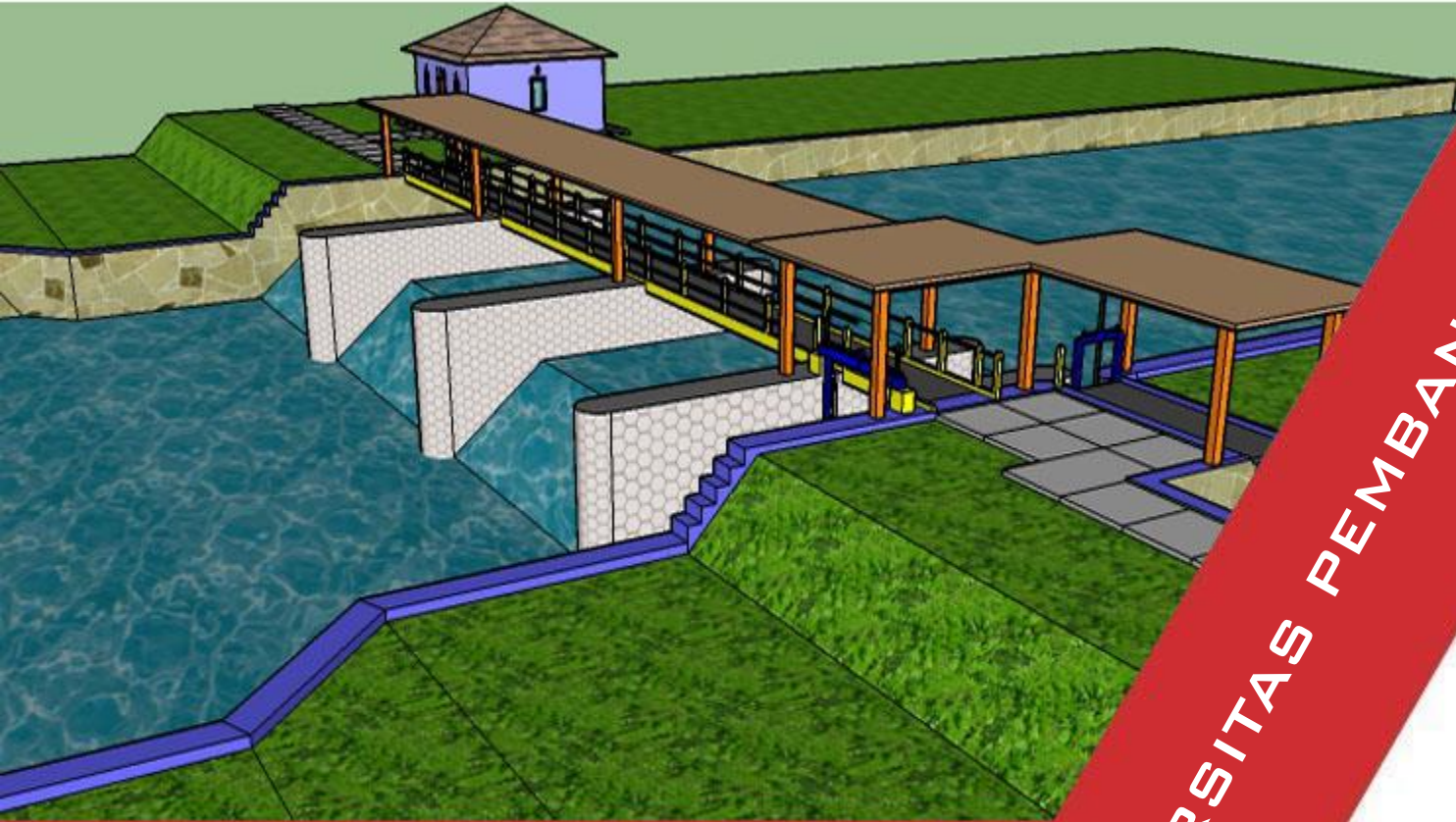


Pertemuan ke-6

## TENAGA AIR

CIV-407



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

Rizka Arbaningrum, ST., MT

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN JAYA



# TERJUN



# TENAGA AIR (CIV 407)

Rizka Arbaningrum, ST., MT

## Rencana Pembelajaran Semester (RPS)

1. Pendahuluan & Sejarah Tenaga Air
2. Skema Pembangkit Listrik Tenaga Air
3. PLTA Dengan Waduk
4. PLTA Aliran Sungai
5. Dasar Debit Tenaga Air
6. Terjun
7. Diagram Muatan Harian
- 8. UTS**
9. Menghitung Volume Kolam Tahunan
10. Garis Masa Debit
11. Beberapa Tipe Bendungan
12. Turbin Air
13. Hubungan Kolam Tandon Harian dan Turbin
14. Pipa Pesat
15. Pipa Lepas
- 16. UAS**



## Pokok Bahasan Terjun dan Jalan Air

1. Terjun
2. Kehilangan Energi
3. Kehilangan energi primer
4. Kehilangan energi sekunder
5. Trashrack
6. Inlet penstock
7. Belokan
8. Outlet penstock
9. Surge Tank



