sedimen ini penyusun menggunakan rumus-rumus dan teori yang berada dalam buku “Desain Struktur Fasilitas Bangunan Sabo” oleh Departemen Pekerjaan Umum dan beserta literatur-literatur lain.

2.2.1 Penentuan titik dasar (*basic point*)

Titik dasar adalah tempat dimana suatu titik bebas untuk menentukan volume sedimen yang akan dikendalikan.

Tempat-tempat di sungai yang dipertimbangkan sebagai titik dasar ialah:

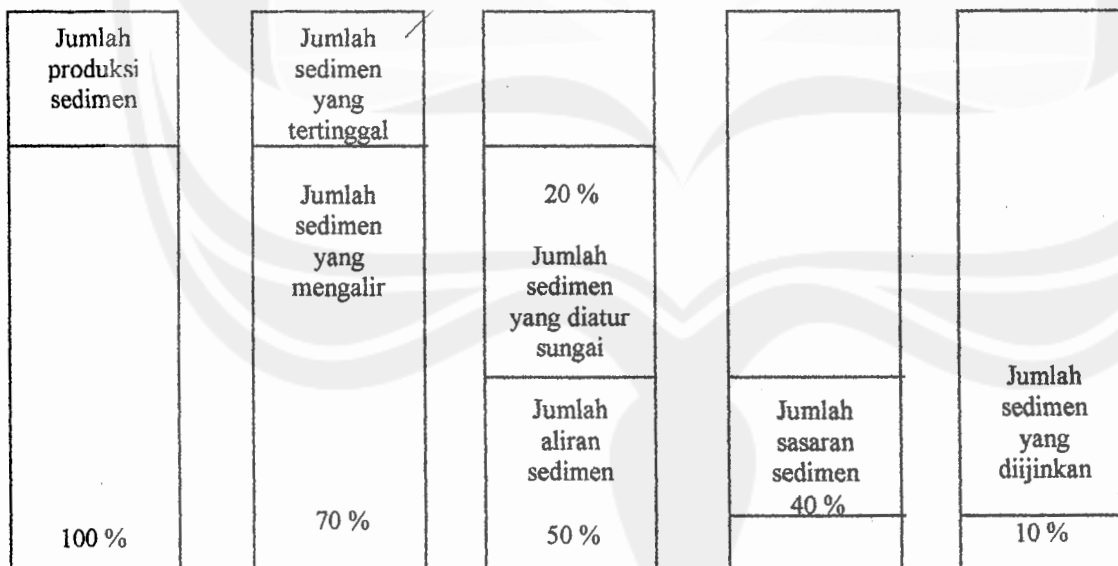
- ◆ Muara sungai atau pertemuan sungai
- ◆ Perubahan dasar sungai secara mendadak yang menunjukkan awal penyebaran aliran sedimen atau kipas aluvial
- ◆ Tempat yang mungkin terjadi luapan pada waktu banjir
- ◆ Tempat terjadinya perubahan aliran dari aliran debris menjadi aliran sedimen



Gambar. 5. Penentuan titik dasar

2.2.2 Volume sedimen rencana yang akan mengalir.

Untuk mengetahui jumlah volume potensial sedimen yang berada di puncak gunung, maka perlu diketahui daerah tangkapan hujan dari sungai tersebut di bagian puncak gunung dan luas daerah yang mengandung potensial sedimen.



Gambar 6. Komposisi aliran sedimen

$$V_s = A \cdot Dp$$

keterangan:

V_s = volume potensial sedimen (m^3)

A = daerah tangkapan sungai yang mengandung sedimen potensial (km^2)

Dp = kedalaman rata-rata erosi dalam satu kali banjir sedimen berdasarkan pengalaman (1~3 m).

Sedangkan volume sedimen sasaran yang akan ditampung oleh bangunan penahan sedimen bukanlah seluruh jumlah potensial sedimen di puncak gunung tetapi sebagian saja. Hal ini dapat dilihat dari bagan berikut:

2.2.3 Debit banjir rencana

Debit banjir rencana yang akan dicari adalah debit puncak banjir rencana menggunakan rumus-rumus dibawah. Untuk menentukan intensitas hujan selama jangka waktu tertentu jika hanya diketahui curah hujan harian, dapat dipakai rumus Iwai seperti sebagai berikut:

$$\xi = a \log \left[\frac{x + b}{x_0 + b} \right]$$

keterangan:

ξ = variabel normal

x = variabel kemungkinan

a, b, x_0 = konstanta

Berbagai cara yang digunakan untuk mendapatkan angka-angka konstanta dan disini Iwai mengusulkan sebagai berikut :

Perkiraan permulaan untuk angka b :

$$b = 1/m \sum b_i (m \div n/10)$$

$$b_i = \frac{x_1 \cdot x_s - x_0^2}{2x_0 - (x_1 + x_s)}$$

Perkiraan permulaan untuk angka X_0 :

$$X_0 = \log(x_1 + b) = 1/n \sum \log(x_1 + b)$$

Perkiraan permulaan untuk angka a :

$$\frac{1}{a} = \frac{\left[\frac{2n}{n-1} \right]^{0,5} \left[\bar{X}^2 - X_0^2 \right]^{0,5}}$$

$$\bar{X}^2 = 1/n \sum (\log(x_1 + b))^2$$

x_1 = angka data dengan jangka i yang dimulai dari angka terbesar dan berakhir pada angka yang terkecil.

