

## Perencanaan Sipil

À

• Saluran penghantar (head race)

Saluran penghantar berfungsi untuk mengalirkan air dari intake sampai ke bak penenang. Perencanaan

• Nilai ekonomis yang tinggi

• Efisiensi fungsi

• Aman terhadap tinjauan teknis

• Mudah pengerjaannya

• Mudah pemeliharaannya

• Struktur bangunan yang memadai

• Kehilangan tinggi tekan (head losses) yang kecil

## Perencanaan hidrolis

Dimensi saluran dihitung menggunakan formula untuk perhitungan aliran seragam (uniform flow) pada s

## 1. Kecepatan aliran

Kecepatan aliran pada saluran penghantar direncanakan sedemikian rupa untuk mencegah sedimentasi

Kecepatan aliran yang diijinkan pada perencanaan ini adalah :

• Kecepatan maksimum

:

2 m/det, saluran pasangan batu tanpa plesteran

• Kecepatan minimum

:

0.3 m/det, saluran pasangan batu plesteran

0.5 m/det, saluran tanpa pasangan/plesteran

Kecepatan rata aliran yang diijinkan pada perencanaan ini berkisar 0.5 - 0.7 m/det.

Table 15.1 Perhitungan Saluran Pembawa, Flow Pro 2

U-SHAPED CHANNEL

SI Units

U-shaped Channel

**Discharge**

**Diameter**

**Manning's n**

**Slope**

**Control Depth**

0.75

1.2

0.012

0.001

1,000

**Normal Depth**

**XSee Area**

**Crit. Depth**

**XSec Area**

**Flow Type**

0,546

0,656

0,342

0,410

Subcritical

**Distance**

**Depth**

**Energy**

**Area**

**Velocity**

36,900

0,970

0,991

1,164

0,644

74,486

0,940

0,962

1,128

0,665

112,876

0,909

0,934

1,091

0,687

150,000

0,881

0,907

1,057

0,709

• Bak penenang dan pengendap (head tank)

Konstruksi bak penenang dalam perencanaan ini adalah sebagaimana ditampilkan pada gambar 5.4. Perhitungan dimensi bak penenang dilakukan dengan beberapa kriteria, yaitu :

• Volume bak 10 - 20 kali debit yang masuk untuk menjamin aliran steady di pipa pesat dan mampu meredam tekanan balik pada saat penutupan aliran di pipa pesat.

• Bak penenang direncanakan dengan menetapkan kecepatan vertikal partikel sedimer 0.03 m/det.

• Pipa pesat ditempatkan 15 cm di atas dasar bak penenang untuk menghindarkan masuknya batu atau benda-benda yang tidak diijinkan terbawa memasuki turbin, karena berpotensi merusak runner turbin.

• Pipa pesat ditempatkan pada jarak minimum  $4 \times D$  (diameter pipa pesat) dari muka air untuk menjamin tidak terjadi turbulensi dan pusaran yang memungkinkan masuknya udara

bersama aliran air di dalam pipa pesat

• Bak penenang dilengkapi trash rack untuk mencegah sampah dan benda-benda yang tidak diinginkan memasuki pipa pesat bersama aliran air.

• Pipa penguras ditempatkan di bak pengendap dan bak penenang sebagai kelengkapan untuk perawatan (pembuangan endapan sedimen).

• Bak penenang dilengkapi pelimpas yang direncanakan untuk membuang kelebihan debit pada saat banjir. Bangunan bak penenang dan saluran pembawa direncanakan terjaga ketinggian permukaan pada saat banjir sampai maksimum 25% dari debit desain.

• Konstruksi bak penenang dan pengendap berupa pasangan batu diplester dengan dasar bak berupa cor-an beton tumbuk (tanpa tulangan) kedap air.

• Pipa pesat (penstock)

Pipa pesat (penstock) adalah pipa yang berfungsi untuk mengalirkan air dari bak penenang (forebay tank). Perencanaan pipa pesat mencakup pemilihan material, diameter penstock, tebal dan jenis sambungan (coordination point). Pemilihan material berdasarkan pertimbangan kondisi operasi, aksesibility, berat, sistem penyambungan dan biaya. Diameter pipa pesat dipilih dengan pertimbangan keamanan, kemudahan proses pembuatan, ketersediaan material dan tingkat rugirugi (fiction losses) seminimal mungkin. Ketebalan penstock dipilih untuk menahan tekanan hidrolik dan surge pressure yang dapat terjadi.

• Pemilihan pipa pesat

Data dan asumsi awal perhitungan pipa pesat:



Material pipa pesat menggunakan plat baja diroll dan dilas (welded rolled steel. Hat ini dipilih sebagai alternatif terbaik untuk mendaotkan biaya terkecil. Material yang digunakan adalah mild steel (St 37) dengan kekuatan cukup.