# TENAGA AIR (CIV 407)

Rizka Arbaningrum, ST., MT

BAB VI

## TERJUN

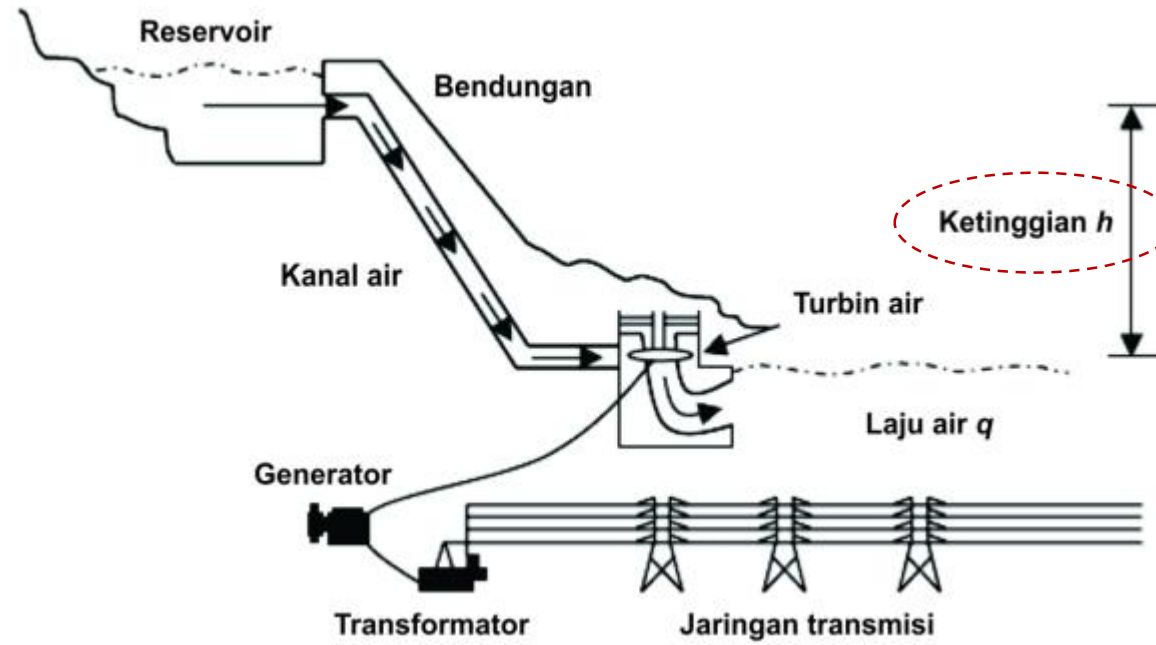
### TERJUN/ KETINGGIAN (HEAD)

- **Terjun Rencana**

Terjun rencana adalah terjun bersih yang telah direncanakan pada efisiensi terbaik.

- **Terjun Terukur**

Terjun bersih pada saat turbin dengan pintu terbuka penuh (full gate point) akan memberikan rated capacity dari generator dalam kilowatt.



### POKOK BAHASAN

1. **Terjun**
2. Kehilangan Energi
3. Kehilangan energi primer
4. Kehilangan energi sekunder
5. Trashrack
6. Inlet penstock
7. Belokan
8. Outlet penstock
9. Surge Tank



# TENAGA AIR (CIV 407)

Rizka Arbaningrum, ST., MT

BAB VI

## TERJUN

### CONTOH

Proyek PLTA Asahan mempunyai :

Efisiensi generator sebesar =60 %

Terjun  $H_{eff} = 800$  m

Debit air =  $15 \text{ m}^3/\text{d}$

Dengan data ini kita dapat memanfaatkan berapa energi yang dijual sebagai tenaga listrik.

$$\begin{aligned} E &= 9,81 Q H \eta T \\ &= 9,81 \times 15 \times 800 \times 0,6 \times 360 \\ &= 25.427.520 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Diperkirakan harga listrik tiap kWh = Rp 1.200,00

Maka jumlah listrik yang terjual

$$= \text{Rp } 1.200,00 \times 25.427.520$$

$$= 30.513.024.000 \text{ Milyar tiap tahun}$$

### POKOK BAHASAN

1. **Terjun**
2. Kehilangan Energi
3. Kehilangan energi primer
4. Kehilangan energi sekunder
5. Trashrack
6. Inlet penstock
7. Belokan
8. Outlet penstock
9. Surge Tank



# TENAGA AIR (CIV 407)

Rizka Arbaningrum, ST., MT

BAB VI

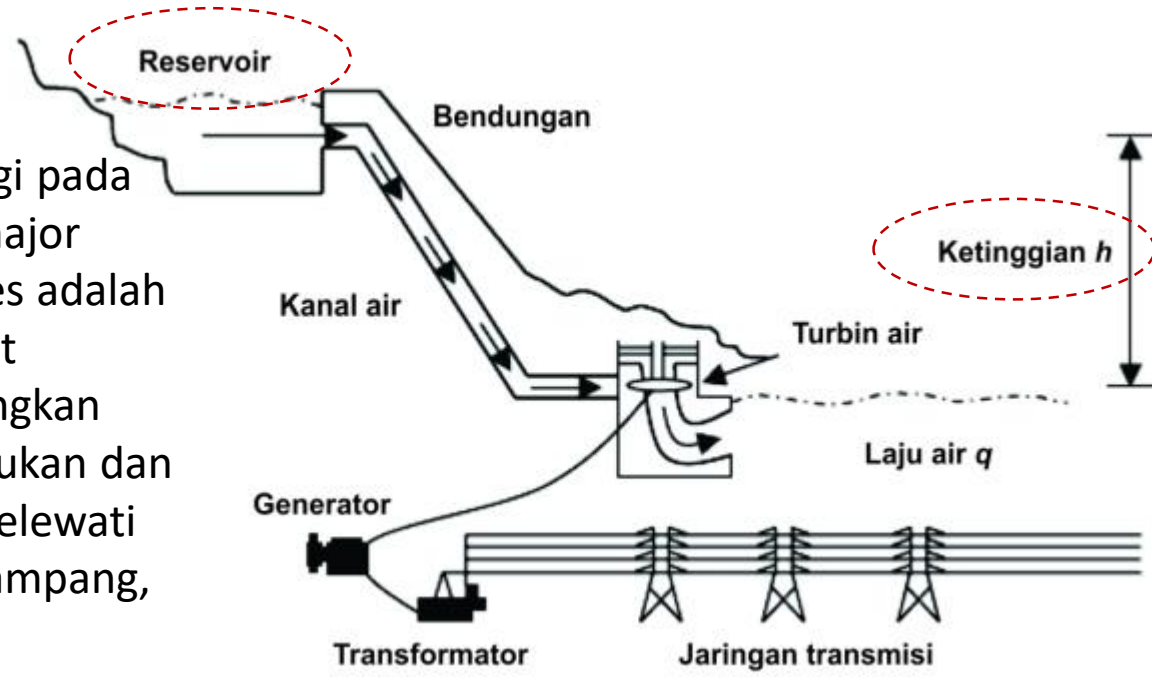
## TERJUN

### POKOK BAHASAN

1. Terjun
2. **Kehilangan Energi**
3. Kehilangan energi primer
4. Kehilangan energi sekunder
5. Trashrack
6. Inlet penstock
7. Belokan
8. Outlet penstock
9. Surge Tank

PIPA → TERJUN/HEAD  
RESERVOIR/WADUK → DEBIT

Terjadi dua macam kehilangan energi pada saluran tertutup (penstock), yaitu major losses dan minor losses. Major losses adalah kehilangan energi yang timbul akibat gesekan dengan dinding pipa. Sedangkan minor losses diakibatkan oleh tumbukan dan turbulensi, misal terjadi pada saat melewati kisi-kisi (trashrack), perubahan penampang, belokan dan lain-lain.



$$H_{eff} = H - \Sigma H_f \rightarrow \Sigma H_f = \text{kehilangan energi} \\ = H_f + H_k$$

$H_f$  = kehilangan energi akibat gesekan pada pipa → Kehilangan energi primer

$H_k$  = kehilangan energi akibat adanya lubang/kisi → Kehilangan energi sekunder

$$H_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$$H_k = K \frac{V^2}{2g}$$

$V$  : kecepatan aliran;  
 $L$  : panjang pipa;  
 $g$  : percepatan gravitasi;  
 $D$  : diameter pipa.