x_s = angka data dengan data s yang dimulai dari angka yang terkecil atau dengan jangka $(n - s + 1)$ dimulai dari angka terbesar.

n = jumlah data yang terkumpul

$m = n / 10$ interger

Sesudah mendapatkan harga-harga perkiraan dari konstanta-konstanta a , b , dan x_0 maka perhitungan probabilitas hidrologi tersebut dapat dilanjutkan dengan rumus berikut:

$$\log(x + b) = \log(x_0 + b) + (1/a) \xi$$

Untuk menentukan intensitas hujan selama jangka waktu tertentu jika hanya diketahui curah hujan harian, dapat juga dipakai cara Kraven yaitu dengan tabel berikut:

Tabel 1. Tabel Rumus Kraven

I	Over 1/100	1/100-1/200	Under 1/200
V (m/s)	3,5	3,0	2,1

Selain menggunakan tabel Kraven diatas dapat menggunakan juga rumus Rhiza :

$$V = 72 \cdot (H/L)^{0,6}$$

$$T = \frac{L}{V} \quad I = \left[\frac{R_{24}}{24} \right] \left[\frac{24}{T} \right]^{0,6}$$

Sedangkan untuk mencari debit puncak banjir rencana digunakan rumus Rational seperti berikut:

$$Q = \frac{1}{3,6} \cdot f \cdot I \cdot A$$

keterangan:

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

R₂₄ = tinggi curah hujan 24 jam-an (mm)

T = hujan jam ke (jam)

Q = debit puncak banjir rencana (m³/det)

f = koefisien limpasan langsung

A = *cathment area* (km²)

L = panjang sungai dari titik limpasan langsung sampai ujung hulu dari sungai (m)

V = kecepatan rerata yang dihitung dengan rumus Kraven (m/det)

H = beda tinggi dari titik limpasan langsung sampai ujung hulu dari sungai (m)

2.2.4. Jumlah sedimen dalam sekali banjir

Dalam hal ini diestimasi bahwa kapasitas air untuk membawa sejumlah sedimen dalam satu kali banjir menjadi salah satu acuan untuk perencanaan bangunan penahan sedimen.

$$V_s = \frac{R_{24} A 10^3}{1 - \lambda} \cdot \frac{C_d}{1 - C_d}$$

Konsentrasi aliran sedimen dapat diestimasi berdasarkan rumus Mizuyama sebagai berikut:

$$C_d = \frac{11,85 \cdot \tan^2 \theta}{1 + 11,85 \cdot \tan^2 \theta}$$

Nilai C_d yang didapat diatas adalah dari hasil laboratorium, jika ingin diterapkan di lapangan maka harus dikalikan dua.

Keterangan:

V_s = Volume aliran sedimen dalam satu kali banjir (m^3)

R_{24} = tinggi curah hujan 24 jam-an (mm)

A = *cathment area* (km^2)

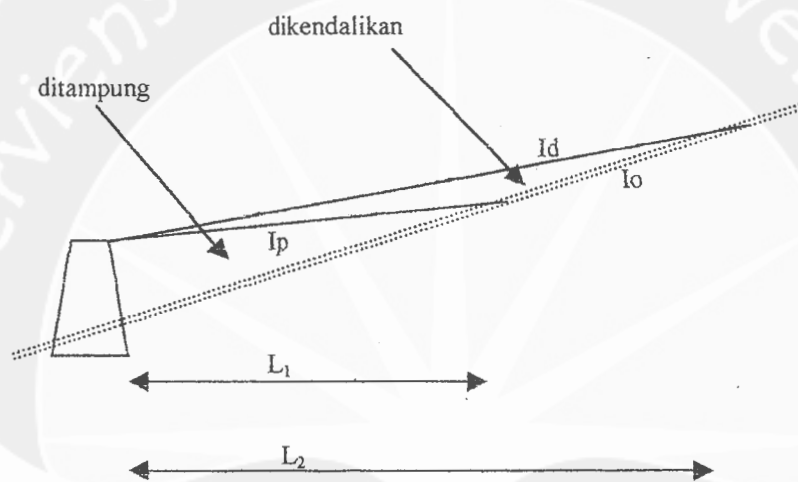
λ = *void ratio*, bernilai sekitar 0,4

C_d = konsentrasi sedimen dalam aliran

θ = kemiringan dasar sungai

2.2.5. Perencanaan jumlah material sedimen yang diatur

Peletakan bangunan penahan sedimen di sepanjang alur sungai sangat dipengaruhi oleh kemiringan dasar sungai untuk memperoleh suatu kemiringan dasar sungai rencana setelah bangunan penahan sedimen tersebut dibangun. Dari kemiringan dasar sungai rencana diperoleh berapa jumlah sedimen yang ditampung dan sedimen yang dikendalikan.



