

*Ringkasan*

*Pengaliran Dalam Pipa*

**oleh**

**Djoko Luknanto**

**Jurusan Teknik Sipil**

**FT UGM**

**1984**

## PENGALIRAN DALAM PIPA

### I. SIFAT SEBANGUN & ANALISA DIMENSI

$$L_r = \frac{L_p}{L_m} \quad \text{biasanya } L_r > 1$$

$$\lambda = \frac{L_m}{L_p} \quad \text{biasanya } \lambda < 1$$

notasi p utk prototip  
m utk model.

#### a. Sifat sebangun :

1. Sebangun geometris : sama bentuk
2. Sebangun kinematis :  $1 + \sigma, V$
3. Sebangun dinamis :  $2 + K$

#### b. Analisa dimensi :

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

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}}$$

$$Ma = \frac{V}{c}$$

$$We = \frac{V}{\sqrt{\frac{\sigma}{\rho L}}}$$

$$Eu = \frac{V}{\sqrt{\frac{4p}{\rho g}}}$$

$V$  = kecepatan (m/det)

$L$  = panjang signifikan (m)

$\nu$  = viskositas kinematik ( $m^2/det$ ) =  $\mu/\rho$

$\mu$  = viskositas dinamik/absolut ( $N \cdot det/m^2$ )

$\rho$  = rapat massa ( $kg/m^3$ ) =  $\frac{\sigma}{g}$

$\sigma$  = berat jenis ( $N/m^3$ )

$c$  = kecepatan suara (m/det)

$\sigma$  = tegangan permukaan ( $N/m$ )

$p$  = tekanan ( $N/m^2$ )

$g$  = gaya gravitasi ( $m/det^2$ )

# I. PENGALIRAN DALAM PIPA.

I.1. Persamaan dasar pengaliran dlm pipa adalah persamaan Bernoulli :

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho} + \alpha \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho} + \alpha \frac{V_2^2}{2g} + \Sigma h_L$$

$$\Sigma h_L = h_f + h_c + h_g + h_e + h_b + \text{dll}$$

$\Sigma h_L$  = jumlah kehilangan tinggi tenaga total.

$h_f$  = kehilangan tinggi tenaga karena gesekan.

$h_c$  = kehilangan tinggi tenaga karena kontraksi

$h_g$  = kehilangan tinggi tenaga karena perbesaran penampang.

$h_e$  = kehilangan tinggi tenaga karena pintu<sup>2</sup>/katup<sup>2</sup>.

$h_b$  = kehilangan tinggi tenaga karena belokan.

Catatan :  $h_f$  adalah "major losses" dan lainnya "minor losses"

## II.2. Kehilangan tinggi tenaga $h_f$ .

a. Untuk pipa bulat :

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \text{pers. Darcy-Weisbach} \quad (I)$$

b. Untuk pipa yg lain :

$$h_f = f \cdot \frac{L}{4R_h} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \text{pers. Fanning} \quad (II)$$

$f$  = koef. gesek Darcy

$L$  = panjang pipa (m)

$D$  = diameter pipa bulat (utk pipa tidak bulat  $D = 4R_h$ ) (m)

$R_h$  = radius hidrolis =  $\frac{A}{P}$  (m)

$A$  = luas penampang basah = luas tampang pipa (m<sup>2</sup>)

$P$  = keliling basah = keliling pipa. (m)

$V$  = kecep. aliran. (m/det)

### c. Koefisien Gesek Darcy (f)

$$f = F(Re, \frac{\epsilon}{D})$$

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

$\frac{\epsilon}{D}$  = kekasaran relatif pipa

$\epsilon$  = kekasaran absolut pipa (m)

$D$  = diameter pipa (m)

• Untuk aliran laminar :

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{utk } Re < 2000 \quad (III)$$

• Untuk aliran turbulen :

◦ pipa hidrolis licin :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 0,86 \ln (R\sqrt{f}) - 0,8 \quad (IV)$$

◦ pipa hidrolis kasar :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0,86 \ln \left( \frac{\epsilon}{D} \right) + 1,14 \quad (V)$$

◦ pipa hidrolis peralihan / transisi :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0,86 \ln \left( \frac{\epsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{R\sqrt{f}} \right) \quad (VI)$$

### I.3. Diagram MOODY.

Untuk memudahkan penyelesaian masalah pengaliran dalam pipa maka pers I s/d VI disajikan dalam diagram MOODY.

Variabel<sup>2</sup> yang dipakai dlm diagram MOODY adalah :

$$h_f, f, L, D (4R_h), V (Q/A), g, \nu, \epsilon = 8 \text{ buah variabel.}$$

Dengan 8 variabel, hanya ada 2 persamaan yi

A. Pers. I atau II

B. Pers. III atau IV atau V atau VI.

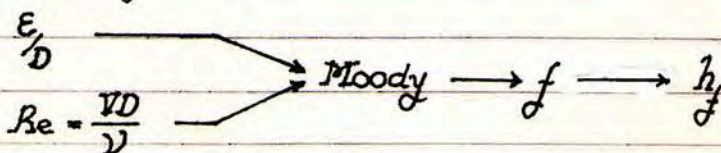
maka untuk menyelesaikan persoalan pengaliran dalam pipa harus diketahui 6 dari 8 variabel diatas.

### II.4. Macam<sup>2</sup> Persolan Pengaliran Dlm Pipa.

a) Diketahui :  $L, D, V, g, \nu, \epsilon$

Dihitung :  $h_f$

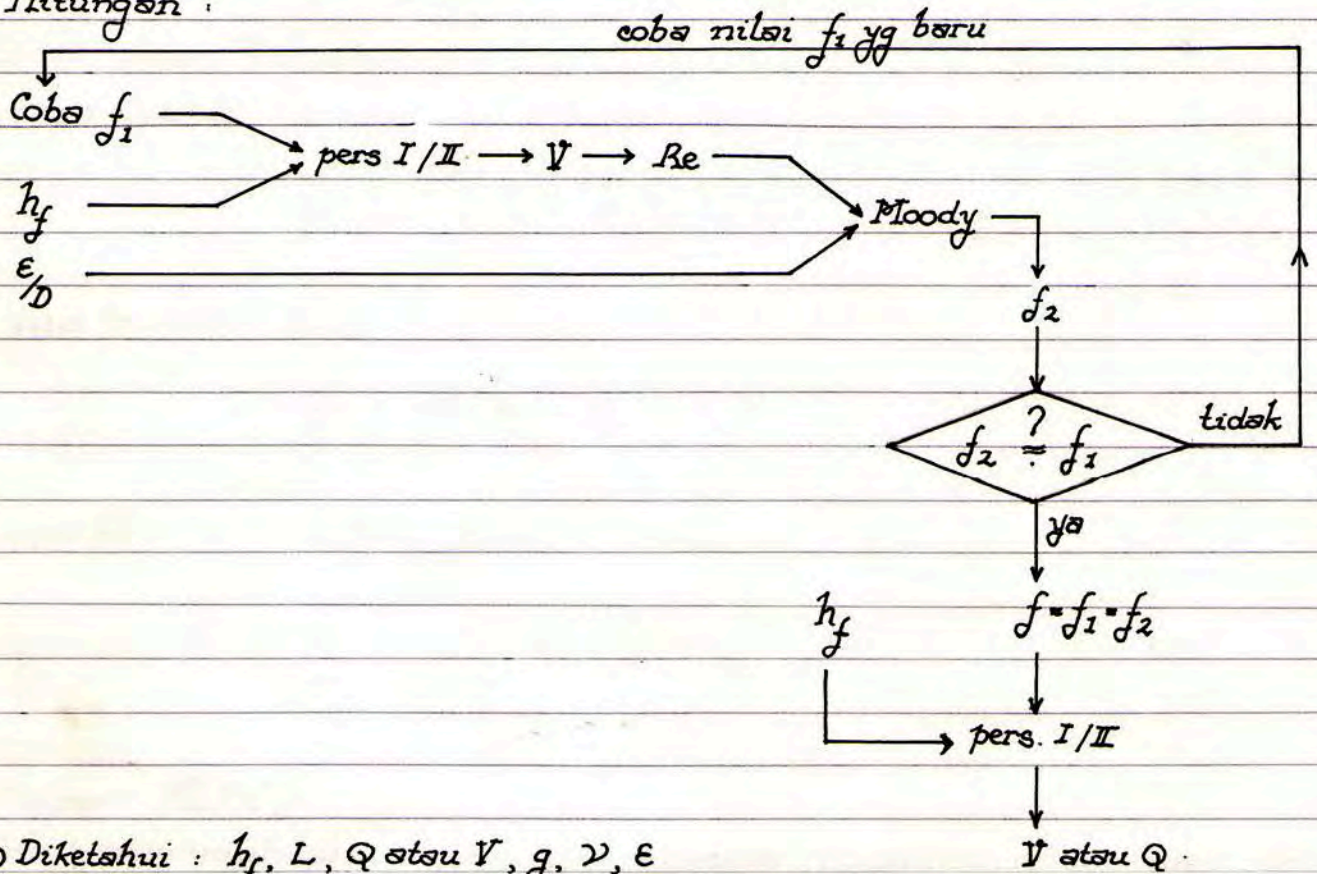
Hitungan :



b) Diketahui :  $h_f, L, D, g, \nu, \epsilon$

Dihitung :  $V$  atau  $Q$

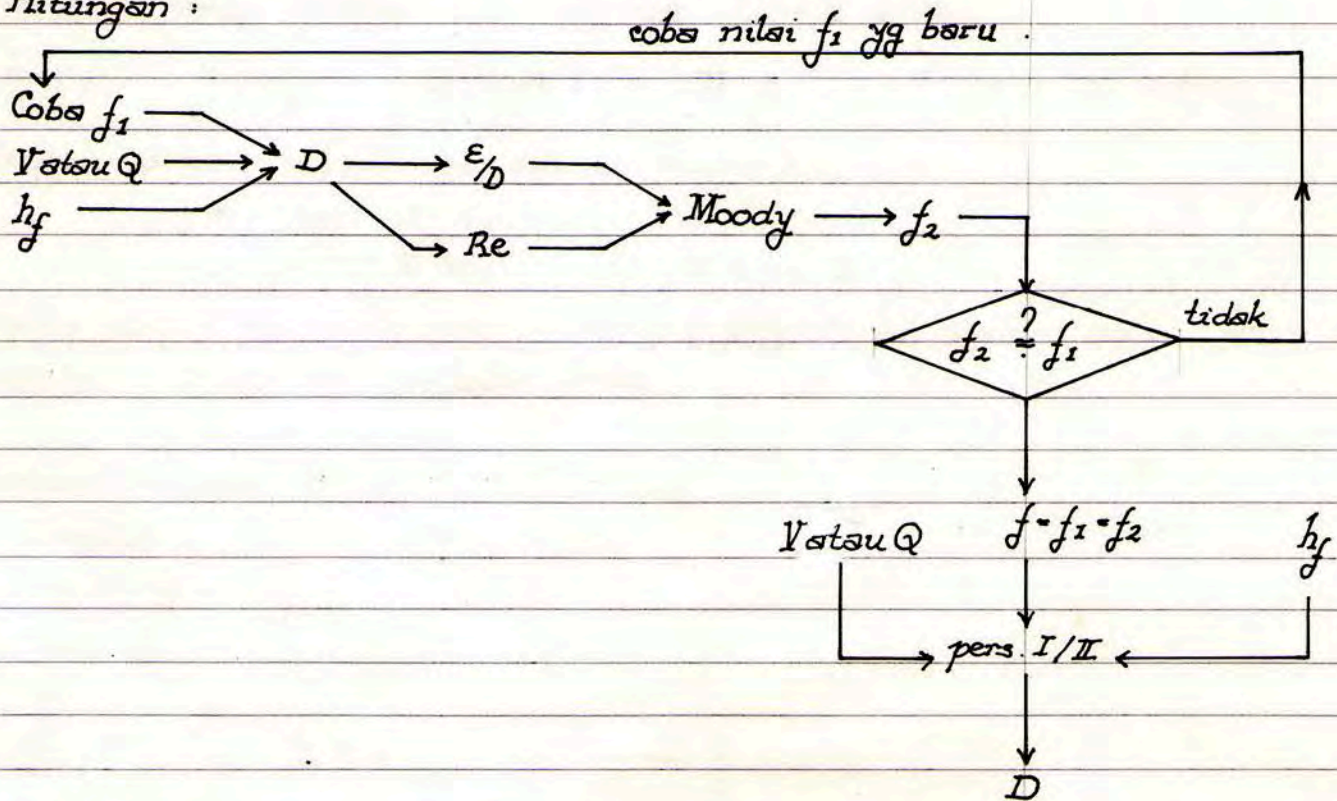
Hitungan :



c) Diketahui :  $h_f, L, Q$  atau  $V, g, \nu, \epsilon$

Dihitung :  $D$

Hitungan :



### I.5. Pengaruh Umur Pipa pada E

$$E = E_0 + \alpha t$$

$E_0$  = kekasaran absolut pipa baru (spt tercantum dalam diagram MOODY)

$E$  = kekasaran absolut pipa setelah  $t$  tahun umurnya.

$\alpha$  = pertambahan  $E$  pipa tiap tahun (0.0002 - 0.007 ft/tahun)

$t$  = umur pipa.