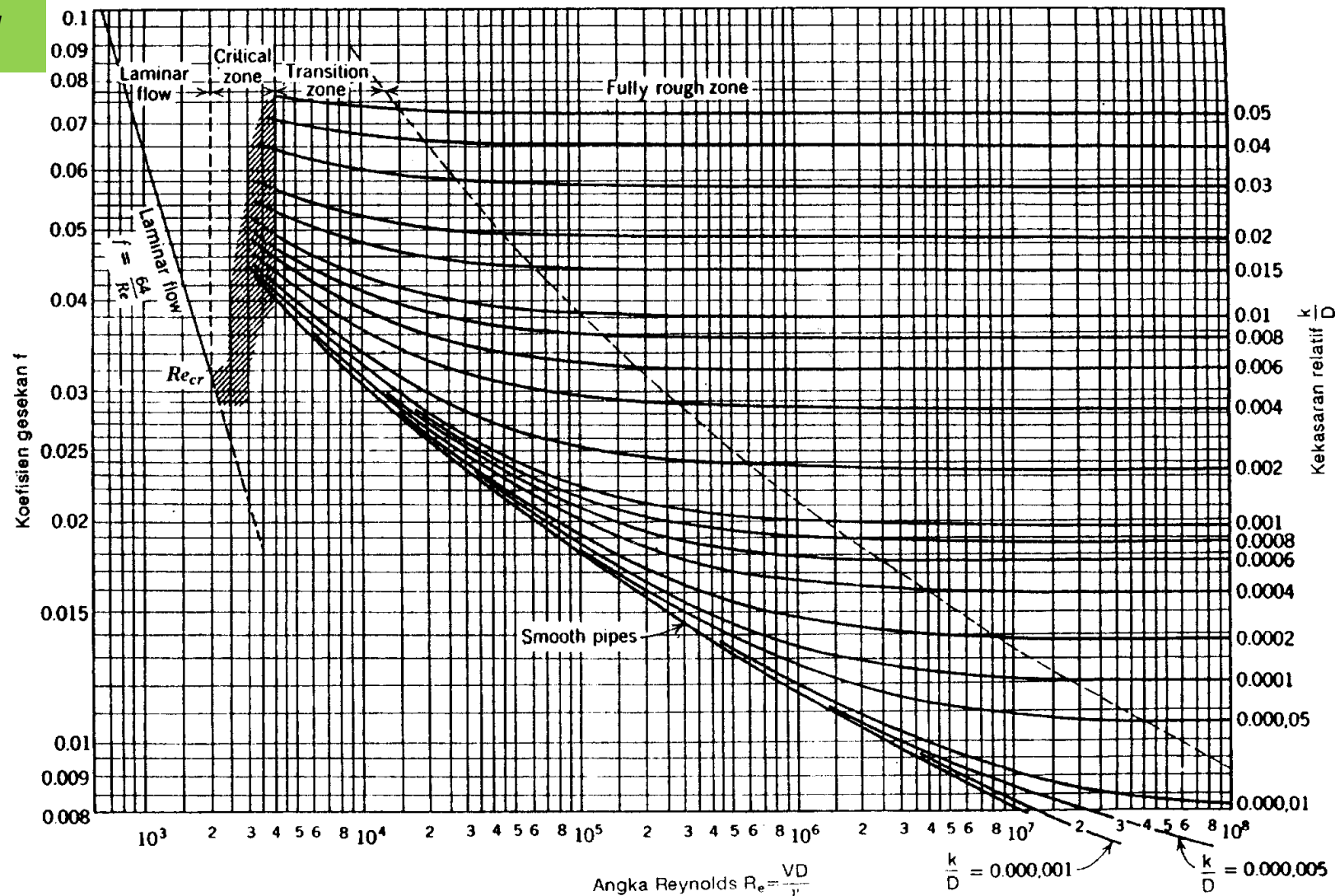
# TENAGA AIR (CIV 407)

Rizka Arbaningrum, ST., MT

BAB VI

## TERJUN

$$H_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$



### POKOK BAHASAN

1. Terjun
2. Kehilangan Energi
3. **Kehilangan energi primer**
4. Kehilangan energi sekunder
5. Trashrack
6. Inlet penstock
7. Belokan
8. Outlet penstock
9. Surge Tank



# TENAGA AIR (CIV 407)

Rizka Arbaningrum, ST., MT

BAB VI

## TERJUN

$$H_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Beberapa nilai kekasaran pipa ( $k$ ) dapat dilihat pada tabel di bawah.

Angka Reynolds mempunyai bentuk:

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

Dengan:

$V$  : kecepatan aliran

$D$  : diameter pipa

$\nu$  : kekentalan kinematik

| Jenis pipa (baru)    | Nilai $k$ (mm) |
|----------------------|----------------|
| ■ Kaca               | 0,0015         |
| ■ Besi dilapis aspal | 0,06 – 0,24    |
| ■ Besi tuang         | 0,18 – 0,90    |
| ■ Plester semen      | 0,27 – 1,20    |
| ■ Beton              | 0,30 – 3,00    |
| ■ Baja               | 0,03 – 0,09    |
| ■ Baja dikeling      | 0,90 – 9,00    |
| ■ Pasangan batu      | 6              |

### POKOK BAHASAN

1. Terjun
2. Kehilangan Energi
3. **Kehilangan energi primer**
4. Kehilangan energi sekunder
5. Trashrack
6. Inlet penstock
7. Belokan
8. Outlet penstock
9. Surge Tank