Gambar 7. Ilustrasi fungsi dam penahan sedimen

Keterangan:

I_o = kemiringan dasar sungai

I_p = kemiringan dasar sungai rencana ($1/2 \cdot I_o$)

I_d = kemiringan seimbang dinamik ($2/3 \cdot I_o \sim 3/4 \cdot I_o$)

2.2.6. Stabilitas bangunan penahan sedimen

Kondisi yang diperhitungkan pada stabilitas dam penahan sedimen adalah kondisi bangunan ditinjau terhadap gaya yang ditimbulkan aliran banjir sedimen dan berat sendiri bangunan.

Tipe dam adalah *gravity dam* (dam berdasarkan berat sendiri) yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Kemiringan dam bagian hilir

Untuk menghindarkan kerusakan tubuh dam dari banjir lahar/sedimen maupun dari gerusan yang sering terjadi, kemiringan dari dam bagian hilir dibanding dengan tubuh dam dibuat 1 : 0,2 atau lebih curam lagi.

2. Kemiringan dam bagian hulu

Jika kemiringan dam bagian hilir dinyatakan dengan n , lebar puncak dam (*crest width*) dinyatakan dengan b , kedalaman peluap dinyatakan dengan h_3 , maka kemiringan badan dam bagian hulu pada umumnya harus memenuhi persamaan berikut:

$$A \cdot m^2 + B \cdot m - C = 0$$

keterangan :

H = tinggi tubuh dam

m = kemiringan bagian hulu

γ_m = berat satuan tubuh dam

$A = 1 + \alpha$

γ_w = berat satuan aliran air (1 t/m – 1,2 t/m)

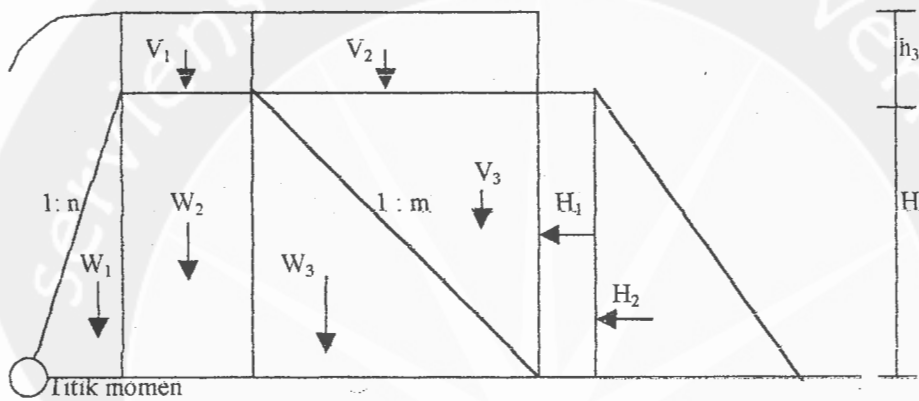
$B = 2(2 + \beta) + (4\alpha + \gamma) + 2\alpha\beta$

$C = (1 + 3\alpha) + \alpha\beta(4n + \beta) + \gamma(3n\beta + \beta^2 + n^2)$

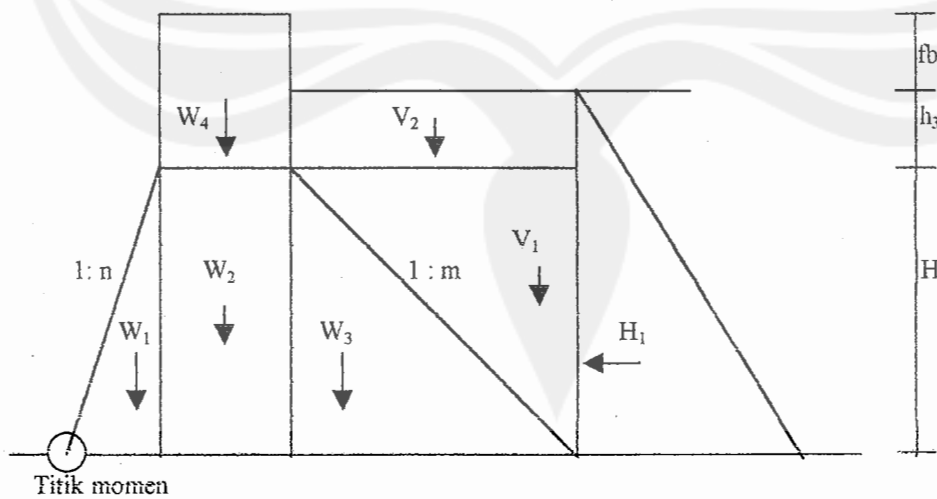
$$\alpha = \frac{h_3}{H} \quad \beta = \frac{b_1}{H} \quad \gamma = \frac{\gamma_m}{\gamma_w}$$

3. Gaya-gaya luar yang bekerja

Untuk desain dam, kombinasi gaya-gaya luar akan diambil dalam perhitungan sesuai dengan kondisi aliran dalam keadaan banjir seperti terlihat pada gambar.