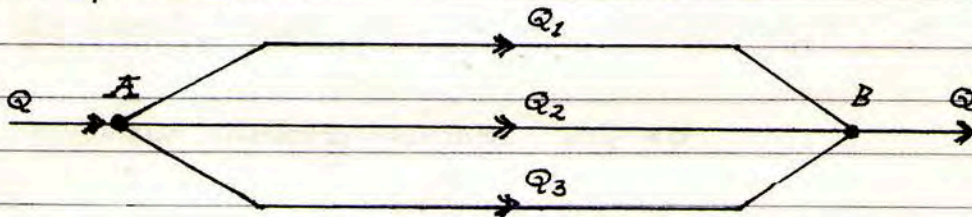
### I.6. Panjang Ekuivalen ( $L_e$ ).

$$a). h_f = \frac{8fLQ^2}{\pi^2 g D^5} = \frac{8f_e L_e Q^2}{\pi^2 g D_e^5} \longrightarrow L_e = \left(\frac{f}{f_e}\right) \left(\frac{D_e}{D}\right)^5 L$$

$$b). h_f = \sum k \frac{V^2}{2g} = f_e \frac{L_e}{D_e} \frac{V_e^2}{2g}$$

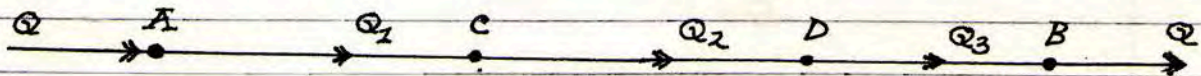
$$\sum k \frac{8Q^2}{\pi^2 g D^4} = \frac{8f_e L_e Q^2}{\pi^2 g D_e^5} \longrightarrow L_e = \left(\frac{D}{f_e}\right) \left(\frac{D_e}{D}\right)^5 \sum k$$

### I.7. Sistem Pipa Paralel.



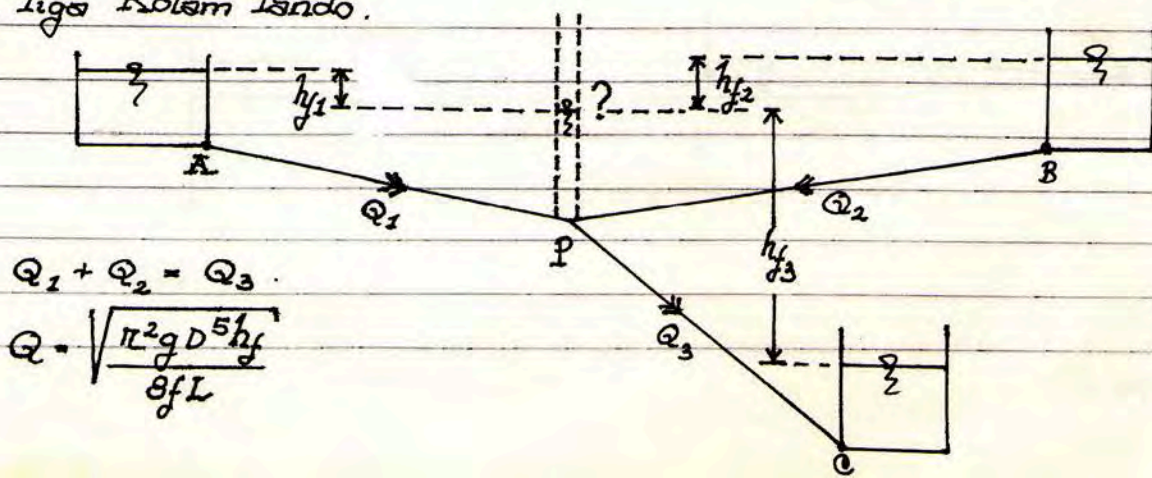
$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad \text{dan} \quad h_{L(AB)} = h_{L_1} = h_{L_2} = h_{L_3}$$

### I.8. Sistem Pipa Seri.



$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 \quad \text{dan} \quad h_{L(AB)} = h_{L_1} + h_{L_2} + h_{L_3}$$

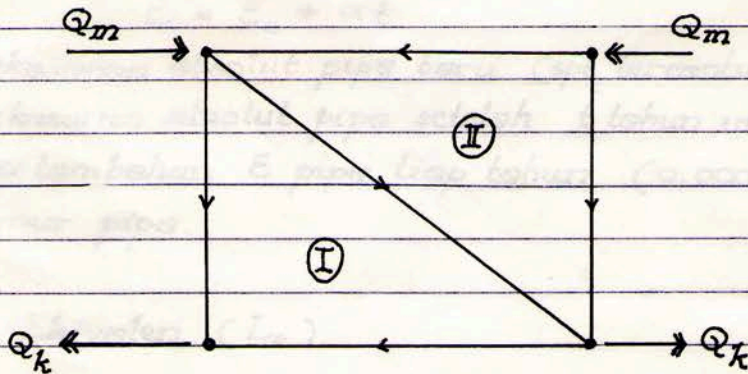
### I.9. Tiga Kolam Tando.



$$Q_1 + Q_2 = Q_3$$

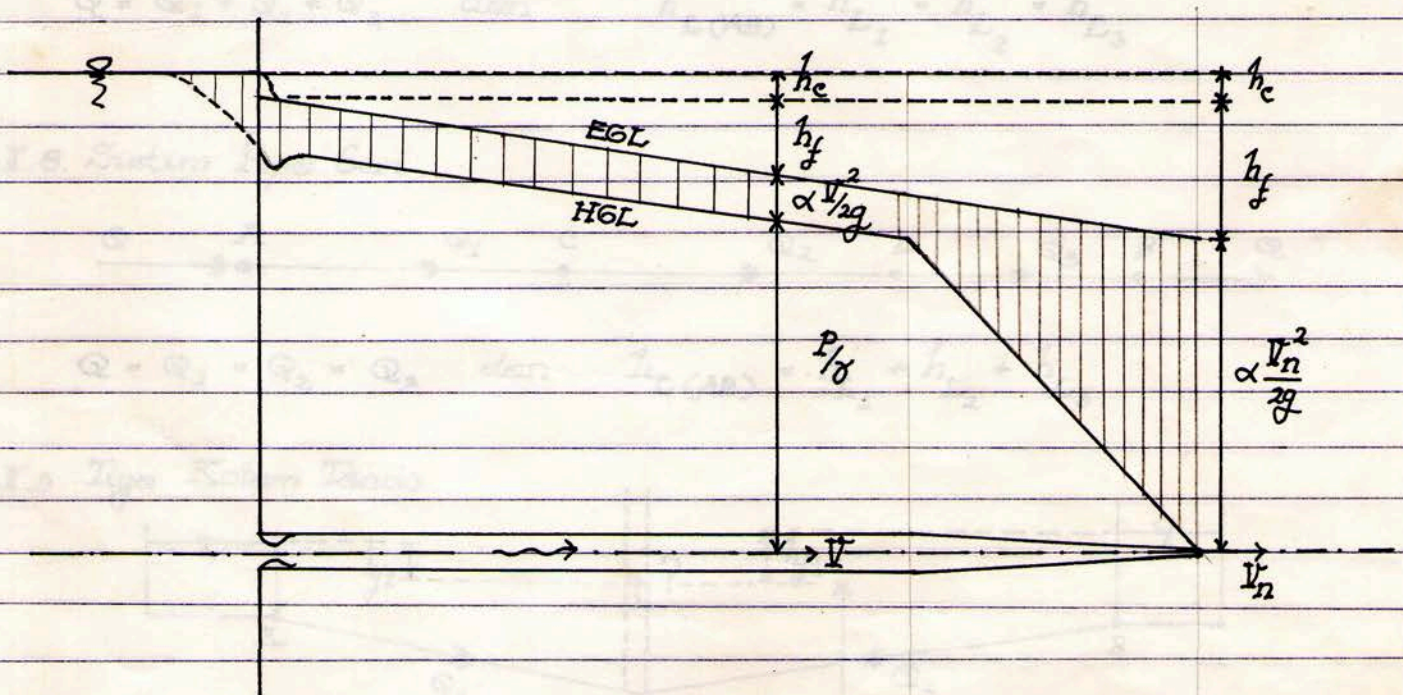
$$Q = \sqrt{\frac{\pi^2 g D^5 h_f}{8fL}}$$

I. 10. Sistem Jaringan Pipa.



- a)  $\sum Q_{masuk} = \sum Q_{keluar}$  berlaku pada setiap titik maupun pada seluruh sistem.
- b)  $h_L = KQ^n$
- c)  $\Delta Q = \frac{-\sum KQ^n}{\sum |nKQ^{n-1}|}$
- d)  $Q_{baru} = Q_{lama} + \Delta Q$
- e)  $Q$  searah jarum jam = +, kebalikannya = -
- f) prosedur diulang sampai  $\Delta Q = 0$ .

II. 11. Garis Tenaga (EGL) dan Garis Tekanan (HGL)



*[Signature]*  
06/06/84

# PENGALIRAN DALAM PIPA

Contoh hubungan model & prototip :

Sebuah benda dengan diameter 1mm, ingin diketahui besarnya gaya tahanan jika benda itu bergerak lambat dalam air. Sebuah model yang 100 kali lebih besar, dalam gliserin digerakkan dgn  $V = 30 \text{ cm/det}$ . Gaya tahanan yg terukur pada model 1,3 N. Berapa besar  $V$  dan Gaya tahanan yg sesungguhnya?

(Untuk air :  $\mu = 0,001 \text{ kg/m.det}$ ,  $\rho = 999 \text{ kg/m}^3$ . Untuk gliserin :  $\mu = 1,5 \text{ kg/m det}$ ,  $\rho = 1263 \text{ kg/m}^3$ )

Jawab :

Benda bergerak dalam air shg gaya kental berpengaruh besar, dipakai kriteria bilangan  $Re$ !

$$Re_p = 1 \longrightarrow \frac{V_p L_p}{\nu_p} = 1$$

$$V_p = \nu_p / L_p = (\mu_p / \rho_p) / L_p$$

$$= \frac{\mu_p}{\rho_p \cdot L_p}$$

$$= \frac{(0,001/1,5)}{(999/1263)(1/100)} = 0,084$$

$$V_p = V_p \cdot V_m = 0,084 \cdot 30 = \underline{\underline{2,53 \text{ cm/det}}}$$

Gaya tahanan :  $K_D = C_D \rho V^2 L^2$  dimana  $C_D = f(Re)$

$$Re_p = 1 \longrightarrow a) \frac{Re_p}{Re_m} = 1$$

$$\therefore Re_p = Re_m \longrightarrow (C_D)_p = (C_D)_m$$

$$\frac{(C_D)_p}{(C_D)_m} = 1$$

$$(C_D)_p = 1$$

$$b) V_p L_p = \nu_p = \mu_p / \rho_p$$

$$(K_D)_p = (C_D)_p \cdot \rho_p \cdot V_p^2 \cdot L_p^2 = 1 \cdot \rho_p \cdot (\mu_p / \rho_p)^2 = \mu_p^2 / \rho_p$$

Jadi  $(K_D)_p = (K_D)_p \cdot (K_D)_m = \frac{(\mu_p)^2}{\rho_p} (K_D)_m = \frac{(0,001/1,5)^2}{(999/1263)} \cdot 1,3 = \underline{\underline{7,30 \cdot 10^{-7} \text{ Newton}}}$



Contoh analisa dimensi :

Akan diselidiki besarnya gaya tahanan yang dialami bola yang bergesek didalam esiran. Dari penyelidikan didapat bahwa besarnya gaya tahanan ( $R_D$ ) dipengaruhi dimensi bola ( $D$ ), kecepatan bola ( $V$ ), sifat cairan yaitu rapat massa ( $\rho$ ) dan kekentalan ( $\mu$ ). Nyatakan hubungan  $R_D$  dgn parameter-parameter tsb diatas.

Penyelesaian :

$$R_D = f(D, V, \rho, \mu)$$

$$= C \cdot D^a \cdot V^b \cdot \rho^c \cdot \mu^d \quad \text{dimana } C = \text{konstanta tidak berdimensi}$$

Dengan menggunakan besaran / satuan pokok yi  $M, L, T$  persamaan diatas dirubah menjadi :

$$MLT^{-2} = C \cdot (L)^a \cdot (LT^{-1})^b \cdot (ML^{-3})^c \cdot (ML^{-1}T^{-1})^d$$

Kedua ruas persamaan harus mempunyai dimensi sama :

$$\text{Untuk } M : 1 = c + d$$

$$L : 1 = a + b - 3c - d$$

$$T : -2 = -b - d$$

Jika ketiga persamaan diselesaikan didapat :

$$b = 2 - d$$

$$c = 1 - d$$

$$a = 2 - d$$

sehingga didapat :

$$R_D = C \cdot D^{2-d} \cdot V^{2-d} \cdot \rho^{1-d} \cdot \mu^d$$

$$= C \cdot D^2 V^2 \rho \cdot \left(\frac{DV}{\mu}\right)^{-d}$$

$$= C \cdot \rho V^2 D^2 \cdot \left(\frac{VD}{\nu}\right)^{-d}$$

$$= C \cdot \rho V^2 D^2 \cdot \varphi(Re)$$

$$= \{C \cdot \varphi(Re)\} \cdot \rho V^2 D^2$$

$$= f(Re) \cdot \rho V^2 D^2$$

$$\underline{\underline{R_D = C_D \cdot \rho V^2 D^2 \quad \text{dimana } C_D = f(Re)}}$$

Contoh tipe 1 :

Hitung tenaga yang hilang karena gesekan pada pipa besi tuang sepanjang 400 m, jika dilalui minyak 140 l/det. Dismeter pipa 200 mm,  $\nu = 10^{-5} \text{ m}^2/\text{det}$ ,  $g = 9,806 \text{ m/det}^2$

Penyelesaian:

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{4Q}{\pi D \nu} = \frac{4 \cdot 0,140}{\pi \cdot 0,2 \cdot 10^{-5}} = 89,127$$

$$\text{Besi tuang } \epsilon = 0,25 \text{ mm} \rightarrow \frac{\epsilon}{D} = \frac{0,25 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} = 0,00125 \quad \left. \begin{array}{l} \text{grafik MOODY} \\ \text{didapat } f = 0,023 \end{array} \right\}$$

$$h_f = \frac{8fLQ^2}{\pi^2 g D^5} = \frac{8 \cdot 0,023 \cdot 400 \cdot 0,14^2}{\pi^2 \cdot 9,806 \cdot 0,2^5} = \underline{\underline{46,58 \text{ m}}}$$

Contoh tipe 2 :

Tenaga yang hilang karena gesekan pada pipa besi tuang sepanjang 400 m sebesar 46,58 m. Dismeter pipa = 200 mm,  $\nu = 10^{-5} \text{ m}^2/\text{det}$ ,  $g = 9,806 \text{ m/det}^2$   
Hitung besarnya debit yang melalui pipa !

Penyelesaian :

Dicoba  $f = 0,020$

$$V = \sqrt{\frac{2gDh_f}{fL}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,806 \cdot 0,2 \cdot 46,58}{0,02 \cdot 400}} = 4,779 \text{ m/det}$$

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{4,779 \cdot 0,2}{10^{-5}} = 95,578$$

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0,25}{200} = 0,00125$$

$\left. \begin{array}{l} \text{grafik MOODY} \\ \text{didapat } f = 0,0235 \neq 0,020 \end{array} \right\}$

Dicoba  $f = 0,023$

$$V = 4,456 \text{ m/det} \rightarrow Re = 89,127$$

$$\frac{\epsilon}{D} = 0,00125$$

$\left. \begin{array}{l} \text{grafik MOODY} \\ \text{didapat } f = 0,023 \rightarrow \text{OK} \end{array} \right\}$

$$\text{Jadi } Q = \frac{1}{4} \pi D^2 V$$

$$= \frac{1}{4} \pi \cdot 0,2^2 \cdot 4,456$$

$$= 0,140 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$= \underline{\underline{140 \text{ l/det}}}$$

Contoh tipe 3 :

Rencanakan diameter pipa bulat dari besi tuang sepanjang 400 m yang akan dilalui debit = 140 l/det, jika disyaratkan kehilangan tenaga tidak boleh lebih dari 46,58 m.  $\nu = 10^{-5} \text{ m}^2/\text{det}$ ,  $g = 9,806 \text{ m/det}^2$ .

Penyelesaian.

Dicoba  $f = 0,020$

$$D = \left( \frac{8fLQ^2}{\pi^2 g h_f} \right)^{1/5} = 0,194 \text{ m}$$

$$\frac{E}{D} = \frac{0,25}{194} = 0,0013$$

$$Re = \frac{4Q}{\pi D \nu} = 91653$$

grafik MOODY.  
didapat  $f = 0,0228 \neq 0,020$

Dicoba  $f = 0,023$

$$D = 0,200 \text{ m}$$

$$\frac{E}{D} = 0,00125$$

$$Re = 91653$$

dari grafik MOODY  
didapat  $f = 0,023 \rightarrow OK$ .