Head losses pada sistem pemipaan (penstock) diasumsikan sekitar 4% terhadap head gross.

Diameter pipa pesat

Diameter minimum pipa pesat dapat dihitung dengan persamaan

$$D = (10.3 n^2 Q^2 L / hf)^{0.1875}$$

Di mana:

$n$  = koefisien kekasaran (roughness) untuk welded steel, 0.012

$Q$  = debit desain sebesar  $m^3/S$

$L$  = panjang penstock, m

$H$  = tinggi jatuhan air (gross head), m

Tabel 5. 2 Material Pipa Pesat

Material	Young's modulus
----------	-----------------

of elasticity	
E (N/m <sup>2</sup> )E9	linear expansion
a (n/m QC)E6	Ultimate
tensile strength	
(N/m <sup>2</sup> )E6	N

Weleded steel

206

12

400

0.012

Polyethylene

0.55

140

5

0.009

Polyvinyl chloride (PVC)

2.75

54

13

3,009

Asbestos cement

n.a

8.1

na

0.011

Cast iron

78.5

10

140

0.014

Dutiie iron

16,7

11

340

0.015

â€¢Â Tebal plat

Perhitungan tebal plat dapat menggunakan persamaan

$$t_p = (P_i \cdot D / 2sf \cdot K_f) + t_s$$

dimana :

$t_s$  = adalah penambahan ketebalan pipa untuk faktor korosi

$P_1$  = tekanan hidrostatik, kN/m<sup>2</sup>

$D$  = diameter dalam pipa

$K_f$  = faktor pengelasan sebesar 0.9 untuk pengelasan dengan inspeksi x-ray faktor pengelasan sebesar 0.8 untuk pengelasan biasa

$sf$  = desaintegangan pipa yang diijinkan

Pendekatan paling sederhana menggunakan rekomendasi ASME untuk tebal penstock minimum (mm) adalah 2,5 kali diameter pipa (m) di tambah 1,2 mm.

$$t_{\min} = 2.5D + 1.2 \text{ mm}$$

Rekomendasi lain adalah

$$t_{\min} = (D + 508) / 1400$$

## • Waterhammer

Pada saat penutupan inlet valve dapat terjadi tekanan gelombang aliran air di dalam pipa yang dikenal sebagai waterhammer. Tekanan baik akibat tertahannya aliran air oleh penutupan katup akan berinteraksi dengan tekanan air yang menuju inlet valve sehingga terjadi tekanan tinggi yang dapat merusak penstock. Besarnya tekanan tersebut dipengaruhi oleh faktor

• Kecepatan gelombang tekanan ( *pressure wave speed* ),  $c$  yang besarnya

$$C = \left[ \frac{10^{-3} K}{1 + KD/Et} \right]^{0.5}$$

Dimana :

$K$  = modulus bulk air,  $2.1 \times 10^9$  N/m<sup>2</sup>

$E$  = modulus elastik material, untuk welded steel  $2.1 \times 10^{11}$  N/m<sup>2</sup>

$D$  = diameter pipa (mm)

$t$  = tebal pipa (mm)

• Surge pressure pada pipa,  $P_s$  (m kolom air)

$$P_s = c \cdot V/g$$

di mana :

$V = \text{kecepatan aliran air didalam pipa adalah } 4Q / \pi D^2$

$g = \text{percepatan gravitasi m/det}^2$

Tekanan total (tekanan kritis) di dalam pipa adalah sebesar,  $P_c$ :

$$P_c = P_o + P_s$$

$$= (0.96 H_{\text{gross}}) + P_s$$

dimana  $P_o$  adalah tekanan hidrostatik dalam pipa dengan asumsi headloss 4% Sementara itu tegangan yang terjadi pada dinding pipa adalah

$$s = P_c \cdot D / 2 \cdot t$$

Tegangan pada dinding pipa tersebut dibandingkan dengan kekuatan tarik material dan tegangan yang diijinkan. Apabila tegangan pada dinding pipa lebih besar maka penentuan diameter dan ketebalan pipa diulang (iterasi) sampai diperoleh kondisi yang aman. Perhitungan rinci kekuatan dan keamanan pipa dilampirkan pada setiap lokasi rencana pengembangan PLTMH.

• Tumpuan pipa pesat (saddles support)

Tumpuan pipa pesat, baik pondasi anchor block, saddle support, berfungsi untuk mengikat dan

menahan penstock. Jarak antar tumpuan (L) ditentukan oleh besarnya defleksi maksimum penstock yang diijinkan. Jarak maksimum dudukan pondasi penstock dapat dihitung dengan formula:

$$L = 182.61 \times \left\{ \frac{(D + 0.0147)^4 - D^4}{p} \right\}^{0.333}$$

Dimana.