Gambar 8. Stabilitas pada pelimpah



Gambar 9. Stabilitas pada sayap

Keterangan :

W_1, W_2, W_3, W_4 = berat sendiri dam (ton)

H_1, H_2 = tekanan air horisontal (ton)

V_1, V_2, V_3 = tekanan air vertikal (ton)

Bahwa stabilitas bangunan penahan sedimen ini ditinjau dari beberapa tinjauan yaitu:

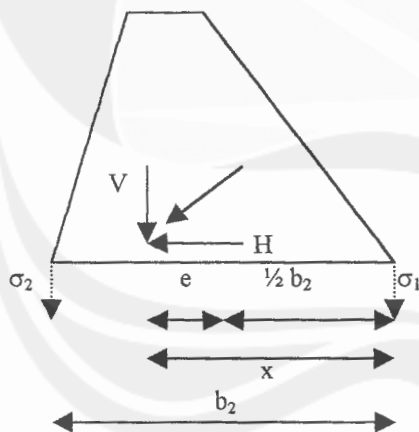
1. Tinjauan terhadap tegangan tarik

$$b_2/3 \leq x \leq 2/3 b_2$$

$$x = \Sigma M / \Sigma V$$

$$e = b_2/2 - x$$

dimana $e < b_2$ tidak terjadi tegangan tarik



Gambar. 10. Stabilitas tubuh dam

2. Tinjauan terhadap penggulingan

$$n = \Sigma M \text{ yang menahan guling} / \Sigma M \text{ yang menggulingkan}$$

$n > SF$, dengan $SF = 1,2$ adalah aman terhadap bahaya guling.

3. Tinjauan terhadap daya dukung tanah

$$\sigma_{12} = \frac{V}{b_2} \left(1 \pm \frac{6 \cdot e}{b_2} \right)$$

Bahwa tekanan yang ditimbulkan oleh bangunan tersebut tidak boleh melebihi dari tekanan ijin dari tanah dibawah dam.

4. Tinjauan terhadap penggeseran

$$SF = \frac{f \cdot V + \tau_o \cdot b_2}{H}$$

Nilai SF yang didapat harus lebih besar dari angka aman yang diijinkan yaitu

1,2 sehingga aman terhadap bahaya geser.

keterangan:

x = jarak dari tepi hulu sampai titik tangkap resultante gaya.

M = momen total terhadap titik O.

V = gaya vertikal total.

H = gaya horisontal total.

b₂ = lebar dasar dam

σ₁₂ = tekanan yang ditimbulkan oleh bangunan di ujung-ujung fondasi dasar dam.

e = jarak dari as sampai titik tangkap resultante gaya

SF = angka aman atau faktor aman

τ_o = tegangan geser badan dam pada fondasinya (2,5 t/m²)

f = koefisien geser dasar badan dam dengan fondasinya (0,7)

2.2.7. Perancangan struktur dam panahan sedimen

Akhir-akhir ini endapan *pyroclastic* yang tidak stabil (kubah lava yang mudah tererosi) mengancam lereng bagian Selatan dan bagian Barat Daya Gunung Merapi sehingga perlu dibangun fasilitas untuk mengamankan penduduk dari bahaya banjir lahar tersebut.

Pada perancangan ini telah disebutkan diatas bahwa perancangan hanya dilakukan di K. Krasak. Dam panahan sedimen terdiri fondasi dam, peluap pada *main dam*, *sub dam*, *drip hole* pada *main dam*, dinding sayap, *main dam*, *apron*, *side wall*. Sedimen yang jatuh dari puncak dam (di sebelah hilir), oleh karena itu *main dam* harus dilengkapi dengan bangunan-bangunan pengaman di sebelah hilir seperti *apron*, *sub dam*, dan dinding samping (*side wall*), serta fasilitas lain yang sangat penting, yaitu berupa lubang drainasi pada *main dam* (*drip hole*).

Lokasi dan tinggi *sub dam* ditentukan agar gerusan dapat dicegah secara efektif. Desain peluap *sub dam*, tubuh utama dam, fondasi, dan dinding sayap pada *sub dam* mengacu pada desain *main dam*. Sedangkan tujuan dibangunnya *apron* adalah untuk mencegah gerusan di bagian belakang dam yang diakibatkan oleh air dan debris yang mengalir dari puncak dam.

Perancangan struktur pembuatan dam pengendali sedimen secara lebih terperinci diuraikan di bawah ini:

1. Perancangan peluap

Estimasi lebar saluran peluap adalah dengan menggunakan teori *Regime*, yaitu:

$$B_1 = \alpha \cdot Q^{0.5}$$

Keterangan :

B_1 : lebar saluran peluap

α : koefisien berdasarkan luas lembah sungai

Tabel 2. Koefisien berdasarkan luas lembah sungai

Luas lembah sungai (km ²)	Nilai α
$A < 1$	2 ~ 3
$1 \leq A \leq 10$	2 ~ 4
$10 \leq A \leq 100$	3 ~ 5
$A > 100$	3 ~ 6

Lebar peluap (B_1) diestimasikan tidak lebih lebar dari lebar rerata saluran. Berdasarkan hasil survei topografi, lebar peluap akan berkisar antara 50% - 100% dari lebar saluran.