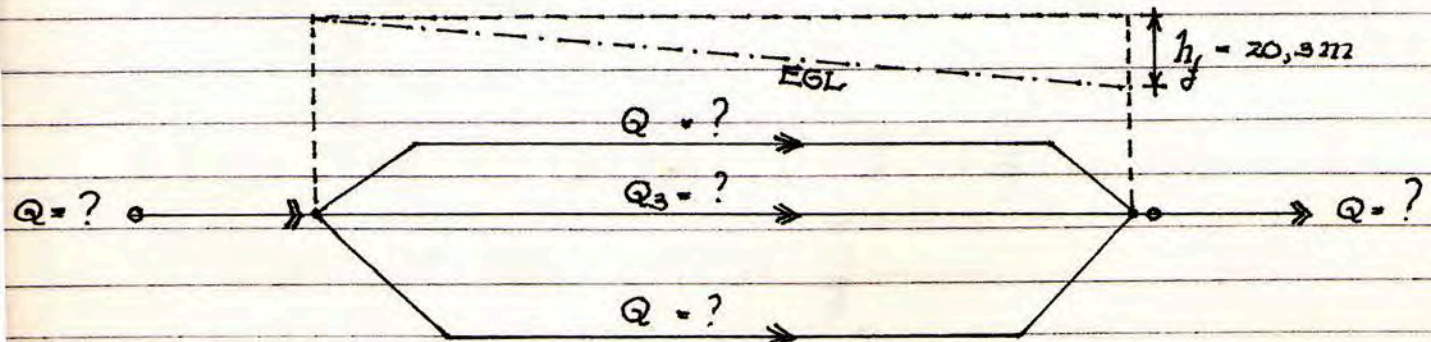
Jadi diameter pipa :

$$D = 200 \text{ mm}$$

Contoh pipa paralel :

Tiga buah pipa paralel dengan kehilangan tenaga total diantara ujungnya adalah 20,3 m. Hitung debit masing<sup>2</sup> pipa jika "minor losses" diabaikan!  
 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ,  $\nu = 1,02 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{det}$ ,  $g = 9,81 \text{ m/det}^2$ .

| Pipa | $L$ (m) | $d$ (cm) | $E$ (mm) |
|------|---------|----------|----------|
| 1    | 100     | 8        | 0,24     |
| 2    | 150     | 6        | 0,12     |
| 3    | 80      | 4        | 0,20     |



Penyelesaian :

Cara penyelesaian sesuai dengan contoh tipe 2 :

| Kunci : | Pipa | f      | Q (m <sup>3</sup> /det)   |
|---------|------|--------|---------------------------|
|         | 1    | 0,0272 | 0,0172                    |
|         | 2    | 0,0251 | 0,0071                    |
|         | 3    | 0,0379 | 0,0031                    |
|         |      |        | <u><u>ΣQ = 0,0275</u></u> |

Contoh pipa seri :

Suatu sistim pipa seri terdiri dari 3 buah pipa dengan dimensi sbb :

| Pipa | L (m) | D (cm) | E               |
|------|-------|--------|-----------------|
| 1    | 300   | 30     | besi tuang baru |
| 2    | 150   | 20     | besi tuang baru |
| 3    | 250   | 25     | besi tuang baru |

Kehilangan tenaga total adalah sebesar 10 m. Hitung debit yang melalui pipa jika "minor losses" diabaikan ! ( $\nu = 1,139 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{det}$ ,  $g = 9,81 \text{ m/det}^2$ )

Penyelesaian :

Untuk pipa besi tuang baru  $E = 0,25 \text{ mm}$ , maka :

$$E/D_1 = 0,00083$$

$$E/D_2 = 0,00125$$

$$E/D_3 = 0,001$$

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{4Q}{\pi D \nu} ; Q = \frac{1}{4} \pi D_1^2 V_1 = \frac{1}{4} \pi D_2^2 V_2 = \frac{1}{4} \pi D_3^2 V_3$$

$$Re_1 = \frac{V_1 D_1}{\nu} = \frac{0,30 V_1}{1,139 \cdot 10^{-6}} = 263388,9377 V_1$$

$$Re_2 = \frac{D_1}{D_2} Re_1 = 1,5 Re_1$$

$$Re_3 = \frac{D_1}{D_3} Re_1 = 1,2 Re_1$$

Kehilangan tenaga total :

$$h_L = f_1 \frac{L_1}{D_1} \frac{V_1^2}{2g} + f_2 \frac{L_2}{D_2} \frac{V_2^2}{2g} + f_3 \frac{L_3}{D_3} \frac{V_3^2}{2g}$$

$$10 = \left( f_1 \frac{300}{0,3} + f_2 \frac{150}{0,2} \cdot \left(\frac{30}{20}\right)^4 + f_3 \frac{250}{0,25} \cdot \left(\frac{30}{25}\right)^4 \right) \frac{V_1^2}{2g}$$

$$10 = (1000 f_1 + 3796,875 f_2 + 2073,6 f_3) \frac{V_1^2}{2g}$$

$$V_1 = \left( \frac{196,2}{1000 f_1 + 3796,875 f_2 + 2073,6 f_3} \right)^{1/2}$$

dicoba nilai  $f$  dengan asumsi hidrolis kasar :  
 (persamaan V)

$$\begin{aligned} f_1 &= 0,0192 \\ f_2 &= 0,0212 \\ f_3 &= 0,0200 \end{aligned}$$

didapat  $V_1 = 1,18 \text{ m/det}$  sehingga :

$$Re_1 = 3,1 \cdot 10^5$$

$$Re_2 = 4,7 \cdot 10^5$$

$$Re_3 = 3,7 \cdot 10^5$$

dari grafik MOODY didapat

$$f_1 = 0,020 \approx 0,0192$$

$$f_2 = 0,021 \approx 0,0212$$

$$f_3 = 0,0205 \approx 0,0200$$

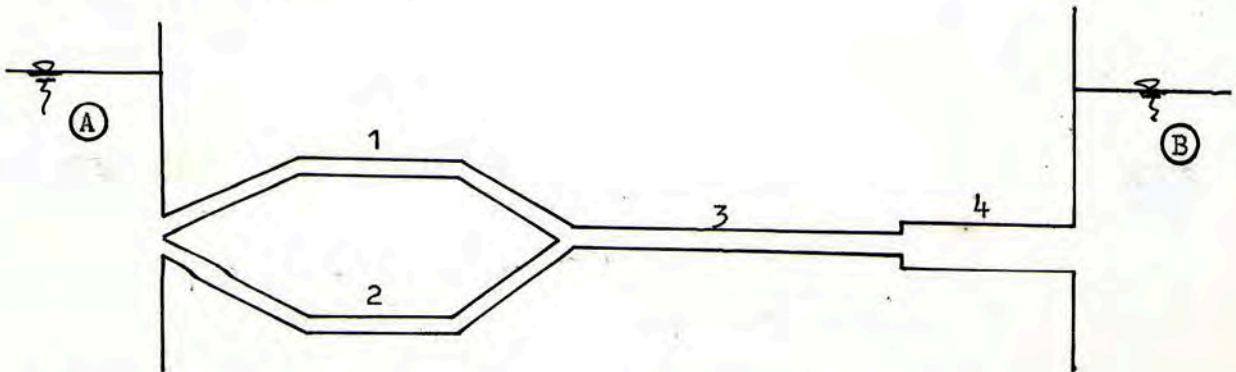
Jadi asumsi  $f_{1,2,3}$  sudah betul maka :

$$Q = \frac{1}{4} \pi D_1^2 \cdot V_1 = \frac{1}{4} \pi \cdot 0,3^2 \cdot 1,18 = \underline{\underline{0,0834 \text{ m}^3/\text{det}}}$$

1. Dua buah kolam dihubungkan dengan sistim pipa seperti tampak dalam gambar :

| Pipa | L(m) | D(inch) | Jenis pipa     |
|------|------|---------|----------------|
| 1    | 500  | 10      | besi tuang     |
| 2    | 600  | 12      | besi tuang     |
| 3    | 1000 | 15      | baja komersial |
| 4    | 400  | 20      | baja komersial |

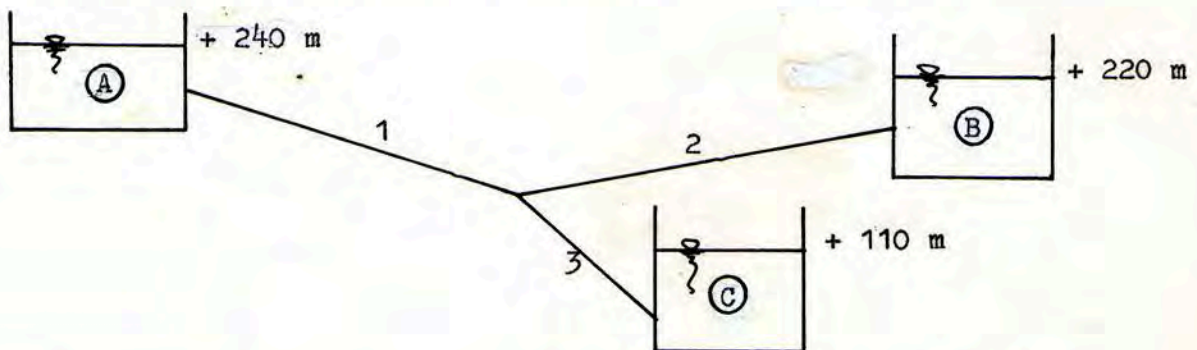
Elevasi kolam A + 225 m dan debit yang melalui pipa 1 adalah 1000 l/det.  
 Hitung debit masing-masing pipa dan berapa elevasi kolam B. Tentukan pula tipe aliran tiap pipa.



2. Tiga Kolam Tando dihubungkan dengan sistim pipa seperti tampak dalam gambar :

| Pipa | L(m) | D(inch) | f     |
|------|------|---------|-------|
| 1    | 1500 | 30      | 0,016 |
| 2    | 500  | 25      | 0,014 |
| 3    | 350  | 20      | 0,018 |

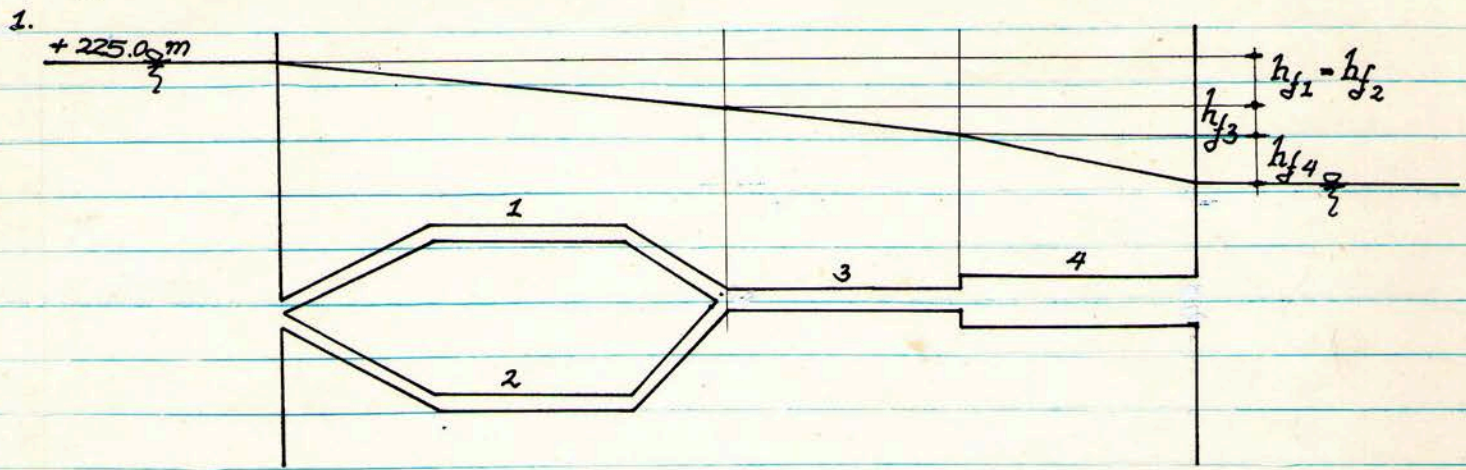
Tentukan arah aliran dan debit masing-masing pipa.



Catatan : untuk kedua soal diatas diambil nilai  $g = 9,8 \text{ m/det}^2$   
 $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{det}$   
 $\gamma = 1 \text{ t/m}^3$

kehilangan tinggi tenaga sekunder diabaikan !

Penyelesaian :



Kehilangan tinggi sekunder diabaikan.

Pipa 1 :

$$Q = 1000 \text{ l/det} = 1 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$D = 10'' = 10 \cdot 2,54 \text{ cm} = 25,4 \text{ cm} = 0,254 \text{ m}$$

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2 = 0,0507 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1}{0,0507} = 19,735 \text{ m/det}$$

$$Re = \frac{VD}{\nu} = 5 \cdot 10^6$$

Pipa besi tuang  $E = 0,00085'$   $\rightarrow \frac{E}{D} = \frac{0,00085 \cdot 12}{10} = 0,001$  } dengan grafik MOODY didapat

$f = 0,0198$  dan tipe pengaliran : turbulen sempurna.

$$h_{f1} = f_1 \cdot \frac{L_1}{D_1} \cdot \frac{V_1^2}{2g} = 0,0198 \cdot \frac{500}{0,254} \cdot \frac{19,735^2}{2 \cdot 9,8} = 774,5 \text{ m}$$

Pipa 2 :

$$h_{f2} = f_2 \cdot \frac{L_2}{D_2} \cdot \frac{V_2^2}{2g} = f_2 \cdot \frac{L_2}{D_2} \cdot \frac{Q_2^2}{2g \cdot \frac{1}{16} \pi^2 D_2^4}$$

$$= \frac{8f_2 L_2 Q_2^2}{g \pi^2 D^5} \rightarrow \text{Jadi } Q_2 = \sqrt{\frac{g \pi^2 D_2^5 \cdot h_{f2}}{8f_2 L_2}}$$

$$Q_2 = \sqrt{\frac{9,8 \pi^2 \cdot (12 \cdot 0,0254)^5 \cdot 774,5}{8 \cdot f_2 \cdot 600}} = \frac{0,2026}{f_2^{1/2}}$$