# TENAGA AIR (CIV 407)

Rizka Arbaningrum, ST., MT

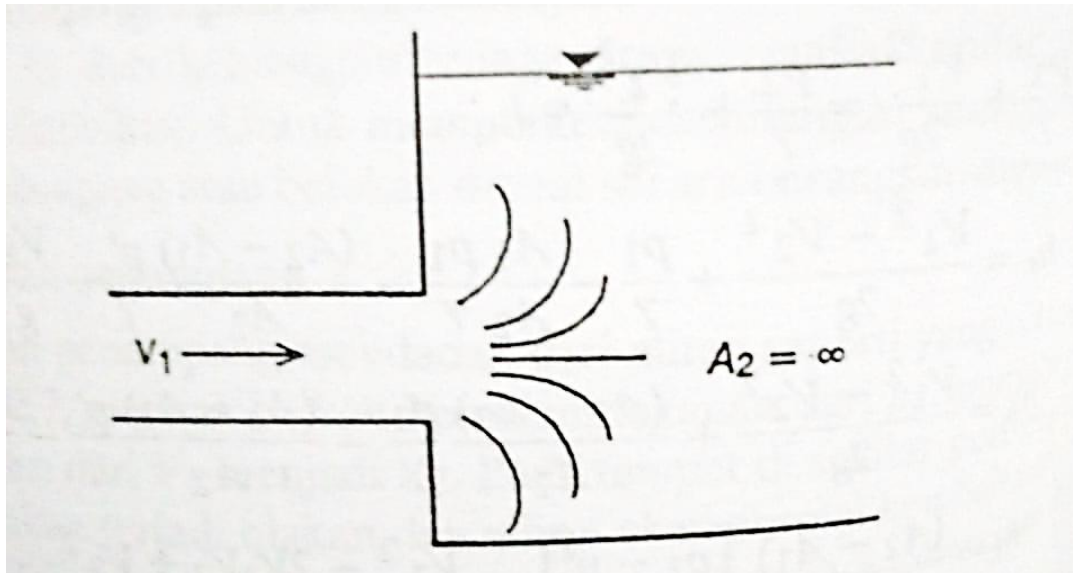
BAB VI

## TERJUN

$$H_k = K \frac{V^2}{2g}$$

### Pembesaran Penampang

$$K = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \quad \rightarrow \quad h_e = K \frac{V^2}{2g}$$



### POKOK BAHASAN

1. Terjun
2. Kehilangan Energi
3. Kehilangan energi primer
- 4. Kehilangan energi sekunder**
5. Trashrack
6. Inlet penstock
7. Belokan
8. Outlet penstock
9. Surge Tank



# TENAGA AIR (CIV 407)

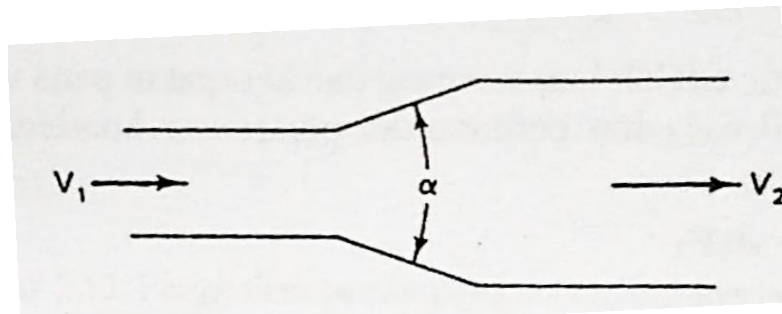
Rizka Arbaningrum, ST., MT

## BAB VI TERJUN DAN JALAN AIR

$$H_k = K \frac{V^2}{2g}$$

### Pembesaran Penampang

$$h_e = K' \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}$$



| $\alpha$ | $10^\circ$ | $20^\circ$ | $30^\circ$ | $40^\circ$ | $50^\circ$ | $60^\circ$ | $75^\circ$ |
|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| $K'$     | 0,078      | 0,31       | 0,49       | 0,60       | 0,67       | 0,72       | 0,72       |

### POKOK BAHASAN

1. Terjun
2. Kehilangan Energi
3. Kehilangan energi primer
- 4. Kehilangan energi sekunder**
5. Trashrack
6. Inlet penstock
7. Belokan
8. Outlet penstock
9. Surge Tank