Kedalaman peluap diestimasikan dengan rumus berikut:

$$Q = \frac{2}{15} C \sqrt{(2 \cdot g)} \cdot (3B_1 + 2B_2) h_3^{3/2}$$

Keterangan:

Q : debit rencana puncak banjir (m³/det)

B_1 : lebar peluap rancangan (m)

B_2 : lebar muka air (m)

h_3 : kedalaman peluap (m)

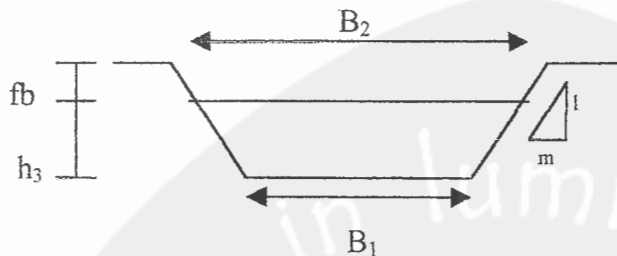
C : koefisien debit (0,6 – 0,66)

g : percepatan gravitasi (9,8 m/det²)

m : kemiringan tepi dua sisi peluap

fb : tinggi jagaan yang diizinkan (*freeboard*) yaitu 0,6 – 1 m, sedangkan untuk daerah hulu bisa lebih besar dari 1 m.

Gambar peluap dapat dilihat di bawah ini :



Gambar 11. Profil peluap

2. Perancangan *main dam*

a. Kemiringan tubuh dam bagian hilir:

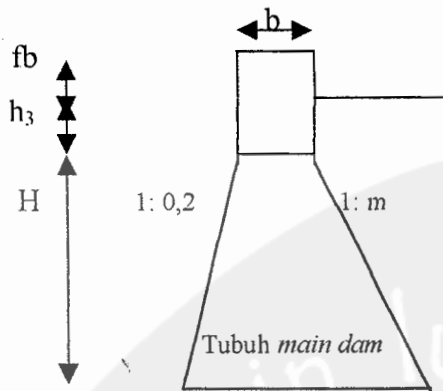
Pada umumnya lereng bagian hilir ini didesain untuk menghindarkan kerusakan akibat material yang jatuh melewati puncak dam.

Kemiringan yang digunakan adalah 1 : 0,2.

b. Kemiringan tubuh dam bagian hulu:

Desain lereng bagian hulu ini mempertimbangkan keamanan badan dam terhadap bahaya guling. Agar tubuh dam stabil, maka kemiringan tubuh dam bagian hulu dapat dicari dengan rumus dibawah ini (*Westergaard method*).

$$(1 + \alpha) \cdot m^2 + \{2 \cdot (n + \beta) + n \cdot (4 \cdot \alpha + \gamma) + 2 \cdot \alpha \cdot \beta\} \cdot m - (1 + 3\alpha) + \alpha \cdot \beta (4 \cdot n + \beta) + (3n\beta + \beta^2 + n^2) \cdot \gamma = 0$$



Gambar 12. Tubuh *main dam*

Keterangan :

$$\alpha = h_3/H$$

$$\beta = b/H$$

$$\gamma = \gamma/\gamma_0$$

H = tinggi dam sampai dasar peluap

b = lebar puncak dam

h_3 = kedalaman dam peluap

m = kemiringan bagian hulu

n = kemiringan bagian hilir (0,2)

γ_0 = berat jenis air termasuk tanah dibawahnya ($1,2 \text{ t/m}^3$)

γ_c = berat jenis tubuh dam (beton = $2,35 \text{ t/m}^3$, pasangan batu = $2,2 \text{ t/m}^3$)

fb = *freeboard* atau tinggi jagaan

3. Analisa fondasi

Fondasi dam harus kuat untuk menahan beban-beban yang terjadi, dan kapasitas daya dukung tanah yang diizinkan harus lebih besar dari tekanan maksimum yang timbul oleh gaya-gaya luar dan berat sendiri bangunan.

Dalam peraturan standard dinyatakan bahwa fondasi lebih baik diletakan pada batu/tanah keras, tetapi pada daerah kaki gunung berapi sulit ditemukan tanah keras, maka digunakanlah fondasi melayang (*floating foundation*) yang konstruksinya terdiri dari pasangan batu yang dilapisi beton. Bahan pasangan batu terdiri dari pasir, kerikil, dan batu besar disekitar lokasi.

Selain itu fondasi harus mampu menahan geser yang diakibatkan oleh gaya-gaya luar horisontal yang diakibatkan oleh aliran banjir sedimen. Disarankan pula fondasi masuk kedalam batuan dasar 1,0 m dan 2,0 m pada tanah berpasir atau batu. Meskipun demikian masuknya fondasi dalam tanah dapat lebih dalam lagi terutama pada batuan dasar yang mengalami retak atau lapuk dimana batuan dasar tidak homogen. Hal ini dilakukan karena untuk menghindari bahaya "piping".