Dicoba  $f_2 = 0,0193$

$$Q_2 = 1,458 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$V_2 = \frac{Q_2}{A_2} = \frac{1,458}{\frac{1}{4} \pi (12 \cdot 0,0254)^2} = 19,98 \text{ m/det}$$

$$D_2 = 12 \cdot 0,0254 = 0,3048 \text{ m}$$

$$Re_2 = \frac{V_2 D_2}{\nu} = \frac{19,98 \cdot 0,3048}{10^{-6}} = 6 \cdot 10^6$$

$$\frac{E}{D_2} = \frac{0,00085 \cdot 12}{12} = 0,00085$$

dengan grafik MOODY didapat  $f_2 = 0,0192 \approx f_2 \text{ lama} = 0,0193$

tipe pengaliran turbulen sempurna

Jadi  $Q_2 = \underline{1,458 \text{ m}^3/\text{det}}$

$$Q_3 = Q_1 + Q_2 = 1 + 1,458 = \underline{2,458 \text{ m}^3/\text{det}}$$

$$D_3 = 15 \cdot 0,0254 = 0,381 \text{ m}$$

$$V_3 = \frac{Q_3}{A_3} = \frac{2,458}{\frac{1}{4} \pi \cdot 0,381^2} = 22,35 \text{ m/det}$$

$$Re_3 = \frac{VD}{\nu} = \frac{22,35 \cdot 0,381}{10^{-6}} = 8,5 \cdot 10^6$$

$$\frac{E}{D} = \frac{0,00015 \cdot 12}{15} = 0,00012$$

dari grafik MOODY didapat  $f_3 = 0,0122$ , pengaliran: transisi

$$h_{f3} = f_3 \frac{L_3}{D_3} \frac{V_3^2}{2g} = 0,0122 \cdot \frac{1000}{0,381} \cdot \frac{22,35^2}{2 \cdot 9,8} = \underline{816,1 \text{ m}}$$

$$Q_4 = Q_3 = \underline{2,458 \text{ m}^3/\text{det}}$$

$$D_4 = 20 \cdot 0,0254 = 0,508 \text{ m}$$

$$V_4 = \frac{Q_4}{A_4} = 12,13 \text{ m/det}$$

$$Re_4 = \frac{VD}{\nu} = 6 \cdot 10^6$$

$$\frac{E}{D} = \frac{0,00015 \cdot 12}{20} = 0,00009$$

dari grafik MOODY didapat  $f_4 = 0,0121$ , pengaliran: transisi

$$h_{f4} = f_4 \frac{L_4}{D_4} \frac{V_4^2}{2g} = \underline{71,52 \text{ m}}$$

$$h_f \text{ total} = h_{f1-2} + h_{f3} + h_{f4} = 774,50 + 816,10 + 71,52 = \underline{1662,12 \text{ m}}$$

Jadi elevasi muka air kolom B =  $+225 - 1662,12 = \underline{-1437,12 \text{ m}}$

$$2) \frac{h_f}{f} = \frac{8fLQ^2}{g\pi^2 D^5} \longrightarrow Q = \left( \frac{g\pi^2 D^5 h_f}{8fL} \right)^{1/2}$$

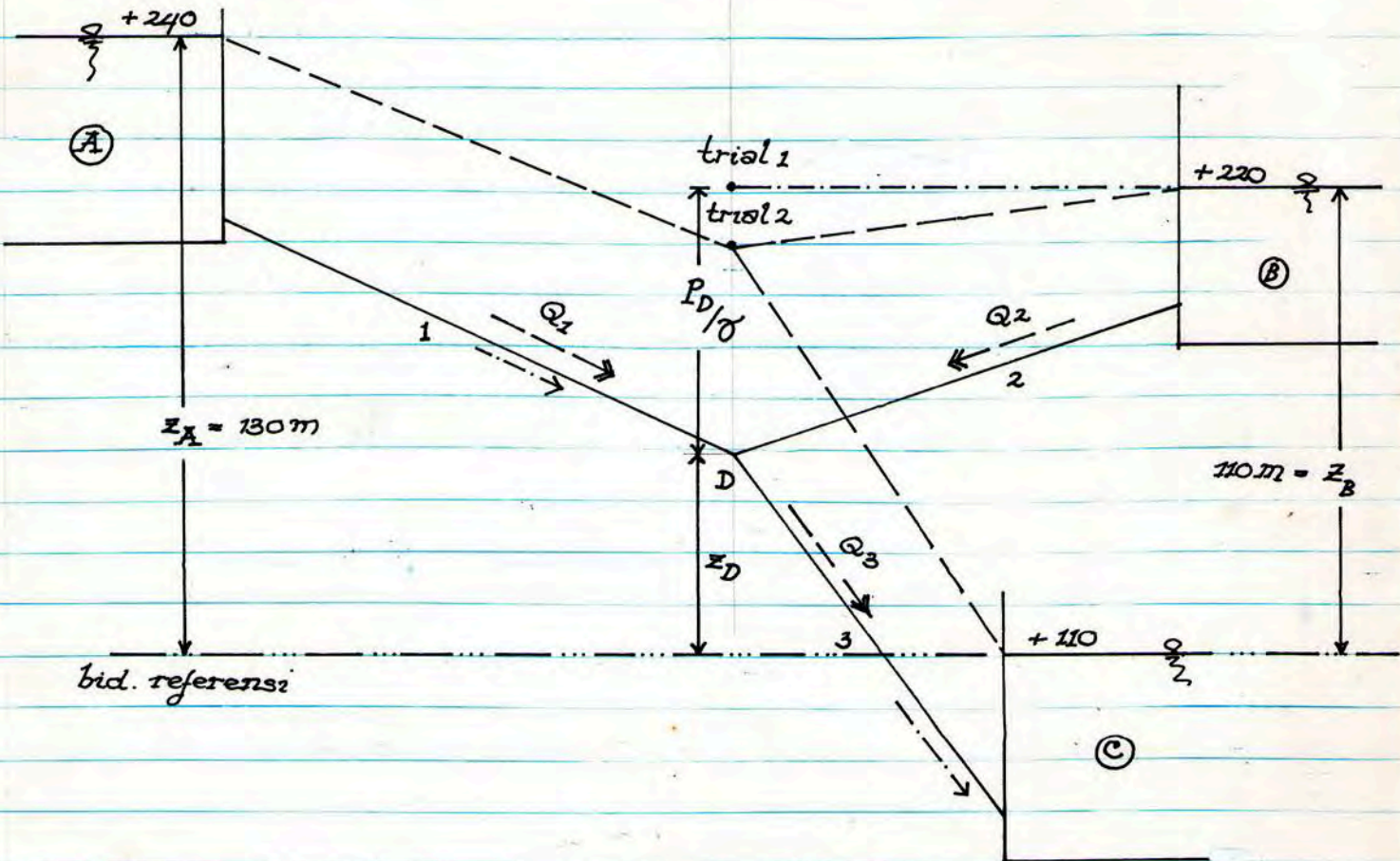
$$Q_1 = \left( \frac{9,8 \cdot \pi^2 (30 \cdot 0,0254)^5 h_{f1}}{8 \cdot 0,016 \cdot 1500} \right)^{1/2} = 0,3597 h_{f1}^{1/2}$$

$$Q_2 = \left( \frac{9,8 \cdot \pi^2 (25 \cdot 0,0254)^5 h_{f2}}{8 \cdot 0,014 \cdot 500} \right)^{1/2} = 0,4222 h_{f2}^{1/2}$$

$$Q_3 = \left( \frac{9,8 \cdot \pi^2 (20 \cdot 0,0254)^5 h_{f3}}{8 \cdot 0,018 \cdot 350} \right)^{1/2} = 0,2548 h_{f3}^{1/2}$$

$$h_{f1} = z_A - (z_D + \frac{P_D}{\gamma}), \quad h_{f2} = \pm (z_B - (z_D + \frac{P_D}{\gamma})), \quad h_{f3} = (z_D + \frac{P_D}{\gamma}) - z_C$$





Trial 1 :

$$z_D + \frac{p_D}{\rho} = z_B = 220 - 110 = 110 \text{ m}$$

Jadi  $h_{f2} = 0 \longrightarrow Q_2 = 0 \text{ m}^3/\text{det}$

$$h_{f1} = 130 - 110 = 20 \text{ m} \longrightarrow Q_1 = 1,609 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$h_{f3} = 110 - 0 = 110 \text{ m} \longrightarrow Q_3 = 2,672 \text{ m}^3/\text{det}$$

ternyata  $Q_3 > Q_1$  jadi aliran air  $\frac{A}{B} > D-C$

Trial 2 : Syarat  $Q_1 + Q_2 = Q_3$

| $z_D + \frac{p_D}{\rho}$<br>(m) | $h_{f1}$<br>(m) | $Q_1$<br>( $\text{m}^3/\text{det}$ ) | $h_{f2} = z_B - (z_D + \frac{p_D}{\rho})$<br>(m) | $Q_2$<br>( $\text{m}^3/\text{det}$ ) | $h_{f3}$<br>(m) | $Q_3$<br>( $\text{m}^3/\text{det}$ ) |
|---------------------------------|-----------------|--------------------------------------|--|--------------------------------------|-----------------|--------------------------------------|
| 100                             | 30              | 1,970                                | 10   | 1,335                                | 100             | 2,548                                |
| 105                             | 25              | 1,798                                | 5  | 0,944                                | 105             | 2,611                                |
| 106                             | 24              | 1,762                                | 4  | 0,845                                | 106             | 2,623                                |
| 105,8                           | 24,2            | 1,770                                | 4,2  | 0,865                                | 105,8           | 2,621                                |
| 105,85                          | 24,15           | 1,768                                | 4,15   | 0,860                                | 105,85          | 2,622                                |
| 105,88                          | 24,12           | 1,767                                | 4,12   | 0,857                                | 105,88          | 2,622                                |
| 105,90                          | 24,10           | 1,766                                | 4,10   | 0,855                                | 105,90          | 2,622                                |

Check:

$$\text{Pada } z_D + \frac{p_D}{\rho} = 105,90 \text{ m} \longrightarrow Q_1 + Q_2 = 1,766 + 0,855 = 2,621 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$\approx Q_3 = 2,622 \text{ m}^3/\text{det}$$

Jadi arah aliran A  $\longrightarrow$  D  $\longrightarrow$  C dengan  $Q_1 = 1,766 \text{ m}^3/\text{det}$

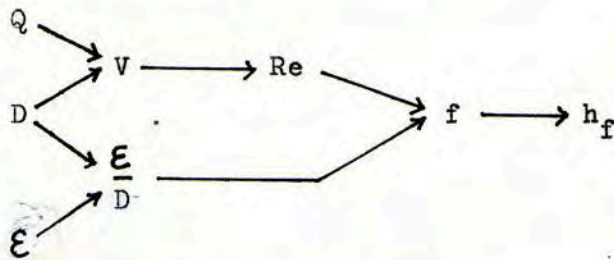
B  $\longrightarrow$  D  $\longrightarrow$  C dengan  $Q_2 = 0,855 \text{ m}^3/\text{det}$

$Q_3 = 2,622 \text{ m}^3/\text{det}$

Soal Wajib :

1. Sejenis minyak mempunyai kekentalan kinematik  $\nu = 8,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{det}$  mengalir melalui pipa bulat dari besi digalvanisasi ( nilai  $\epsilon$  dapat dilihat dari tabel/grafik ). Debit minyak 500 l/det dan diameter pipa 1 ft. Hitung kehilangan tenaga karena gesekan tiap 100 m' panjang pipa dan tentukan tipe pengalirannya. (  $g = 9,8 \text{ m/det}^2$  )

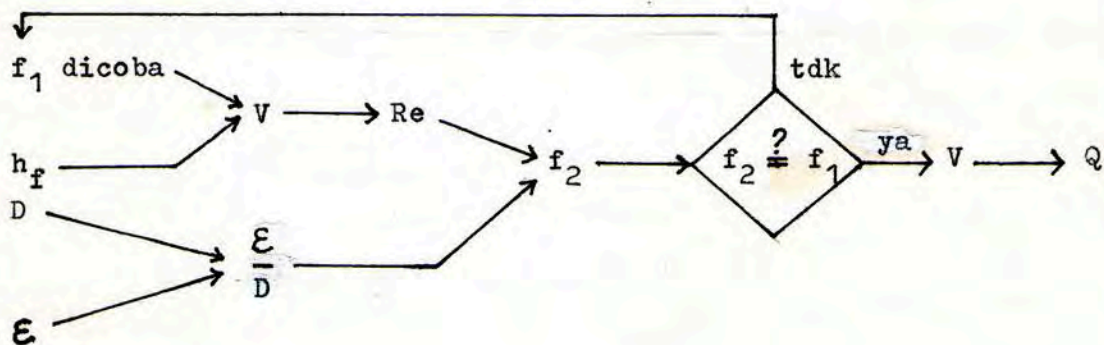
Skema hitungan :



2. Sebuah tandon air rumah tangga dihubungkan dengan kran dalam rumah dengan pipa besi (  $\epsilon = 0,003 \text{ ft}$  ) diameter 1 inch sepanjang 20 m. Berapa l/menit debit yang melalui pipa jika ternyata kehilangan tenaga karena gesekan 110 cm dan sebutkan tipe alirannya.

$g = 9,8 \text{ m/det}^2$  ,  $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{det}$

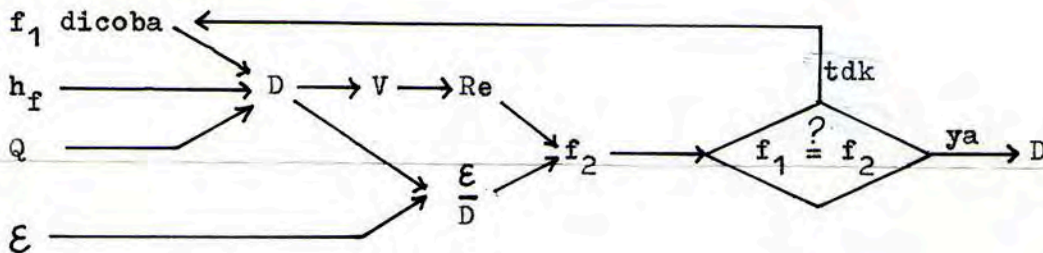
Skema hitungan :



Soal Pilihan :

3. Direncanakan suatu pipa besi tuang diaspal untuk membawa debit sebesar 700 l/det. Rencanakan dimensi pipa bulat tersebut ( cm ) jika disyaratkan kehilangan tenaga karena gesekan sebesar 25 cm untuk setiap m' panjang pipa ( ambil nilai  $g = 9,8 \text{ m/det}^2$ ,  $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{det}$  )

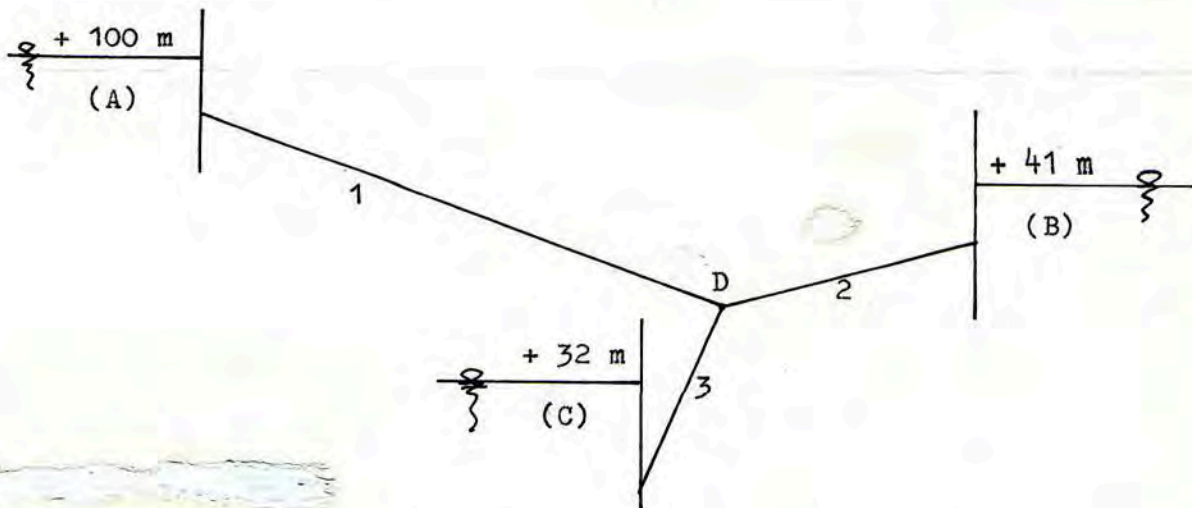
Skema hitungan :



3. Tiga kolam tando dihubungkan dengan sistim pipa sbb :

| Pipa | L (m) | D (cm) | f     |
|------|-------|--------|-------|
| 1    | 1000  | 50     | 0,016 |
| 2    | 300   | 35     | 0,014 |
| 3    | 200   | 30     | 0,015 |

Tentukan arah dan besar debit masing-masing pipa.  $g = 9,8 \text{ m/det}^2$



- Petunjuk :
- Hanya diperkenankan menggunakan grafik MOODY.
  - Kehilangan tenaga sekunder diabaikan.
  - Setiap mahasiswa mengerjakan 2 soal wajib dan 1 soal pilihan.
  - Boleh menggunakan skema hitungan yang lain dari yang tertulis diatas.