D = diameter dalam penstock (m)

P = berat satuan dalam keadaan penuh berisi air (kg/m).

Berat satuan pipa pesat dihitung dengan formula

$$W_{\text{pipa}} = \frac{\pi}{4} D^2 t \times \rho_{\text{baja}}$$

Di mana

W pipa = kg 1 m pipa pesat

D = diameter pipa, m

t = tebal pipa, m



$\rho_{\text{baja}} = 7860 \text{ kg/M}^3$

Berat air di dalam pipa dihitung sebesar:

Di mana:

$W_{\text{air}} = \text{kg 1 m pipa pesat}$

$D = \text{diameter pipa, m}$

$l = \text{panjang pipa satuan, 1 m}$

$\rho_{\text{air}} = 1000 \text{ kg/m}^3$

$W_{\text{air}} = 0.25\pi D^2 \times l \times \rho_{\text{air}}$

Berat satuan pipa berisi penuh air adalah,  $P = W_{\text{pipa}} + W_{\text{air}}$ . Pada perencanaan

PLTMH ini, jarak antar tumpuan pipa pesat rata-rata adalah 4 m,

∆Rugi-rugi head (Head Losses).

Rugi-rugi head (head losses) diberikan oleh flaktor:

• Kerugian karena gesekan saat aliran air melewati trashrack

• Kerugian gesekan aliran fluida di dalam pipa

• Kerugian karena turbulensi aliran yang dipengaruhi belokan, bukaan katup, perubahan penampang aliran

Reduksi head losses dapat dilakukan dengan cara :

• Penggunaan diameter pipa yang lebih besar (harus mempertimbangkan biaya)

• Mengurangi belokan pada penstock dan pemilihan dimensi yang terbaik untuk mendapatkan rugi-rugi yang kecil.

Besarnya rugi-rugi pada pipa pesat terdiri dari:

Rugi-rugi karena gesekan selama aliran didalam pipa,  $h_{friction}$

$$h_{friction} = f \cdot L \cdot V^2 / 2 \cdot g \cdot D$$

Di mana ;

$f$  = koefisien gesekan berdasarkan diagram Moody, bilangan Reynolds dan koefisien kekasaran material

L = panjang penstock, m

V = kecepatan rata-rata, m/det

G = percepatan gravitasi, m/det<sup>2</sup>

D = diameter pipa pesat, m

Persamaan empiris lainnya yang dapat digunakan untuk menghitung rugi-rugi gesekan ini adalah:

$$(H_f \text{ 1 } L) = 10.29 n^2 Q^{21} D^5 .333$$

dimana:

H<sub>f</sub> head losses karena gesekan aliran di dalam pipa, m L panjang pipa, m n koefisien kekasaran Manning, 0.012 untuk material welded steel Q debit, m<sup>3</sup>/s

D diameter penstock, m

Kerugian karena gesekan pada aliran melalui trashrack dapat dihitung dengan formula Kirchner sebagai berikut

$t \text{ pr}27\text{sin lb } 2g$

dimana ;

$K_t$  = koefisien gesekan bentuk pelat trashrack

$t$  = tebal plat trashrack

$b$  = jarak antar plat trashrack

$V_o$  = kecepatan aliran air

$g$  = percepatan gravitasi

$\theta$  = sudut jatuhnya trashrack dengan horisontal

Kerugian karena turbulensi,  $H_l$

$H_l$  total.  $V^2 / 2g$

Di mana, koefisien losses,  $\sum K$  total besarnya adalah

$\sum K$  total = Onlet loss +  $\sum K$  belokantelbow +  $\sum K$  inlet valve +  $\sum K$  reducer/difusor +  $\sum K$  draftLube

Berdasarkan perhitungan menggunakan form. ula-formula di atas, maka pada perencanaan PLTM ini ukuran pipa pesat distandarisasi untuk memudahkan aplikasi di lapangan,

sebagaimana dapat dilihat di tabel 5.3. Diameter standar pipa dibuat dari plat ukuran 120 cm x 240 cm yang diroll dan dilas.

Tabel 5.3 Standard Penggunaan Pipa Pesat

Tabel 5.6 Koefisien, Kekasaran Manning beberapa material Penstock

Wdded~1 pc~yiem (M) PVC Adx~c~nt 0~kw cam hw V~--(m,vi) CweffiM, ~ f~ m~ 1~)

(1. 01 2\_ TWO 0." (1.011 (1,015 0.014: (1.012