# TENAGA AIR (CIV 407)

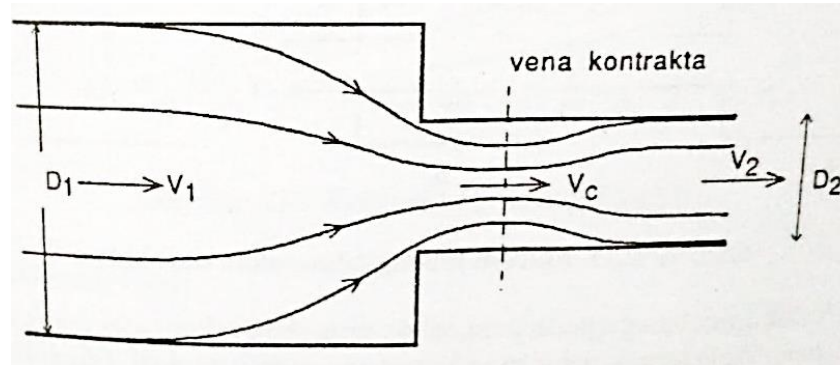
Rizka Arbaningrum, ST., MT

## BAB VI TERJUN DAN JALAN AIR

$$H_k = K \frac{V^2}{2g}$$

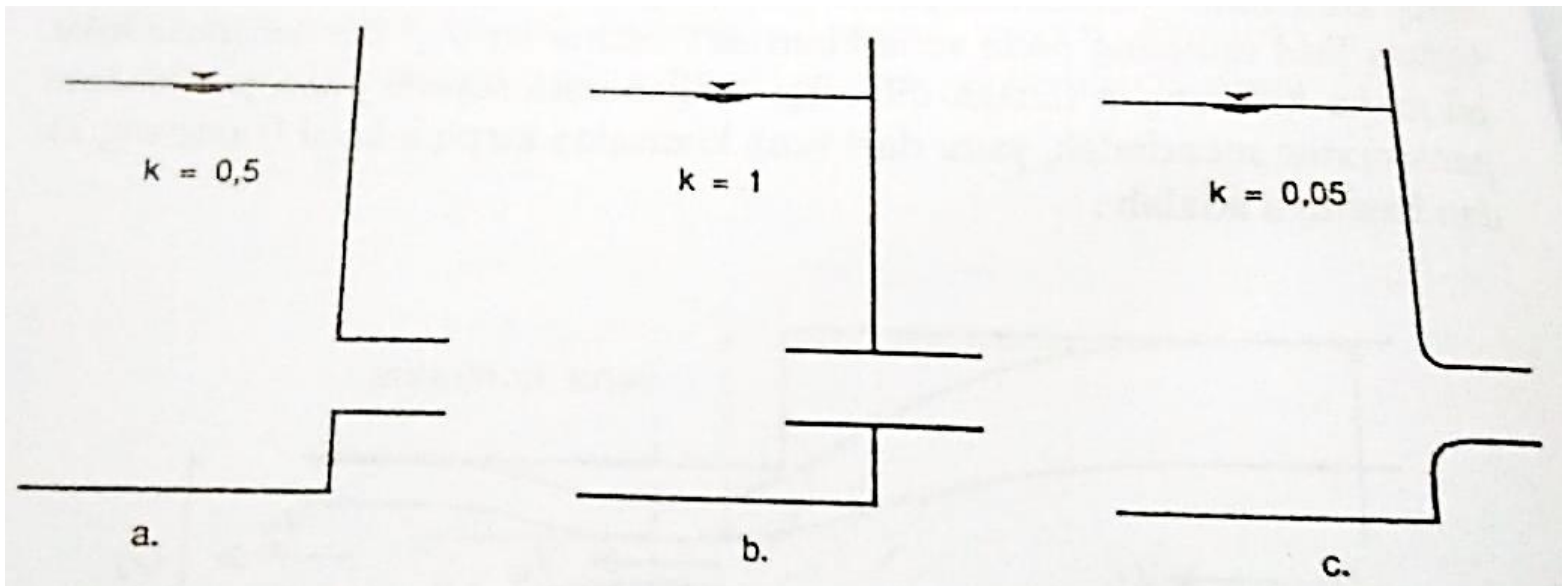
### Pengecilan Penampang

$$h_e = K \frac{V_2^2}{2g}$$



### POKOK BAHASAN

1. Terjun
2. Kehilangan Energi
3. Kehilangan energi primer
4. **Kehilangan energi sekunder**
5. Trashrack
6. Inlet penstock
7. Belokan
8. Outlet penstock
9. Surge Tank





# TENAGA AIR (CIV 407)

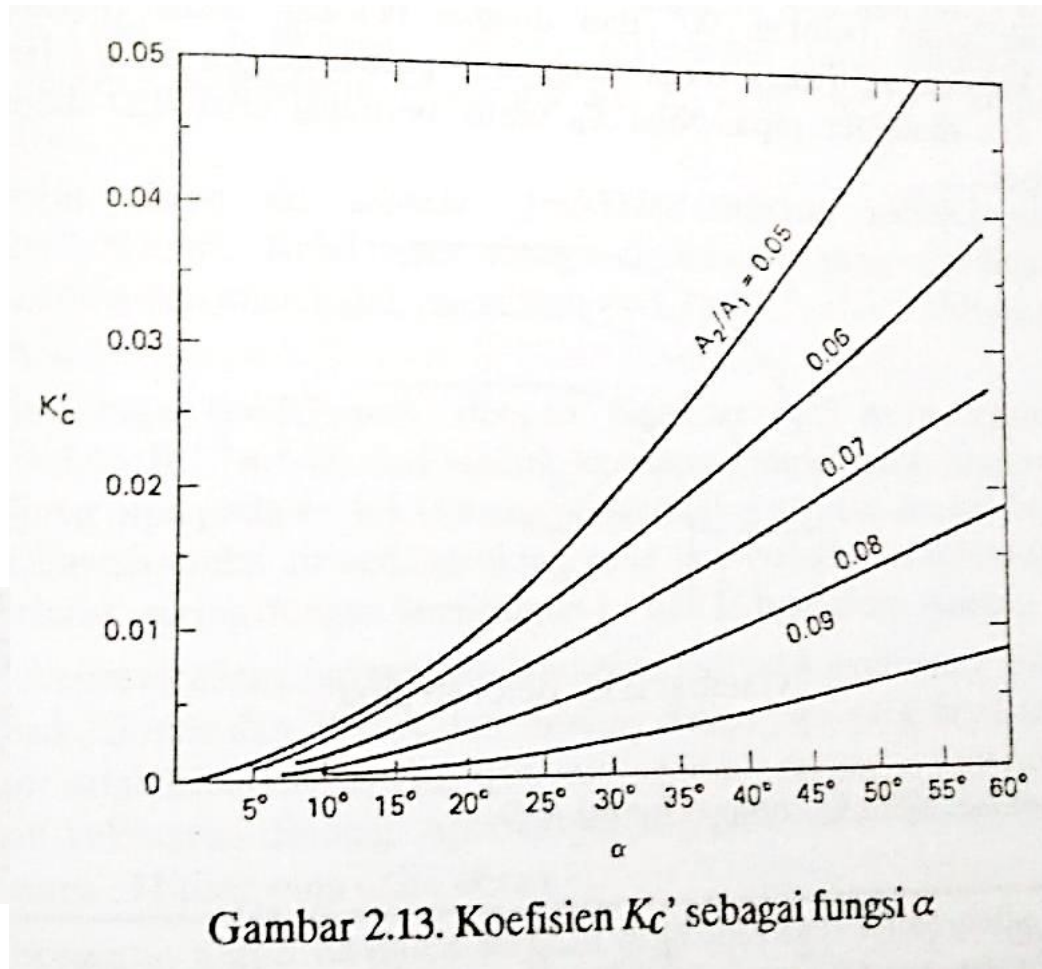
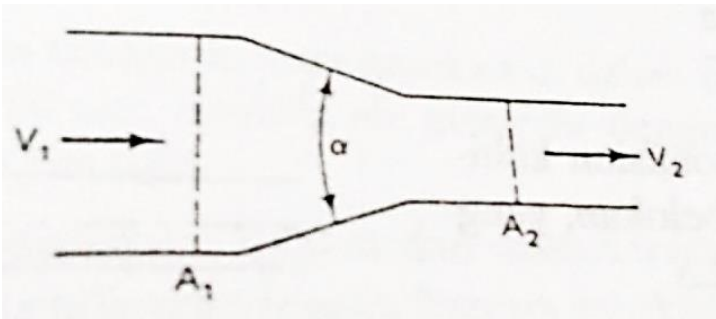
Rizka Arbaningrum, ST., MT