1. Sejenis minyak mempunyai kekentalan kinematik  $\nu = 8,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{det}$  mengalir melalui pipa bulat dari besi digalvanisasi (nilai  $\epsilon$  lihat grafik/tabel). Debit minyak  $500 \text{ l/det}$  dan diameter pipa  $1 \text{ ft}$ . Hitung kehilangan tenaga karena gesekan tiap  $100 \text{ m}$  panjang pipa dan tentukan tipe pengalirannya! ( $g = 9,8 \text{ m/det}^2$ )

Penyelesaian.

$$D = 1 \text{ ft} = 0,3048 \text{ m}$$

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot 0,3048^2 = 0,073 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,500}{0,073} = 6,85 \text{ m/det}$$

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{6,85 \cdot 0,3048}{8,5 \cdot 10^{-6}} = 2,5 \cdot 10^5$$

Utk besi digalvanisasi dari tabel didapat  $\epsilon = 0,0005 \text{ ft}$

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0,0005}{1} = 0,0005$$

$$Re = 2,5 \cdot 10^5$$

} dr Moody diagram didapat :  
 $f = 0,0185$  dan aliran daerah transisi

Kehilangan tenaga krn gesekan tiap  $100 \text{ m}$  pipa :

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} = 0,0185 \cdot \frac{100}{0,3048} \cdot \frac{6,85^2}{2 \cdot 9,8} = \underline{\underline{14,54 \text{ m}}}$$

2. Sebuah tandan air rumah tangga dihubungkan dengan kran dalam rumah dengan pipa besi ( $\epsilon = 0,003 \text{ ft}$ ) diameter  $1 \text{ inch}$  sepanjang  $20 \text{ m}$ . Berapa  $\text{l/merit}$  debit yang melalui pipa jika ternyata kehilangan tenaga karena gesekan  $110 \text{ cm}$  dan tentukan tipe alirannya.

$$g = 9,8 \text{ m/det}^2, \nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{det}$$

Penyelesaian :

$$D = 1 \text{ inch} = 2,54 \text{ cm}$$

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot 2,54^2 = 5,067 \text{ cm}^2$$

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0,003 \cdot 12}{1} = 0,036$$

Trial  $f = 0,060$

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \rightarrow V = \left( \frac{2gD h_f}{fL} \right)^{1/2}$$

$$= \left( \frac{2 \cdot 980 \cdot 2,54 \cdot 110}{f \cdot 2000} \right)^{1/2} = \left( \frac{273,812}{f} \right)^{1/2}$$

$$V = \left( \frac{273,812}{0,060} \right)^{1/2} = 67,55 \text{ cm/det}$$

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{67,55 \cdot 2,54}{10^{-2}} = 1,7 \cdot 10^4$$

$$\frac{E}{D} = 0,036$$

} dari grafik Moody didapat  
 $f = 0,064 \neq f = 0,060$ .

Dicoba  $f = 0,065$

$$V = \left( \frac{273,812}{0,065} \right)^{1/2} = 64,90 \text{ cm/det}$$

$$Re = \frac{64,90 \cdot 2,54}{10^{-2}} = 1,6 \cdot 10^4$$

$$\frac{E}{D} = 0,036$$

} dari grafik Moody didapat  
 $f = 0,064 \neq f_{lama} = 0,065$ .

Dipakai  $f = 0,064$

$$V = \left( \frac{273,812}{0,064} \right)^{1/2} = 65,41 \text{ cm/det}$$

$$Q = AV = 5,067 \cdot 65,41 = 331 \text{ cm}^3/\text{det}$$

$$\text{Jadi } Q = 0,331 \times 60 = \underline{\underline{19,89 \text{ l/menit}}}$$

$$Re = \frac{65,41 \cdot 2,54}{10^{-2}} = 1,6 \cdot 10^4$$

$$\frac{E}{D} = 0,036$$

} dari grafik Moody didapat  
 $f = 0,064 \rightarrow \text{OK}$

tipe aliran : pengaliran daerah transisi

3. Direncanakan suatu pipa besi tuang dipasang untuk membawa debit sebesar 700 l/det. Rencanakan diameter pipa (cm) jika disyaratkan kehilangan tenaga karena gesekan sebesar 25 cm untuk tiap m' pipa. (ambil nilai  $g = 9,8 \text{ m/det}$ ,  $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{det}$ ).

Penyelesaian :

$$Q = 700 \text{ l/det} = 0,7 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$h_f = \frac{8fLQ^2}{g\pi^2 D^5} \longrightarrow D^5 = \frac{8 \cdot f \cdot 1 \cdot 0,7^2}{9,8 \cdot \pi^2 \cdot 0,25} = 0,1621 f \quad \dots \dots (1)$$

$$V = \frac{Q}{\frac{1}{4}\pi D^2} = \frac{0,7}{\frac{1}{4}\pi \cdot (0,1621 f)^{2/5}} = \frac{1,8454}{f^{2/5}} \quad \dots \dots (2)$$

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 \cdot V}{\nu \cdot \frac{1}{4}\pi D} = \frac{4Q}{\nu \pi D}$$

$$Re = \frac{0,7 \cdot 4}{10^{-6} \cdot \pi \cdot (0,162 f)^{1/5}} = \frac{1282460,835}{f^{1/5}} \dots (3)$$

Hitungan dikerjakan dengan "trial & error"

Pipa besi tuang diaspal mempunyai  $E = 0,0004 \text{ ft} = 0,0004 \cdot 0,3048 = 0,000122 \text{ m}$

"Trial & Error"

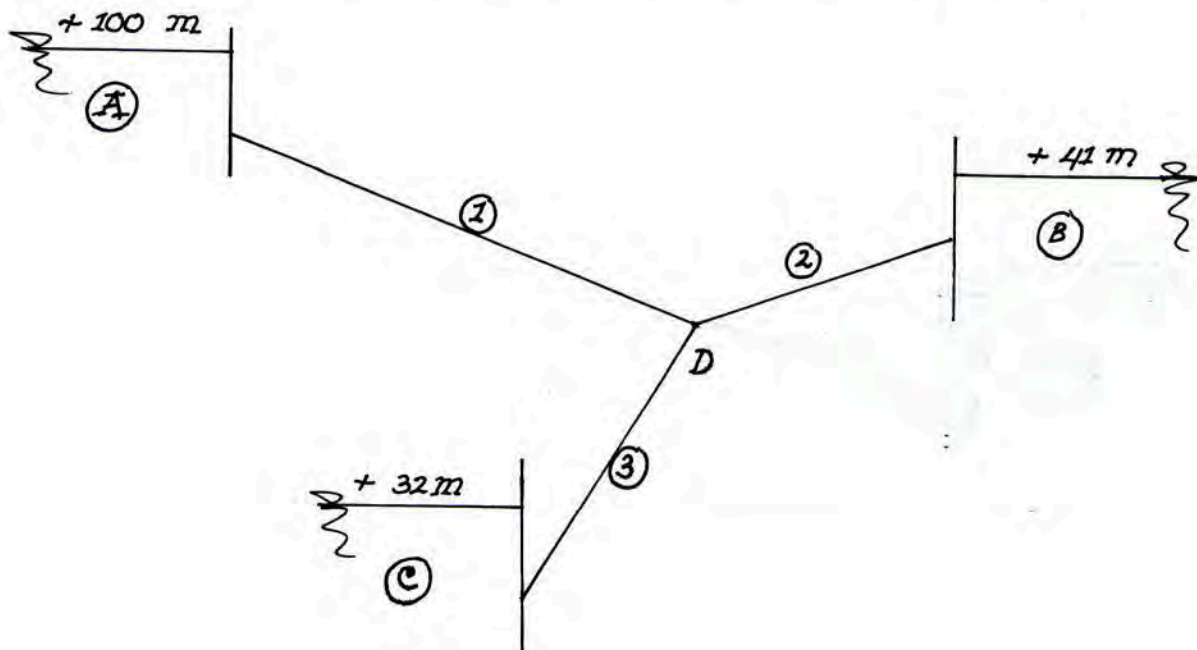
| $f_{\text{trial}}$ | $D \text{ (m)}$ | $V \text{ (m/d)}$ | $Re$             | $\frac{E}{D}$ | $f$ dari grafik Moody          |
|--------------------|-----------------|-------------------|------------------|---------------|--------------------------------|
| 0,013              | 0,292           | 10,48             | $3,1 \cdot 10^6$ | 0,00042       | $0,0162 \neq 0,013$            |
| 0,0145             | 0,298           | 10,04             | $3,0 \cdot 10^6$ | 0,00041       | $0,0162 \neq 0,0145$           |
| 0,016              | 0,304           | 9,65              | $2,9 \cdot 10^6$ | 0,0004        | $0,0161 \neq 0,0161$           |
| 0,0161             | 0,304           | 9,62              | $2,9 \cdot 10^6$ | 0,0004        | $0,0161 \rightarrow \text{OK}$ |

Jadi dipakai diameter pipa  $D = 30,4 \text{ cm}$

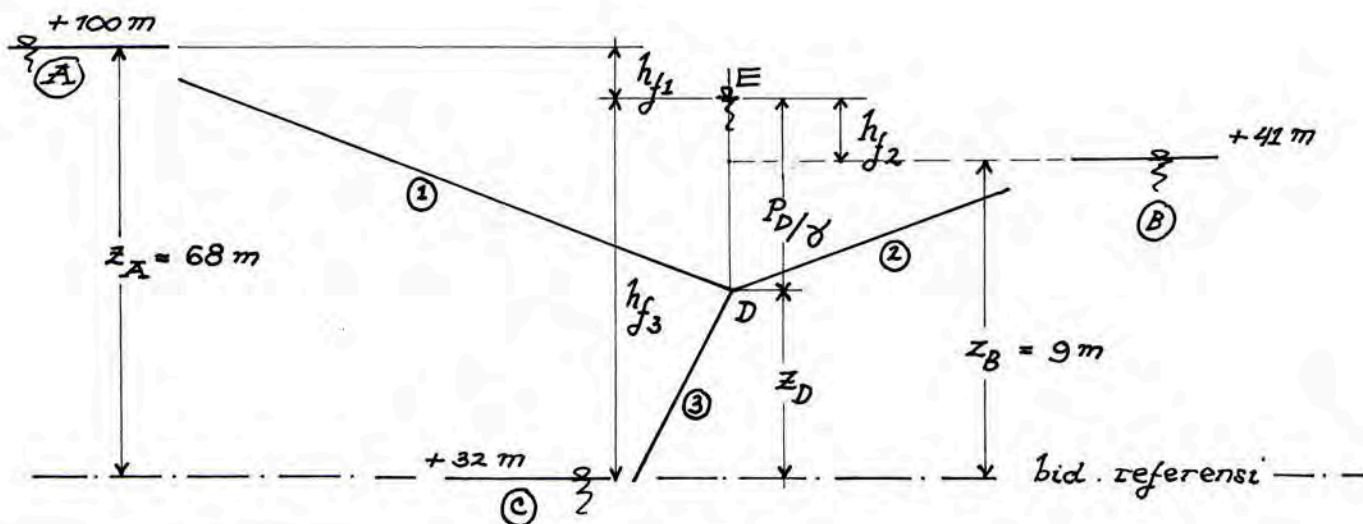
4. Tiga kolam tando dihubungkan dengan sistim pipa sbb :

| Pipa | $L \text{ (m)}$ | $D \text{ (cm)}$ | $f$   |
|------|-----------------|------------------|-------|
| 1    | 1000            | 50               | 0,016 |
| 2    | 300             | 35               | 0,014 |
| 3    | 200             | 30               | 0,015 |

Tentukan arah dan besar debit masing-masing pipa jika  $g = 9,8 \text{ m/d}^2$



Penyelesaian



$$h_f = \frac{8fLQ^2}{g\pi^2 D^5} \longrightarrow Q = \left( \frac{g\pi^2 D^5 h_f}{8fL} \right)^{1/2}$$

$$Q_1 = \left( \frac{9,8 \cdot \pi^2 \cdot 0,5^5 \cdot h_{f1}}{8 \cdot 0,016 \cdot 1000} \right)^{1/2} = 0,1537 h_{f1}^{1/2}$$

$$Q_2 = \left( \frac{9,8 \cdot \pi^2 \cdot 0,35^5 \cdot h_{f2}}{8 \cdot 0,014 \cdot 300} \right)^{1/2} = 0,1230 h_{f2}^{1/2}$$

$$Q_3 = \left( \frac{9,8 \cdot \pi^2 \cdot 0,30^5 \cdot h_{f3}}{8 \cdot 0,015 \cdot 200} \right)^{1/2} = 0,0990 h_{f3}^{1/2}$$

$$h_{f1} = z_A - (z_D + P_D/\gamma) = 68 - (z_D + P_D/\gamma)$$

$$h_{f2} = |z_B - (z_D + P_D/\gamma)| = |9 - (z_D + P_D/\gamma)|$$

$$h_{f3} = (z_D + P_D/\gamma) - z_C = (z_D + P_D/\gamma) - 0$$

Menesri arah aliran :

Misal  $z_D + P_D/\gamma = z_B = 9 \text{ m}$

$$h_{f1} = 68 - 9 = 59 \text{ m} \longrightarrow Q_1 = 1,18 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$h_{f2} = 9 - 9 = 0 \text{ m} \longrightarrow Q_2 = 0 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$h_{f3} = 9 - 0 = 9 \text{ m} \longrightarrow Q_3 = 0,297 \text{ m}^3/\text{d}$$

$Q_1 > Q_3 \longrightarrow$  sehingga arah aliran  $A \rightarrow D \rightarrow \begin{matrix} B \\ C \end{matrix}$



Pencari debit tiap pipa, syarat  $Q_1 = Q_2 + Q_3$

| $Z_D + P_D/\gamma$<br>(m) | $h_{f1}$<br>(m) | $Q_1$<br>(m <sup>3</sup> /d) | $h_{f2}$<br>(m) | $Q_2$<br>(m <sup>3</sup> /d) | $h_{f3}$<br>(m) | $Q_3$<br>(m <sup>3</sup> /d) | $Q_1 - Q_2 - Q_3$<br>(m <sup>3</sup> /d) |
|---------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|--|
| 26                        | 42              | 0,996                        | 17              | 0,507                        | 26              | 0,505                        | - 0,016                                  |
| 25,5                      | 42,5            | 1,002                        | 16,5            | 0,499                        | 25,5            | 0,4997                       | 0,003                                    |
| 25,52                     | 42,48           | 1,002                        | 16,52           | 0,500                        | 25,52           | 0,500                        | 0,002                                    |
| 25,54                     | 42,46           | 1,001                        | 16,54           | 0,500                        | 25,54           | 0,500                        | 0,001                                    |
| 25,55                     | 42,45           | 1,001                        | 16,55           | 0,500                        | 25,55           | 0,500                        | 0,0008                                   |

Jadi  $Q_1 = 1 \text{ m}^3/\text{det}$   
 $Q_2 = 0,5 \text{ m}^3/\text{det}$   
 $Q_3 = 0,5 \text{ m}^3/\text{det}$

UJIAN PERTAMA HIDROLIKA I

Tanggal : 9 Januari 1985

Waktu : 2 jam

Penguji : Ir. Djoko Luknanto

1. Sebuah benda dengan diameter 2 mm bergerak lambat dalam air. Untuk menyelidiki besar gaya tahanannya, sebuah model yang 100 kali lebih besar digerakkan dalam gliserin dengan  $V = 25$  cm/det. Gaya tahanan yang terukur pada model 1,5 Newton. Hitung besar kecepatan dan gaya tahanan yang sesungguhnya. Suhu air  $20^{\circ}\text{C}$  (Air :  $\mu = 0,001$  kg/m.det;  $\rho = 999$  kg/m<sup>3</sup>; Gliserin:  $\mu = 1,5$  kg/m.det;  $\rho = 1263$  kg/m<sup>3</sup>)

2. Gaya tahanan ( $K_D$ ) yang dialami suatu benda (bola) yang bergerak dalam air dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu :

- ukuran bola itu sendiri (D)
- kecepatan bola (V)
- rapat massa cairan ( $\rho$ )
- kekentalan cairan ( $\mu$ )

Dengan menggunakan analisa dimensi rumuskan hubungan antara  $K_D$  dengan keempat faktor/variabel di atas.