4. Perancangan dinding sayap (*wing wall*)

Dinding sayap dibangun untuk mencegah meluapnya air kearah samping akibat adanya gaya-gaya luar. Dinding sayap ini harus mempunyai struktur yang memadai yang dapat ditentukan sebagai berikut:

a. Tinggi dinding sayap

$$H_w = h_3 + fb$$

keterangan :

H_w = tinggi dinding sayap (m)

h_3 = tinggi air diatas peluap berdasarkan banjir rencana (m)

fb = tinggi jagaan (*freeboard*)

b. Tebal dinding sayap

Dibutuhkan ketebalan yang cukup pada dinding sayap untuk menahan gaya-gaya luar. Kemiringan/lereng dinding sayap ini dirancang sama dengan bagian peluap main dam.

c. *Buffer fill*

Buffer fill dibuat untuk mengurangi dampak akibat gaya tumbukan yang terjadi pada sayap *main dam* dan untuk melindungi tepi sungai pada hulu dam. *Buffer fill* ini diletakan didepan dinding sayap *main dam* agar sayap aman terhadap bahaya aliran lahar, dan dibangun setelah pekerjaan penggalian. Material yang digunakan untuk membuat *buffer fill* adalah timbunan tanah yang ditutup dengan pasangan batu kali.

5. Perancangan *sub dam*

Tinggi sub dam (H_2) secara empiris ditunjukan oleh persamaan berikut:

$$H_2 = \alpha \cdot H$$

keterangan : H_2 = tinggi *sub dam*

α = koefisien ($1/3 - 1/4$)

H = tinggi *main dam*

Sedangkan jarak antara *main dam* dengan *sub dam* yang digunakan adalah nilai yang terbesar dari hasil perhitungan dengan rumus empiris dibawah ini:

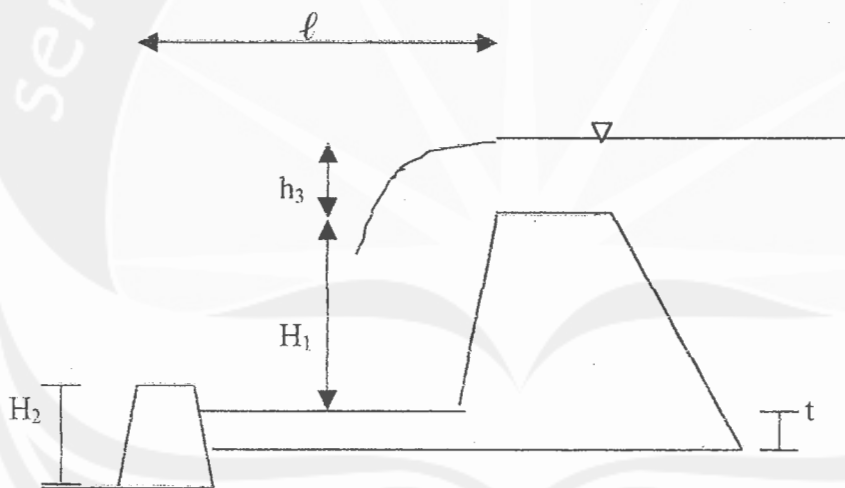
$$\ell = (1,5 \sim 2,0) \cdot (H + h_3)$$

keterangan :

ℓ : jarak antara tepi puncak *main dam* bagian hilir dengan tepi puncak *sub dam* bagian hilir (m)

H_1 : tinggi antara puncak *main dam* dengan permukaan *apron* (m)

h_3 : tinggi muka air diatas peluap *main dam* (m)



Gambar 13. Menunjukkan hubungan antara *main dam*, *sub dam*, dan *apron*

6. Perancangan *apron*

Apron terdiri dari pasangan batu yang dilapisi beton. *Apron* berguna untuk:

- Mematahkan energi air pada terjunan.
- Lapisan air/sedimen diatas *apron* mengurangi tekanan air terjunan pada lantai.
- Mengubah jenis aliran air yaitu aliran yang meluncur menjadi mengalir.

Ketebalan *apron* dapat dihitung dengan rumus empiris sebagai berikut:

$$t = 0,1 \cdot (0,6 H + 3 h_3 - 1)$$

keterangan : t = tebal *apron* (m)

H = tinggi *main dam* (m)

h_3 = tinggi air diatas peluap *main dam* (m)