## BAB VI TERJUN DAN JALAN AIR

$$H_k = K \frac{V^2}{2g}$$

### Pengecilan Penampang

$$h_e = K' \frac{V_2^2}{2g}$$



### POKOK BAHASAN

1. Terjun
2. Kehilangan Energi
3. Kehilangan energi primer
- 4. Kehilangan energi sekunder**
5. Trashrack
6. Inlet penstock
7. Belokan
8. Outlet penstock
9. Surge Tank



# TENAGA AIR (CIV 407)

Rizka Arbaningrum, ST., MT

## BAB VI TERJUN DAN JALAN AIR

### TRASRACK/ SARINGAN

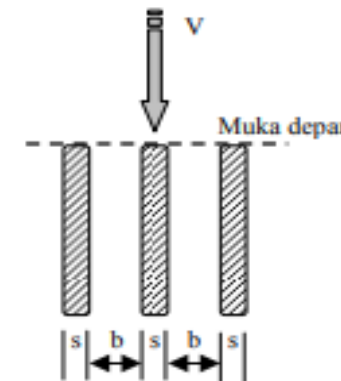
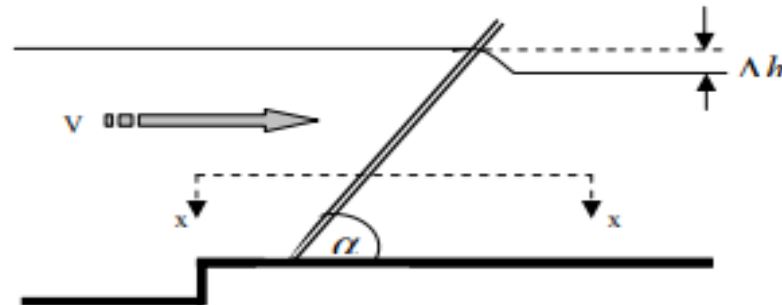
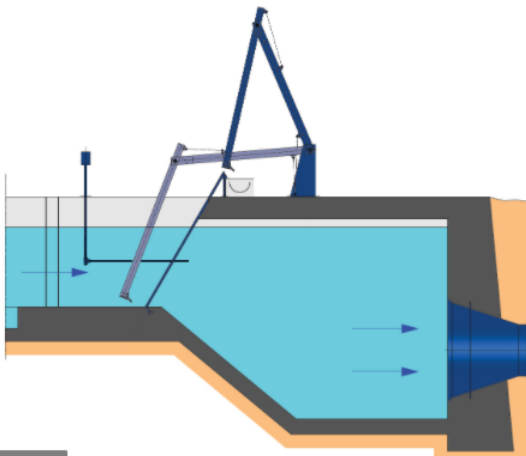
Menurut O. Kirschmer :

$$H_k = \varphi * \left(\frac{s}{b}\right)^{4/3} * \frac{V^2}{2g} * \sin \alpha$$

Tabel Nilai  $\varphi$  pada trashrack

| Profil    | a    | b    | c    | d    | e    | f    | g    |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\varphi$ | 2,42 | 1,83 | 1,67 | 1,03 | 0,92 | 0,76 | 1,79 |

(Sumber : Bangunan Tenaga Air, O.F.Patty)



Potongan x - x

Gambar Potongan Trash Rack

### POKOK BAHASAN

1. Terjun
2. Kehilangan Energi
3. Kehilangan energi primer
4. Kehilangan energi sekunder
5. **Trashrack**
6. Inlet penstock
7. Belokan
8. Outlet penstock
9. Surge Tank



# TENAGA AIR (CIV 407)

Rizka Arbaningrum, ST., MT

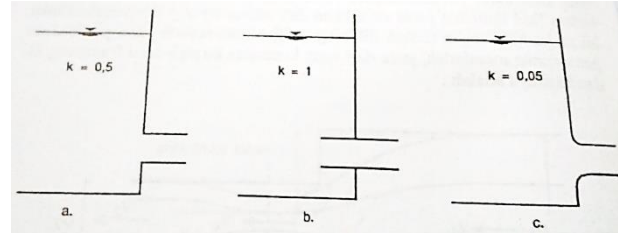
## BAB VI TERJUN DAN JALAN AIR

### INLET PENSTOCK

#### Inlet penstock

$$H_k = k * \frac{V^2}{2g}$$

Dimana :  $k = 0,5$  untuk bentuk persegi / tegak  
 $k = 0,05$  untuk bentuk yang dibulatkan



#### Gesekan Dinding Penstock

$$H_f = f * L * \frac{V^2}{2g} * D$$

Dimana :  $f$  = koefisien gesekan dinding pipa  
(nilai  $f$  didapat dari diagram Moody)

$D$  = diameter pipa

$V$  = kecepatan aliran dalam pipa

### POKOK BAHASAN

1. Terjun
2. Kehilangan Energi
3. Kehilangan energi primer
4. Kehilangan energi sekunder
5. Trashrack
- 6. Inlet penstock**
7. Belokan
8. Outlet penstock
9. Surge Tank





# TENAGA AIR (CIV 407)

Rizka Arbaningrum, ST., MT

## BAB VI TERJUN DAN JALAN AIR

### BELOKAN

$$H_k = K_b \cdot \frac{V^2}{2g}$$

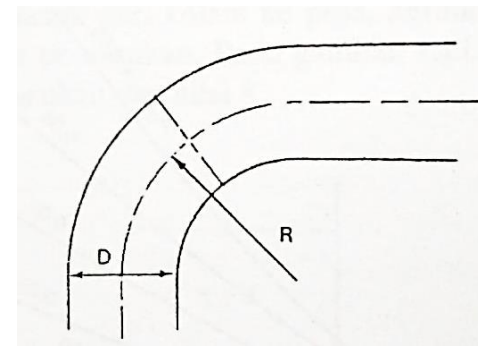
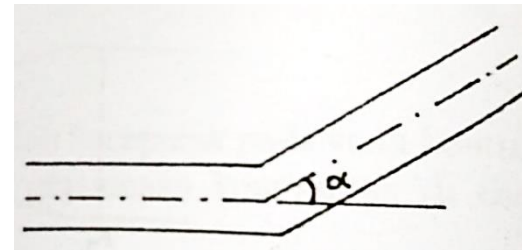
Dimana :