3. Titik A dan B dihubungkan oleh tiga buah pipa paralel dengan karakteristik nya sebagai berikut :

| Pipa | L(m) | D(cm) | $\epsilon$ (mm) |
|------|------|-------|-----------------|
| 1    | 100  | 15    | 0,24            |
| 2    | 125  | 10    | 0,12            |
| 3    | 75   | 8     | 0,20            |

Jika kehilangan tenaga antara titik A dan B sebesar 20,00 m dan minor losses sepanjang pipa diabaikan hitunglah debit masing-masing pipa. ( $\rho = 1000$  kg/m<sup>3</sup>;  $\nu = 1,02 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/det;  $g = 9,8$  m/det<sup>2</sup>)

4. Titik A dan B dihubungkan oleh tiga pipa seri dengan dimensi sebagai berikut:

| Pipa | L(m) | D(cm) | $\epsilon$      |
|------|------|-------|-----------------|
| 1    | 350  | 35    | besi tuang baru |
| 2    | 200  | 20    | besi tuang baru |
| 3    | 150  | 30    | besi tuang baru |

Kehilangan tinggi tenaga total (tidak termasuk minor losses) sebesar 12,00 m. Hitung debit yang melalui pipa (minor losses diabaikan). ( $\nu = 1,14 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/det;  $g = 9,8$  m/det<sup>2</sup>).

PERHATIAN :

HANYA DIPERKENANKAN MEMBUKA GRAFIK MOODY YANG MASIH BERSIH

Jawaban Ujian I Hidrolika I UJB.

1. Benda bergerak didalam air : gaya kental berpengaruh besar, dipakai kriteria bilangan Reynolds.

$$\text{Jadi : } Re_p = 1 \implies \frac{\rho_r L_r V_r}{\mu_r} = 1$$

$$V_r = \frac{\mu_r}{\rho_r L_r}$$

$$\frac{V_p}{V_m} = \frac{(0,001/1,5)}{(999/1263)(1/100)}$$

$$= 0,084$$

$$\text{Jadi } V_p = 0,084 \cdot 25 = \underline{\underline{2,107 \text{ cm/det.}}}$$

Gaya tahanan  $K_D = C_D \rho V^2 L^2$  dan  $C_D = f(Re)$

$$Re_p = 1 \implies \text{a. } V_r L_r = \mu_r / \rho_r$$

$$\text{b. } Re_p = Re_m \implies (C_D)_p = (C_D)_m$$

$$(C_D)_r = 1.$$

$$(K_D)_r = (C_D)_r \rho_r V_r^2 L_r^2$$

$$\frac{(K_D)_p}{(K_D)_m} = 1 \cdot \rho_r \cdot \left(\frac{\mu_r}{\rho_r}\right)^2$$

$$= \rho_r^{-1} \cdot \mu_r^2$$

$$= (999/1263)^{-1} \cdot (0,001/1,5)^2 = 5,619 \cdot 10^{-7}$$

$$\text{Jadi } (K_D)_p = 5,619 \cdot 10^{-7} \cdot 1,5 = \underline{\underline{8,428 \cdot 10^{-7} \text{ Newton}}}$$

$$2. K_D = f(D, V, \rho, \mu)$$

$$= C D^a V^b \rho^c \mu^d$$

analisa dimensi :

$$\frac{M}{LT^2} = L \cdot \left(\frac{L}{T}\right)^b \cdot \left(\frac{M}{L^3}\right)^c \cdot \left(\frac{M}{LT}\right)^d$$

ruas kanan & kiri harus sama :

$$\text{massa } M \rightarrow 1 = c + d \quad (I)$$

$$\text{panjang } L \rightarrow 1 = a + b - 3c - d \quad (II)$$

$$\text{waktu } T \rightarrow -2 = -b - d \quad (III)$$

$$\text{didapat (I) } c = 1 - d$$

$$(III) b = 2 - d$$

$$(II) 1 = a + 2 - d - 3(1 - d) - d \rightarrow a = 2 - d$$

$$\text{Sehingga } K_D = C \cdot D^{2-d} \cdot V^{2-d} \cdot \rho^{1-d} \cdot \mu^d$$

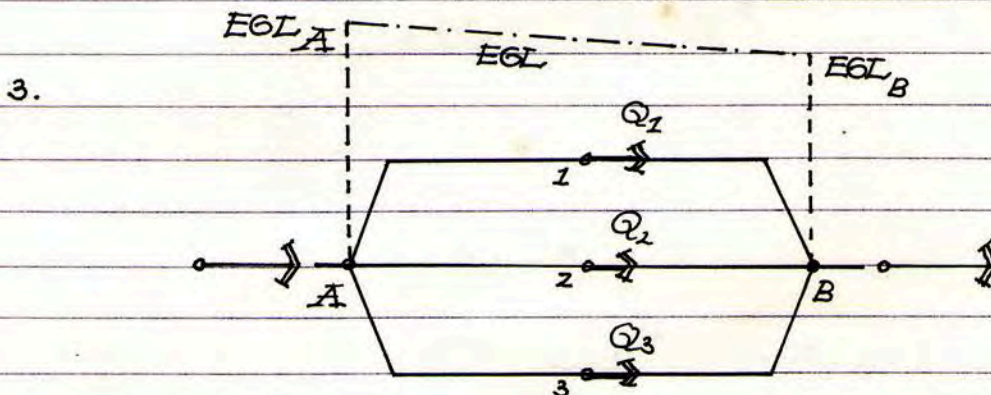
$$= CD^2 V^2 \rho \cdot \left(\frac{VD\rho}{\mu}\right)^{-d}$$

$$= CD^2 V^2 \rho \cdot (Re)^d$$

$$= C(Re)^d \cdot \rho \cdot V^2 \cdot D^2$$

$$\text{Jadi : } K_D = f(Re) \cdot \rho V^2 D^2$$

$$= C_D \cdot \rho V^2 D^2$$



$$\text{Rumus kehilangan tenaga : } h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$$h_{f1} = h_{f2} = h_{f3} = h_{fAB} = 20,00 \text{ m.}$$

$$\text{Sehingga } V = \sqrt{\frac{2g h_f \cdot D}{f L}}$$

$$= \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 20 \cdot \frac{D}{f L}}$$

$$= 19,799 \sqrt{\frac{D}{f L}}$$

Untuk pipa 1 :  $L = 100 \text{ m}$ ,  $D = 0,15 \text{ m}$ ,  $\frac{\epsilon}{D} = 0,0016$

Trial :

$$f = 0,022 \rightarrow V = 19,799 \sqrt{\frac{0,15}{0,022 \cdot 100}}$$

$$V = 5,170 \text{ m/detik}$$

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

$$= \frac{5,170 \cdot 0,15}{1,02 \cdot 10^{-6}} = 7,6 \cdot 10^5$$

$$\frac{\epsilon}{D} = 0,0016$$

} diagram Moody :  $f = 0,022 (= f_{lama})$

→ OK

$$Q_1 = \frac{1}{4} \pi D^2 V$$

$$= \frac{1}{4} \pi 0,15^2 \cdot 5,17 = 0,091 \text{ m}^3/\text{det} = \underline{\underline{91,361 \text{ liter/detik}}}$$

Untuk pipa 2 :  $L = 125 \text{ m}$ ,  $D = 0,10 \text{ cm}$ ,  $\frac{\epsilon}{D} = 0,0012$

Trial :

$$f = 0,020 \rightarrow V = 19,799 \sqrt{\frac{0,10}{0,020 \cdot 125}} = 3,96 \text{ m/detik}$$

$$Re = \frac{3,96 \cdot 0,10}{1,02 \cdot 10^{-6}} = 3,9 \cdot 10^5$$

$$\frac{\epsilon}{D} = 0,0012$$

} diagram Moody .

$$f = 0,021 \neq f_{lama} = 0,020$$

$$f = 0,021 \rightarrow V = 3,864 \text{ m/detik}$$

$$Re = 3,8 \cdot 10^5$$

$$\frac{\epsilon}{D} = 0,0012$$

} diagram Moody :

$$f = 0,022 \neq f_{lama} = 0,021$$

$$f = 0,022 \rightarrow V = 3,76 \text{ m/detik}$$

$$Re = 3,7 \cdot 10^5$$

$$\frac{\epsilon}{D} = 0,0012$$

} diagram Moody

$$f = 0,022 (= f_{lama})$$

→ OK

$$Q_2 = \frac{1}{4} \pi 0,1^2 \cdot 3,76 = 0,0296 \text{ m}^3/\text{det} = \underline{\underline{29,531 \text{ liter/detik}}}$$

Untuk pipa 3 :  $L = 75 \text{ m}$ ,  $D = 0,08 \text{ m}$ ,  $\frac{E}{D} = 0,0025$

Trial

$$f = 0,028 \rightarrow V = 3,864 \text{ m/det}$$

$$Re = 3,03 \cdot 10^5$$

$$\frac{E}{D} = 0,0025$$

} diagram Moody  
 $f = 0,0255 \neq f_{lama}$

$$f = 0,026 \rightarrow V = 4,010 \text{ m/det}$$

$$Re = 3,15 \cdot 10^5$$

$$\frac{E}{D} = 0,0025$$

} diagram Moody  
 $f = 0,0255 \neq f_{lama}$

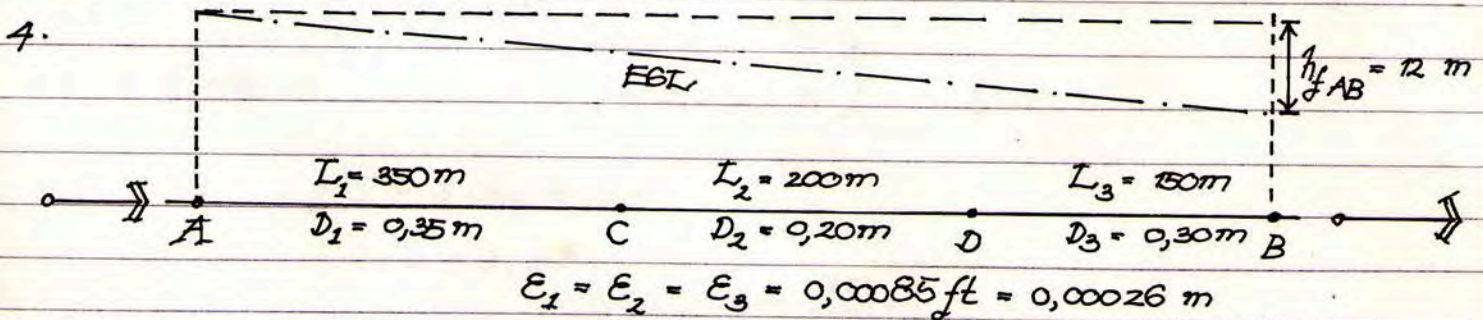
$$f = 0,0255 \rightarrow V = 4,05 \text{ m/det}$$

$$Re = 3,18 \cdot 10^5$$

$$\frac{E}{D} = 0,0025$$

} diagram Moody  
 $f = 0,0255 = f_{lama}$   
 $\rightarrow$  OK

$$Q_3 = \frac{1}{4} \pi \cdot 0,08^2 \cdot 4,05 \cdot 1000 = \underline{\underline{20,358 \text{ liter/detik}}}$$



$$\frac{E}{D_1} = 0,00074$$

$$\frac{E}{D_2} = 0,0018$$

$$\frac{E}{D_3} = 0,00087$$

Trial 1 : dianggap hidrolis kasar & turbulen sempurna, dari grafik Moody didapat :

$$f_1 = 0,0185$$

$$f_2 = 0,021$$

$$f_3 = 0,0195$$

Rumus 
$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$$h_{f1} + h_{f2} + h_{f3} = 12 \text{ m}$$

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 \implies \frac{1}{4} \pi D_1^2 V_1 = \frac{1}{4} \pi D_2^2 V_2 = \frac{1}{4} \pi D_3^2 V_3$$

$$0,35^2 V_1 = 0,20^2 V_2 = 0,30^2 V_3$$

$$V_2 = \left(\frac{0,35}{0,20}\right)^2 V_1 = 1,75^2 V_1$$

$$V_3 = \left(\frac{0,35}{0,30}\right)^2 V_1 = 1,167^2 V_1$$

$$\frac{h_f}{f_1} = f_1 \cdot \frac{350}{0,35} \cdot \frac{V_1^2}{2 \cdot 9,8}$$

$$= 51,02 f_1 V_1^2$$

$$\frac{h_f}{f_2} = f_2 \cdot \frac{200}{0,2} \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot 9,8}$$

$$= 51,02 f_2 V_2^2 = 51,02 f_2 (1,75^2 V_1)^2$$

$$= 478,52 f_2 V_1^2$$

$$\frac{h_f}{f_3} = f_3 \cdot \frac{150}{0,30} \cdot \frac{(1,167^2 V_1)^2}{2 \cdot 9,8}$$

$$= 47,26 f_3 V_1^2$$

$$\Sigma h_f = 51,02 f_1 V_1^2 + 478,52 f_2 V_1^2 + 47,26 f_3 V_1^2$$

$$V_1 = \sqrt{\frac{12}{51,02 f_1 + 478,52 f_2 + 47,26 f_3}}$$

Trial 1 :  $f_1 = 0,0185$ ,  $f_2 = 0,021$ ,  $f_3 = 0,0195$

didapat :

$$V_1 = 1,004 \text{ m/det}, \quad V_2 = 3,073 \text{ m/det}, \quad V_3 = 1,366 \text{ m/det}$$

$$Re_1 = 3,1 \cdot 10^5, \quad Re_2 = 5,4 \cdot 10^5, \quad Re_3 = 3,6 \cdot 10^5$$

$$\frac{\epsilon}{D_1} = 0,00074, \quad \frac{\epsilon}{D_2} = 0,0013, \quad \frac{\epsilon}{D_3} = 0,00087$$

dari diagram Moody didapat :

$$f_1 = 0,0195 \neq f_1 \text{ lama} = 0,0185$$

$$f_2 = 0,0215 \neq f_2 \text{ lama} = 0,0210$$

$$f_3 = 0,020 \neq f_3 \text{ lama} = 0,0195$$

Trial 2 :  $f_1 = 0,0195$        $f_2 = 0,0215$        $f_3 = 0,020$   
 didapat

$V_1 = 0,991 \text{ m/det}$        $V_2 = 3,034 \text{ m/det}$        $V_3 = 1,348 \text{ m/det}$   
 $Re_1 = 3,04 \cdot 10^5$        $Re_2 = 5,3 \cdot 10^5$        $Re_3 = 3,5 \cdot 10^5$

dari grafik Moody didapat :