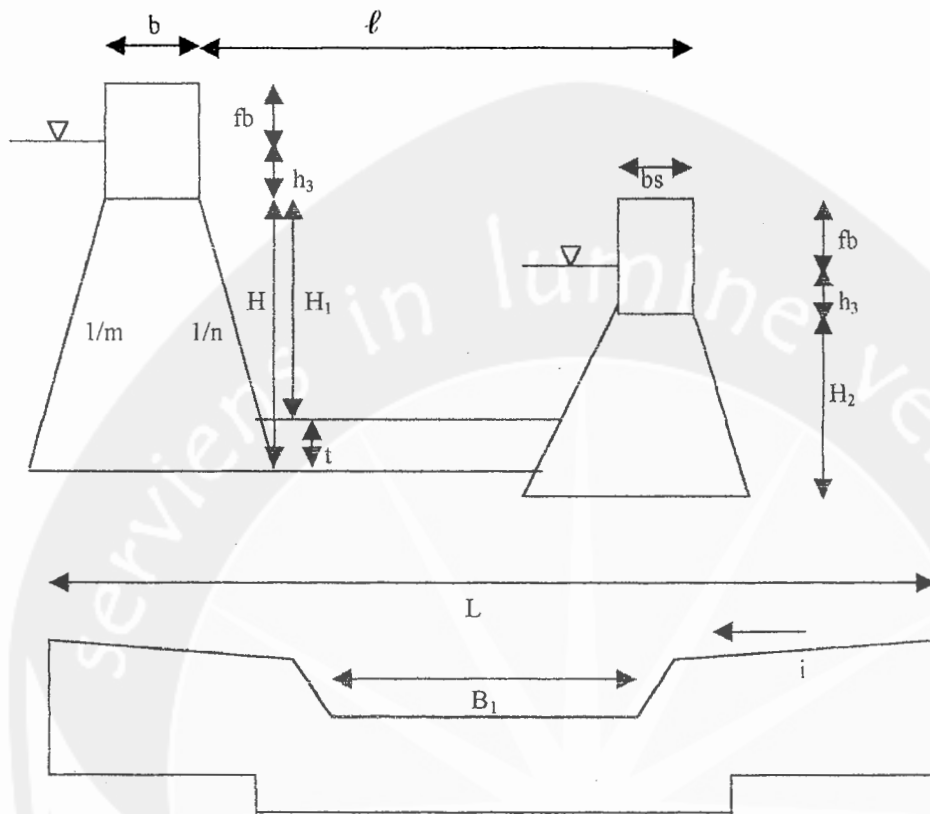
7. Perancangan fasilitas lain

Perancangan fasilitas lain yang akan dibahas di bawah ini adalah lubang-lubang pada *main dam* (*drip hole*). Tujuan dari penempatan lubang-lubang ini adalah:

- a. Untuk mengurangi tekanan rembesan yang terjadi pada tubuh dam setelah bagian hulu dam terisi sedimen.
- b. Dapat untuk menggantikan saluran pengelak sementara pada dam yang sedang pada taraf pembangunan.
- c. Untuk mengendalikan sedimen.

Untuk menjaga agar tampungan tetap kosong, puncak aliran sedimen harus ditahan untuk sementara waktu. Selama pengaliran rendah, sedimen yang tertahan selanjutnya diharapkan untuk dapat mengalir melalui *drip hole*. Pada kondisi seperti ini *drip hole* harus dirancang lebih besar dari kondisi umumnya. Umumnya lebar *drip hole* berkisar antara 0,5 – 1 m.

Selain itu fungsi *drip hole* adalah untuk menjaga keseimbangan sedimen yang dibawa oleh aliran air sungai karena kemampuan air membawa sedimen sehingga tidak menimbulkan gerusan dibagian hilir sungai.



Gambar 14. Tipikal dam penahan sedimen

Keterangan:

1. H = Tinggi main dam
2. h_3 = Tinggi air diatas peluap
3. b = Tebal puncak main dam
4. t = Tebal apron
5. H_1 = Tinggi dari muka lantai sampai mercu main dam
6. fb = Tinggi jagaan

7. b_s = Lebar puncak *sub dam*
8. ℓ = Jarak antara *main dam* dengan *sub dam*
9. H_2 = Tinggi *sub dam*
10. L = Bentang saluran peluap *main dam*
11. B_1 = Lebar peluap *main dam*

◆ Semua satuan keterangan dalam m

2.2.8. Kanalisasi

Secara umum kanalisasi dapat didefinisikan sebagai suatu saluran yang dibuat manusia yang terdiri dari perkuatan tebing dan *groundsill* dengan tujuan untuk mencegah erosi dan sedimentasi yang disebabkan oleh aliran air pada sungai melalui kaki gunung yang sebagian besar terdiri dari kerucut aluvial.

Tujuan dari pembuatan kanalisasi adalah sebagai berikut:

- ◆ Mencegah terjadinya gerusan atau pengendapan pada dasar sungai.
- ◆ Mengatur arah aliran air.
- ◆ Menghindari terjadinya produksi sedimen dari tebing sungai yang disebabkan oleh gaya-gaya erosi dari aliran air.
- ◆ Mengalirkan air banjir kehilir secara teratur.

Kemiringan ekilibrium statik dari dasar sungai ialah kemiringan dasar sungai dimana tidak terjadi erosi atau tanpa kandungan sedimen. Dasar sungai yang terbentuk akibat konsentrasi sedimen yang tinggi disebut kemiringan seimbang dinamis. Dengan rumus Brown dapat dihitung berapa besar kemiringan seimbang dinamis dasar sungai dengan anggapan bahwa debit sedimen yang mengalir dari hulu mempunyai konsentrasi

sedimen yang konstan. Dari hasil percobaan laboratorium oleh Dr. Iwagaki diperkenalkan rumus berikut:

$$d_{50} \geq 0,303 \text{ cm} \quad ; \quad U^*c = 80,9 d_{50}$$

$$0,118 \leq d_{50} < 0,303 \text{ cm} \quad ; \quad U^*c = 134,6 d_{50}^{31/22}$$

$$0,0565 \leq d_{50} < 0,118 \text{ cm} \quad ; \quad U^*c = 55 d_{50}$$

$$0,0065 \leq d_{50} < 0,0565 \text{ cm} \quad ; \quad U^*c = 8,41 d_{50}$$

$$d_{50} \leq 0,0065 \text{ cm} \quad ; \quad U^*c = 226 d_{50}$$

Untuk kondisi kemiringan seimbang statis:

$$U^*2 = U^*2c$$

$$gRI_s = U^*2c$$

$$\text{Rumus Manning : } V = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot I_s^{1/2}$$

$$Q = A \cdot V \quad , \text{ dengan asumsi } R = h \rightarrow B > 10h$$

Setelah dilakukan substitusi untuk $0,118 \leq d_{50} < 0,303 \text{ cm}$,dihasilkan rumus berikut :

$$I_s = \frac{134,6 \cdot d_{50}^{31/22}}{g \cdot R} = \frac{134,6 \cdot d_{50}^{31/22}}{g \cdot ((n \cdot Q) / (3,706 \cdot B \cdot d_{50}^{0,705}))^{6/4}}$$

Untuk kondisi kemiringan seimbang dinamis, dengan asumsi konsentrasi sedimen

$$q_b/q = 0,005:$$

$$\frac{q_b}{U^*} = 10 \left\{ \frac{U^*2}{(\rho_s - \rho_w) \cdot g \cdot d_{50}} \right\}^2$$

$$U^* = gRI_d$$

Setelah dilakukan substitusi, dihasilkan rumus berikut :

$$I_d = \left\{ \frac{0,005 \cdot q \cdot (\rho_s - \rho_w)^2 \cdot d_{50}}{10 \cdot g^{1/2} (n \cdot q)^{3/2}} \right\}^{4/7}$$

Keterangan :

I_d = kemiringan seimbang dinamis

I_s = kemiringan seimbang statis

d_{50} = diameter (mm)

g = percepatan gravitasi (m /det²)

R = jari-jari penampang basah sungai (m)

B = lebar sungai (m)

n = koefisien kekasaran Manning

Q = debit aliran (m³ /det)

q_b = debit angkutan muatan dasar (m³ /det)

q = debit aliran per meter lebar (m³ /det)

λ = void ratio (0,4)

U^* = kecepatan geser (m/det)

h = kedalaman air (m)

c = nilai Chezy

Elevasi dasar perkuatan tebing dan *groundsill* ditentukan berdasarkan kemiringan

ekilibrium statik dan dinamis yaitu kemiringan rencana (I_p) harus: $I_s < I_p < I_d$

Untuk merencanakan penampang melintang kanalisasi lebar rencana harus ditentukan tidak kurang dari lebar pada kondisi sekarang dengan mempertimbangkan lebar alur sungai sekarang.

Membuat lebar sungai lebih sempit tidak hanya mengakibatkan kerusakan dan tidak berfungsinya sungai dengan baik, tetapi juga bisa menimbulkan kerusakan bangunan karena kedalaman air banjir bertambah.

Penampang ganda jika dibuat pada alur sungai sedemikian lebar sehingga dapat menimbulkan aliran yang tidak terkendali dan sedimentasi yang berlebihan.

Lebar sungai dapat diestimasi dengan rumus Regim dengan tabel. 2 diatas.

$$B = \alpha \cdot Q^{0,5}$$

Keterangan:

B = lebar sungai (m)

Q = debit aliran sungai (m³ /det)

α = koefisien (lihat tabel. 2)

Pada umumnya kanalisasi dilaksanakan pada sungai dengan kemiringan dasar yang curam, sehingga aliran dapat dianggap seragam.

Kecepatan aliran dapat dicari dengan rumus Manning.

$$V = (1/n) \cdot R^{1/3} \cdot I^{1/2}$$

Keterangan:

V = kecepatan aliran rata-rata (m/det)

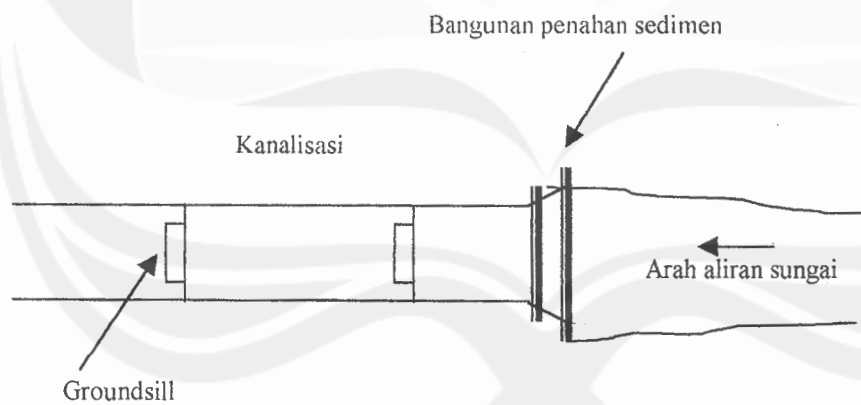
R = jari-jari hidraulik (m)

I = kemiringan saluran

n = koefisien kekasaran Manning

Tabel 3. Daftar kekasaran Manning

Sifat sungai	n
- Sungai curam	0,03 ~ 0,05
- Sungai lebar dan dangkal	0,035 ~ 0,045
- Sungai dengan perkuatan tebing dari beton pada kedua sisinya dan dasarnya dari tanah atau beton	0,025



Gambar 15. Kanalisasi