$K_b$  = koefisien kehilangan tenaga karena belokan

$V$  = kecepatan aliran dalam pipa

| $\alpha$ | 20°  | 40°  | 60°  | 80°  | 90°  |
|----------|------|------|------|------|------|
| $K_b$    | 0,05 | 0,14 | 0.36 | 0,74 | 0,98 |

| $R/D$ | 1    | 2    | 4    | 6    | 10   | 16   | 20   |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| $K_b$ | 0.35 | 0.19 | 0.17 | 0.22 | 0.32 | 0.38 | 0.42 |



### POKOK BAHASAN

1. Terjun
2. Kehilangan Energi
3. Kehilangan energi primer
4. Kehilangan energi sekunder
5. Trashrack
6. Inlet penstock
- 7. Belokan**
8. Outlet penstock
9. Surge Tank



# TENAGA AIR (CIV 407)

Rizka Arbaningrum, ST., MT

## BAB VI TERJUN DAN JALAN AIR

### OUTLET PENSTOCK

$$H_k = 1,0 * \frac{V_1^2}{2g}$$

Dimana :

$h_e$  = kehilangan energi

$V$  = kecepatan aliran dalam pipa

$g$  = percepatan gravitasi sebesar  $9,81 \text{ m/s}^2$

### POKOK BAHASAN

1. Terjun
2. Kehilangan Energi
3. Kehilangan energi primer
4. Kehilangan energi sekunder
5. Trashrack
6. Inlet penstock
7. Belokan
- 8. Outlet penstock**
9. Surge Tank



# TENAGA AIR (CIV 407)

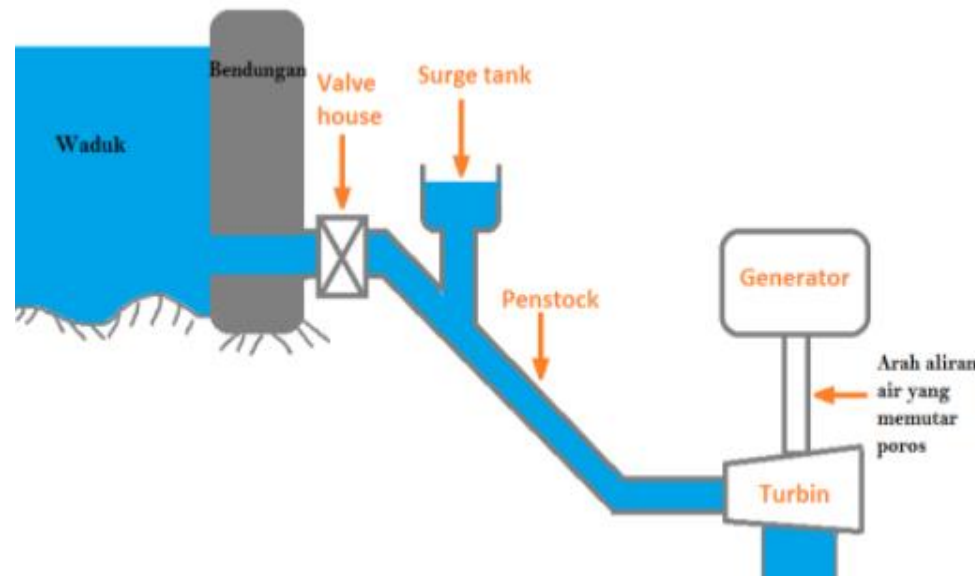
Rizka Arbaningrum, ST., MT

## BAB VI TERJUN DAN JALAN AIR

### TANGKI PENDATAR (SURGE TANK)

Tangki pendatar (Surge Tank) dan sering juga disebut tangki gelombang atau tangki pendatar pada umumnya ditempatkan pada bagian pipa pesat (penstock) yang merupakan perubahan pipa pesat bagian mendatar dengan pipa pesat bagian curam dengan fungsi sebagai berikut (O.F.Patty,1995 dan) :

- Menghilangkan atau mengurangi tambahan tekanan pada pipa pesat akibat penutupan turbin secara tiba-tiba sehingga menimbulkan tekanan pulsan air. Gelombang yang timbul dapat keluar ke dalam tangki pendatar dan tidak mengakibatkan tambahan tekanan pada pipa pesat.
- Menyediakan tampungan (reservoir) dengan permukaan bebas pada saat penutupan turbin.
- Untuk mensuplai tambahan air bila ada penambahan beban. Air dapat dipenuhi dengan mengambilnya dari tangki pendatar, dan dengan demikian timbulnya kehampaan dalam pipa pesat yang mengakibatkan kerusakan pipa oleh tekanan udara dapat dihindarkan.



### POKOK BAHASAN

1. Terjun
2. Kehilangan Energi
3. Kehilangan energi primer
4. Kehilangan energi sekunder
5. Trashrack
6. Inlet penstock
7. Belokan
8. Outlet penstock
9. **Surge Tank**