$f_1 = 0,0195 \rightarrow \text{OK}$   
 $f_2 = 0,0215 \rightarrow \text{OK}$   
 $f_3 = 0,020 \rightarrow \text{OK}$

Jadi debit yg melalui pipa :

$$Q_1 = \frac{1}{4} \pi D_1^2 V_1$$

$$= 0,25 \cdot \pi \cdot 0,35^2 \cdot 0,991 \cdot 1000 = 95,345 \text{ liter/detik}$$

$$Q_2 = \frac{1}{4} \pi D_2^2 V_2$$

$$= 0,25 \cdot \pi \cdot 0,20^2 \cdot 3,034 \cdot 1000 = 95,316 \text{ liter/detik}$$

$$Q_3 = \frac{1}{4} \pi D_3^2 V_3$$

$$= 0,25 \cdot \pi \cdot 0,30^2 \cdot 1,348 \cdot 1000 = 95,285 \text{ liter/detik}$$

Jadi  $Q \approx 95,315 \text{ liter/detik}$



UJIAN AKHIR HIDROLIKA I  
 TANGGAL : 25 JANUARI 1985  
 WAKTU : 3 JAM  
 PENGUJI : IR. DJOKO LUKNANTO

BUKU TERBUKA

1. Sebuah sistem jaringan pipa ABC terdiri dari sebuah pompa di titik A, kolam tando di titik C dan tiga buah pipa. Pompa A memompa air dari suatu mata air ke kolam tando melalui ketiga pipa di atas dengan debit 141,5 l/detik. Dari titik A air melalui pipa 1 menuju titik B. Di titik B pipa bercabang menjadi dua yaitu pipa 2 dan 3, kedua pipa ini bertemu pada kolam tando C yang mempunyai elevasi muka air + 101,00 m.  
 Hitung tinggi tenaga yang hilang dari titik A s/d C dan gambar "Energy Grade-Line" (EGL)-nya. Hitung pula debit masing-masing pipa dan sifat pengalirannya. Karakteristik masing-masing pipa adalah sebagai berikut :

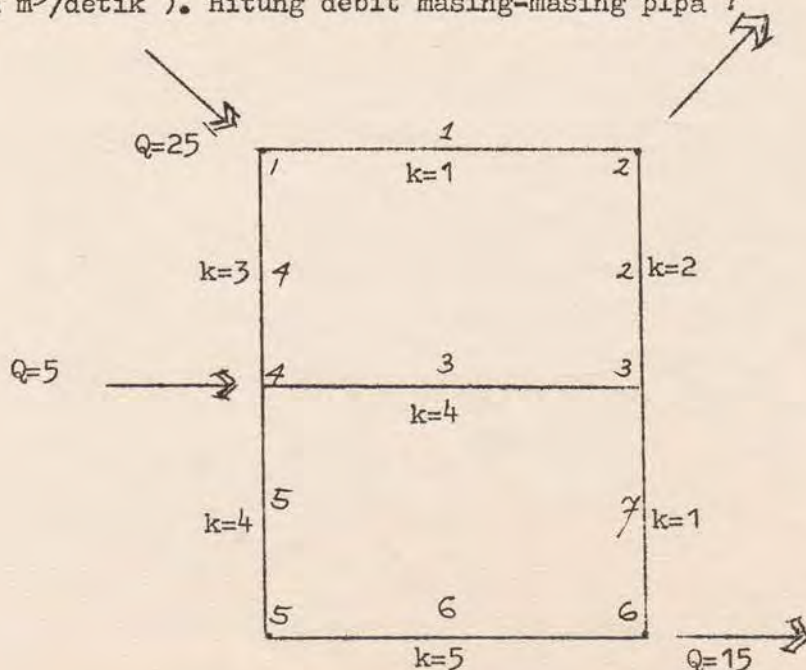
| Pipa | L(m) | Diameter (mm) | f     |
|------|------|---------------|-------|
| 1    | 4877 | 406           | 0,020 |
| 2    | 3048 | 254           | 0,022 |
| 3    | 3353 | 203           | 0,018 |

2. Sebuah sistem tiga buah kolam tando A, B dan C dihubungkan dengan 4 buah pipa. Keempat buah pipa tersebut bertemu pada sebuah titik D. Kolam tando A mempunyai elevasi + 250,00 m berhubungan dengan titik D melalui 2 buah pipa yaitu pipa 1 dan 2. Kolam tando B mempunyai elevasi + 220,00 m berhubungan dengan titik D melalui pipa 3. Kolam tando C mempunyai elevasi + 105,00 m berhubungan dengan titik D melalui pipa 4. Hitung debit yang melalui masing-masing pipa.

Karakteristik masing-masing pipa adalah sebagai berikut :

| Pipa | L(m) | Diameter (inch) | f     |
|------|------|-----------------|-------|
| 1    | 1500 | 20              | 0,016 |
| 2    | 1500 | 15              | 0,020 |
| 3    | 600  | 25              | 0,014 |
| 4    | 400  | 20              | 0,018 |

3. Sebuah sistem jaringan pipa seperti tampak dalam gambar di bawah - ( Q dalam m<sup>3</sup>/detik ). Hitung debit masing-masing pipa ?



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL  
UNIVERSITAS JANABADRA  
YOGYAKARTA

---

UJIAN AKHIR HIDROLIKA I  
Tanggal : 25 Januari 1985  
Waktu : 3 jam  
Penguji : Ir. Djoko Luknanto

BUKU TERBUKA

---

1. Sebuah sistem jaringan pipa ABC terdiri dari sebuah pompa di titik A, kolam tando di titik C dan tiga buah pipa. Pompa A memompa air dari suatu mata air ke kolam tando melalui ketiga pipa di atas dengan debit 141,5 l/detik. Dari titik A air melalui pipa 1 menuju titik B. Di titik B pipa bercabang menjadi dua yaitu pipa 2 dan 3, kedua pipa ini bertemu pada kolam tando C yang mempunyai elevasi muka air + 101,00 m. Hitung tinggi tenaga yang hilang dari titik A s/d C dan gambar "Energy Grade Line" (EGL)-nya. Hitung pula debit masing-masing pipa dan sifat pengalirannya.

Karakteristik masing-masing pipa adalah sebagai berikut :

| Pipa | L (m) | Diameter (mm) | f     |
|------|-------|---------------|-------|
| 1    | 4877  | 406           | 0,020 |
| 2    | 3048  | 254           | 0,022 |
| 3    | 3353  | 203           | 0,018 |

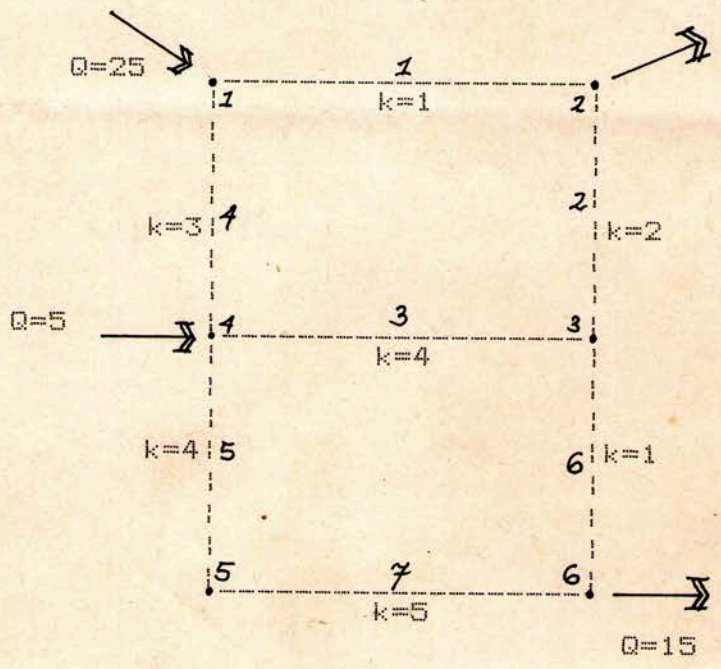
2. Sebuah sistem tiga buah kolam tando A, B dan C dihubungkan dengan 4 buah pipa. Keempat buah pipa tersebut bertemu pada sebuah titik D. Kolam tando A mempunyai elevasi + 250,00 m berhubungan dengan titik D melalui 2 buah pipa yaitu pipa 1 dan 2. Kolam tando B mempunyai elevasi + 220,00 m berhubungan dengan titik D melalui pipa 3. Kolam tando C mempunyai elevasi + 105,00 m berhubungan dengan titik D melalui pipa 4. Hitung debit yang melaului masing-masing pipa.

Karakteristik masing-masing pipa adalah sebagai berikut :

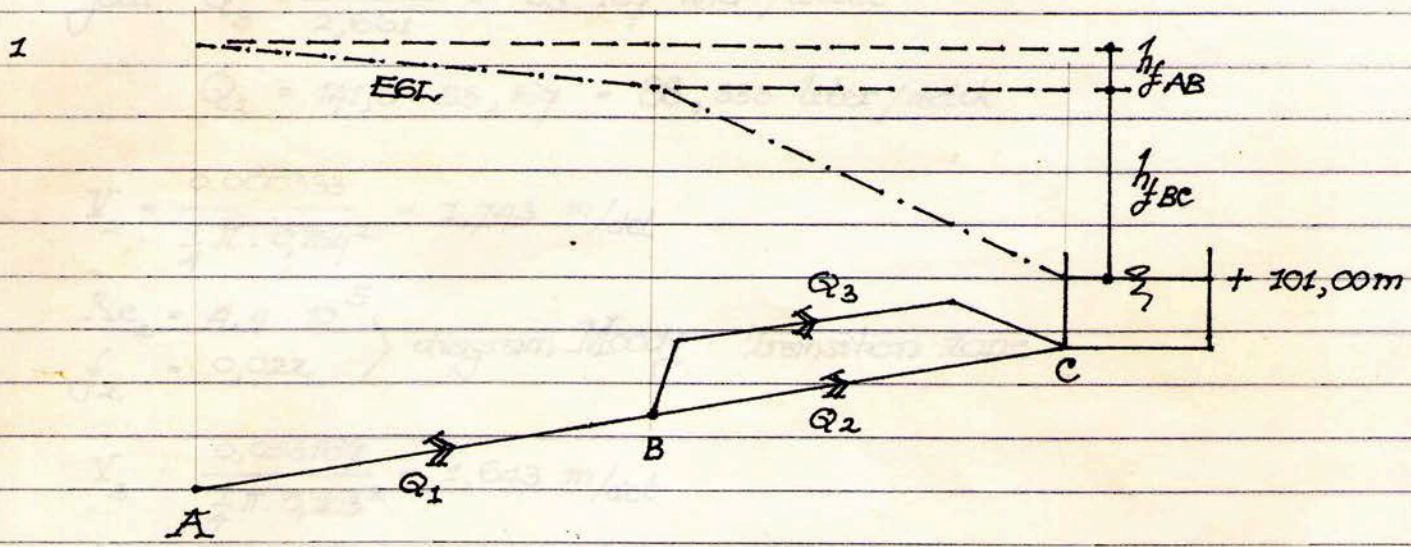
| Pipa | L (m) | Diameter (inch) | f     |
|------|-------|-----------------|-------|
| 1    | 1500  | 20              | 0,016 |
| 2    | 1500  | 15              | 0,020 |
| 3    | 600   | 25              | 0,014 |
| 4    | 400   | 20              | 0,018 |

3. Sebuah sistem jaringan pipa seperti tampak dalam gambar di bawah ( $Q$  dalam  $m^3/detik$ ). Hitung debit masing-masing pipa ?

*Datas text .*



Jawaban Ujian Akhir Hidrolika I UJB.



Rumus : 
$$h_f = \frac{8fLQ^2}{\pi^2 g D^5}$$

$$h_{f/B2C} = h_{f/B3C} = h_{f/BC}$$

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

$$h_{f/AB} = h_f = \frac{8f_1 L_1 Q_1^2}{\pi^2 g D^5}$$

$$= \frac{8 \cdot 0,02 \cdot 4877 \cdot 0,1415^2}{\pi^2 \cdot 9,8 \cdot 0,406^5} = 14,643 \text{ m}$$

$$V_1 = \frac{Q_1}{\frac{1}{4} \pi D_1^2} = \frac{0,1415}{\frac{1}{4} \pi \cdot 0,406^2} = 1,093 \text{ m/det}$$

$$Re_1 = \frac{VD}{\nu} = \frac{1,093 \cdot 0,406}{1 \cdot 10^{-6}} = 4,4 \cdot 10^5$$

$f_1 = 0,020$

diagram Moody:  
Transition zone.

$$h_{f/2} = h_{f/3} \implies \frac{8f_2 L_2 Q_2^2}{\pi^2 g D_2^5} = \frac{8f_3 L_3 Q_3^2}{\pi^2 g D_3^5}$$

$$\frac{f_2 L_2 Q_2^2}{D_2^5} = \frac{f_3 L_3 Q_3^2}{D_3^5} \implies Q_2^2 = \left(\frac{0,254}{0,203}\right)^5 \cdot \frac{0,018 \cdot 3353}{0,022 \cdot 3048} Q_3^2$$

$Q_2 = 1,661 Q_3$

$Q_3 = Q_3$

$$Q_2 + Q_3 = 2,661 Q_3 \implies Q_1 = 2,661 Q_3$$

$$\text{Jadi } Q_3 = \frac{141,5}{2,661} = 53,167 \text{ liter/detik}$$

$$Q_2 = 141,5 - 53,167 = 88,333 \text{ liter/detik.}$$

$$V_2 = \frac{0,088333}{\frac{1}{4} \pi \cdot 0,254^2} = 1,743 \text{ m/det}$$

$$\left. \begin{array}{l} Re_2 = 4,4 \cdot 10^5 \\ f_2 = 0,022 \end{array} \right\} \text{diagram Moody : Transition zone.}$$

$$V_3 = \frac{0,053167}{\frac{1}{4} \pi \cdot 0,203^2} = 1,643 \text{ m/det}$$

$$\left. \begin{array}{l} Re_3 = 3,3 \cdot 10^5 \\ f_3 = 0,018 \end{array} \right\} \text{diagram Moody : Transition zone}$$