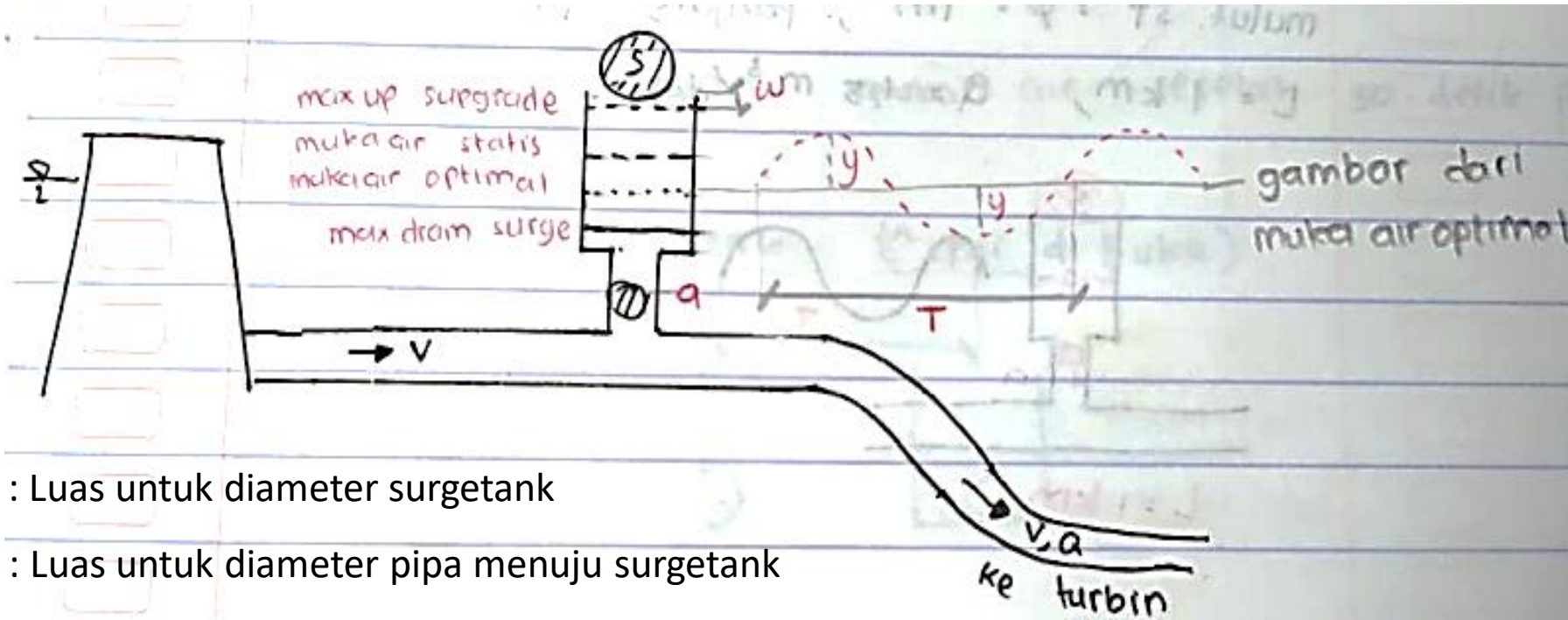


# TENAGA AIR (CIV 407)

Rizka Arbaningrum, ST., MT

## BAB VI TERJUN DAN JALAN AIR

### TANGKI PENDATAR (SURGE TANK)



$S$  : Luas untuk diameter surgetank

$a$  : Luas untuk diameter pipa menuju surgetank

$L$  : Panjang Tunnel

$g$  : grafitasi

$V$  : Kecepatan pada Tunnel

$T$  : Waktu/ Periode  $T$  (aksilasi) (menit atau detik)

$y$  : Tinggi muka air maksimum (m)

$$y = V \sqrt{\frac{L}{g} x \frac{a}{s}} \sin \sqrt{\frac{g}{L} x \frac{s}{a}} x(t)$$

$$y_{\max} = V \sqrt{\frac{L}{g} x \frac{a}{s}} \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g} x \frac{s}{a}}$$

### POKOK BAHASAN

1. Terjun
2. Kehilangan Energi
3. Kehilangan energi primer
4. Kehilangan energi sekunder
5. Trashrack
6. Inlet penstock
7. Belokan
8. Outlet penstock
9. **Surge Tank**



# TENAGA AIR (CIV 407)

Rizka Arbaningrum, ST., MT

## BAB VI TERJUN DAN JALAN AIR

### TANGKI PENDATAR (SURGE TANK) CONTOH

Hitung kenaikan tinggi muka air optimal akibat penutupan pintu turbin mendadak dimana diameter Surge Tank adalah 5 m, sedangkan diameter mulut Surge Tank adalah 0,5 m. Panjang Tunnel adalah 0,5 km dengan debit  $1 \text{ m}^3/\text{d}$ . dengan nilai (t) sebesar = 15 menit

$$S = (1/4) \mu D_{st}^2 = (1/4) \times 3,24 \times 5^2 = 19,625 \text{ m}^2$$

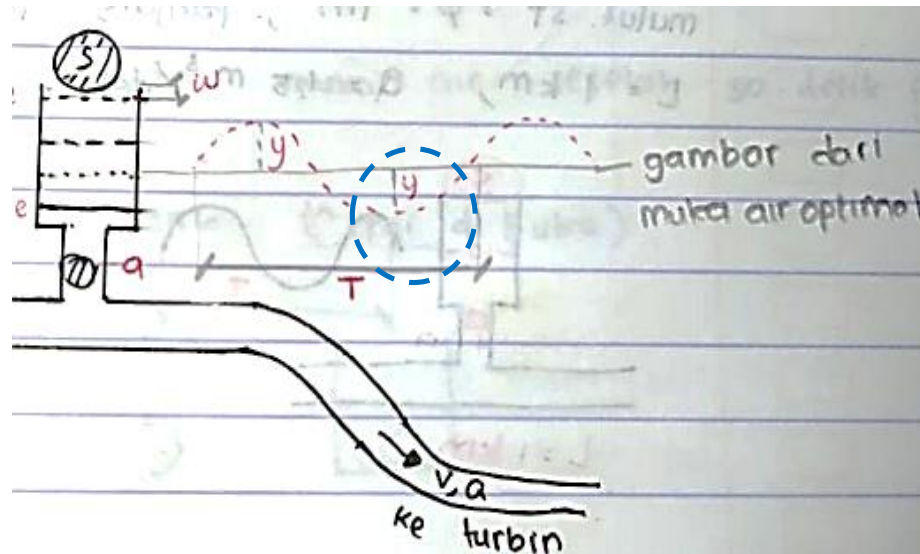
$$a = (1/4) \mu D_{mst}^2 = (1/4) \times 3,24 \times 0,5^2 = 0,196 \text{ m}^2$$

$$V = Q/a = 1/0,196 = 5,10 \text{ m/det}$$

$$y = V \sqrt{\frac{L}{g} \times \frac{a}{s}} \sin \sqrt{\frac{g}{L} \times \frac{s}{a}} x(t)$$

$$y = 5,10 \sqrt{\frac{500}{9,81} \times \frac{0,196}{19,625}} \sin \sqrt{\frac{9,81}{500} \times \frac{19,625}{0,196}} \times 15$$

$$y = -2,745 \text{ m}$$



### POKOK BAHASAN

1. Terjun
2. Kehilangan Energi
3. Kehilangan energi primer
4. Kehilangan energi sekunder
5. Trashrack
6. Inlet penstock
7. Belokan
8. Outlet penstock
9. **Surge Tank**

TERIMAKASIH