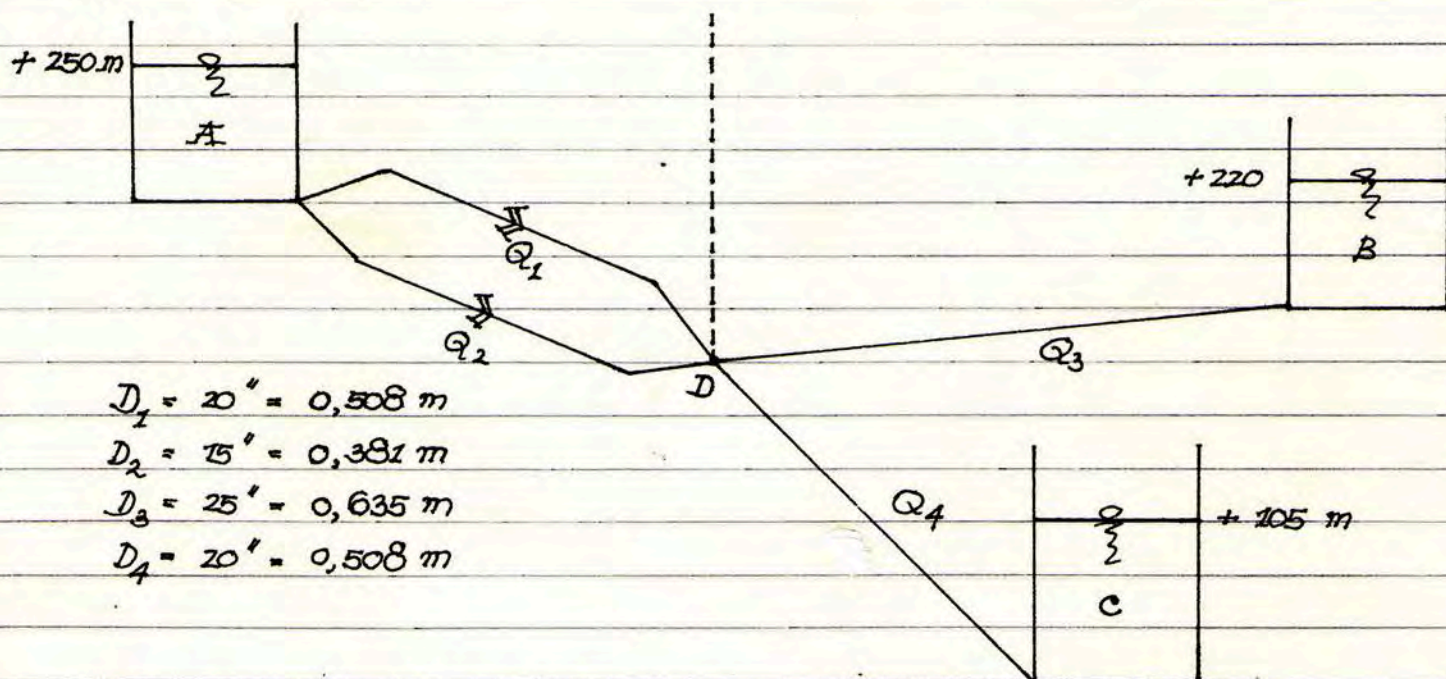
$$\begin{aligned} h_{f_2} = h_{f_3} &= \frac{8f_2 L_2 Q_2^2}{\pi^2 g D_2^5} \\ &= \frac{8 \cdot 0,022 \cdot 3048 \cdot 0,088333^2}{\pi^2 \cdot 9,8 \cdot 0,254^5} = 44,315 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi

| Pipa | Debit (l/det) | V (m/det) | $h_f$ (m) | Sifat pengaliran |
|------|---------------|-----------|-----------|------------------|
| 1    | 141,5         | 1,093     | 14,643    | transisi         |
| 2    | 88,333        | 1,743     | 44,315    | transisi         |
| 3    | 53,167        | 1,643     | 44,315    | transisi         |

$$h_{f_{ac}} = 14,643 + 44,315 = \underline{\underline{58,958 \text{ m.}}}$$

2.



$$D_1 = 20'' = 0,508 \text{ m}$$

$$D_2 = 15'' = 0,381 \text{ m}$$

$$D_3 = 25'' = 0,635 \text{ m}$$

$$D_4 = 20'' = 0,508 \text{ m}$$

Misal  $EGL_D = EGL_B = +220 \text{ m}$

$$\rightarrow a). \frac{h_f}{f_1} = \frac{h_f}{f_2} = 250 - 220 = 30 \text{ m}$$

$$b). \frac{h_f}{f_4} = 220 - 105 = 115 \text{ m}$$

$$c). Q_3 = 0$$

$$h_f = \frac{8fLQ^2}{\pi^2 g D^5} \rightarrow Q = \sqrt{\frac{\pi^2 g D^5 h_f}{8fL}}$$

$$Q_1 = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 9,8 \cdot 0,508^5 \cdot 30}{8 \cdot 0,016 \cdot 1500}} = 0,715 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$Q_2 = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 9,8 \cdot 0,381^5 \cdot 30}{8 \cdot 0,020 \cdot 1500}} = 0,312 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$Q_4 = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 9,8 \cdot 0,508^5 \cdot 115}{8 \cdot 0,018 \cdot 400}} = 2,556 \text{ m}^3/\text{det}$$

ternyata

$$Q_4 > Q_1 + 2$$

Jadi aliran dalam pipa adalah  $A \rightarrow D \rightarrow C$

$$\frac{h_f}{f_1} = \frac{h_f}{f_2} = 250 - EGL_A$$

$$\frac{h_f}{f_3} = 220 - EGL_A$$

$$\frac{h_f}{f_4} = EGL_A - 105$$

Trial EBLA:

| EBLA<br>(m) | $h_{f1-2}$<br>(m) | $Q_1$<br>(m <sup>3</sup> /det) | $Q_2$<br>(m <sup>3</sup> /det) | $h_{f3}$<br>(m) | $Q_3$<br>(m <sup>3</sup> /det) | $h_{f4}$<br>(m) | $Q_4$<br>(m <sup>3</sup> /det) | $Q_{1+2+3-4}$<br>(m <sup>3</sup> /det) |
|-------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|--|
| + 200       | 50                | 0,923                          | 0,402                          | 20              | 1,724                          | 95              | 2,323                          | 0,726                                  |
| 205         | 45                | 0,876                          | 0,382                          | 15              | 1,493                          | 100             | 2,383                          | 0,367                                  |
| 210         | 40                | 0,826                          | 0,360                          | 10              | 1,219                          | 105             | 2,442                          | - 0,038                                |
| 209,5       | 40,5              | 0,831                          | 0,362                          | 10,5            | 1,249                          | 104,5           | 2,437                          | 0,0054                                 |
| 209,6       | 40,4              | 0,830                          | 0,362                          | 10,4            | 1,243                          | 104,6           | 2,438                          | - 0,0032                               |
|             |                   |                                |                                |                 |                                |                 |                                | 0                                      |

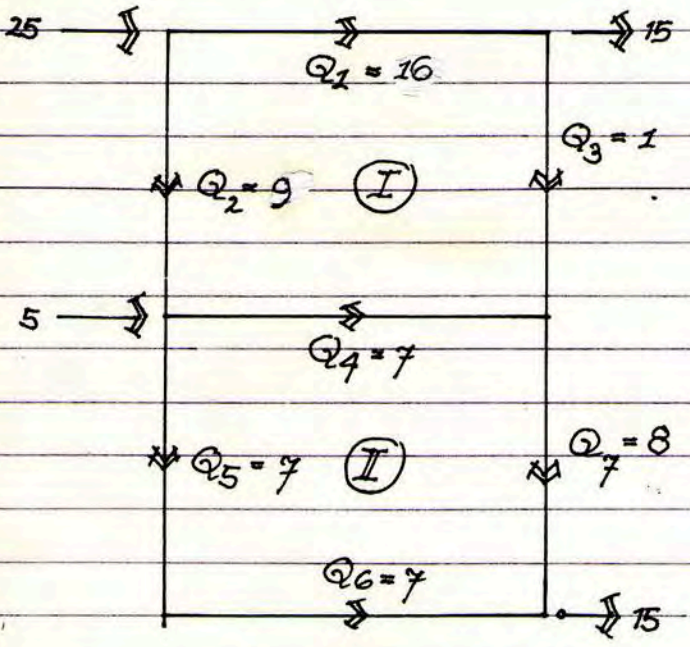
Jadi  $Q_1 = \underline{\underline{830 \text{ liter / detik}}}$

$Q_2 = \underline{\underline{362 \text{ liter / detik}}}$

$Q_3 = \underline{\underline{1243 \text{ liter / detik}}}$

$Q_4 = \underline{\underline{2438 \text{ liter / detik}}}$

3.



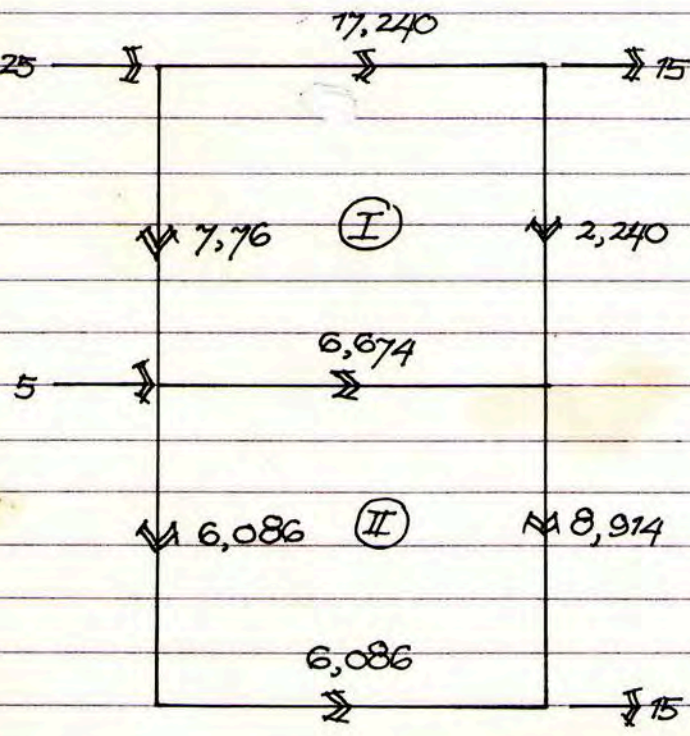
| I         | $kQ^2$  |
|-----------|---------|
| 1. $16^2$ | = 256 ↓ |
| 3. $9^2$  | = 243 ↗ |
| 2. $1^2$  | = 2 ↓   |
| 4. $7^2$  | = 196 ↗ |
| <hr/>     |         |
|           | 181 ↗   |

|                              | $2kQ$     |
|------------------------------|-----------|
| 2. 1. 16                     | = 32      |
| 2. 3. 9                      | = 54      |
| 2. 2. 1                      | = 4       |
| 2. 4. 7                      | = 56      |
| <hr/>                        |           |
|                              | 146       |
| $\Delta_I = \frac{181}{146}$ | = 1,240 ↘ |

| II       | $kQ^2$  |
|----------|---------|
| 4. $7^2$ | = 196 ↓ |
| 4. $7^2$ | = 196 ↗ |
| 5. $7^2$ | = 245 ↗ |
| 1. $8^2$ | = 64 ↓  |
| <hr/>    |         |
|          | 181 ↗   |

|         | $2kQ$ |
|---------|-------|
| 2. 4. 7 | = 56  |
| 2. 4. 7 | = 56  |
| 2. 5. 7 | = 70  |
| 2. 1. 8 | = 16  |
| <hr/>   |       |
|         | 198   |

$\Delta_{II} = \frac{181}{198} = 0,914$  ↘



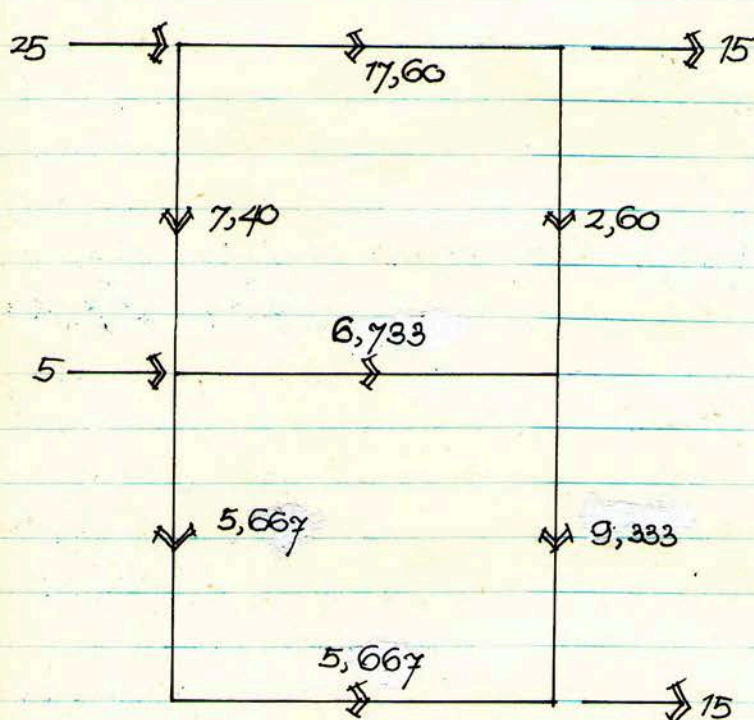
| I            | $kQ^2$        |
|--------------|---------------|
| 1. $17,24^2$ | = 297, 2176 ↓ |
| 3. $7,76^2$  | = 180, 6528 ↗ |
| 2. $2,24^2$  | = 10, 0352 ↓  |
| 4. $6,674^2$ | = 178, 1691 ↗ |
| <hr/>        |               |
|              | 51, 569 ↗     |

|             | $2kQ$     |
|-------------|-----------|
| 2. 1. 17,24 | = 34, 48  |
| 2. 3. 7,76  | = 46, 56  |
| 2. 2. 2,24  | = 8, 96   |
| 2. 4. 6,674 | = 53, 392 |
| <hr/>       |           |
|             | 143, 392  |

$\Delta_I = \frac{51,569}{143,392} = 0,360$  ↘



| II | $kQ^2$                                 | $2kQ$                            |                                     |
|----|--|----------------------------------|-------------------------------------|
|    | $4 \cdot 6,674^2 = 178,169 \downarrow$ | $2 \cdot 4 \cdot 6,674 = 53,392$ |                                     |
|    | $4 \cdot 6,086^2 = 148,158 \uparrow$   | $2 \cdot 4 \cdot 6,086 = 48,688$ | $\Delta_I = \frac{75,727}{180,768}$ |
|    | $5 \cdot 6,086^2 = 185,197 \uparrow$   | $2 \cdot 5 \cdot 6,086 = 60,860$ |                                     |
|    | $1 \cdot 8,914^2 = 79,459 \downarrow$  | $2 \cdot 1 \cdot 8,914 = 17,828$ |                                     |
|    | <u><math>75,727 \uparrow</math></u>    | <u><math>180,768</math></u>      |                                     |

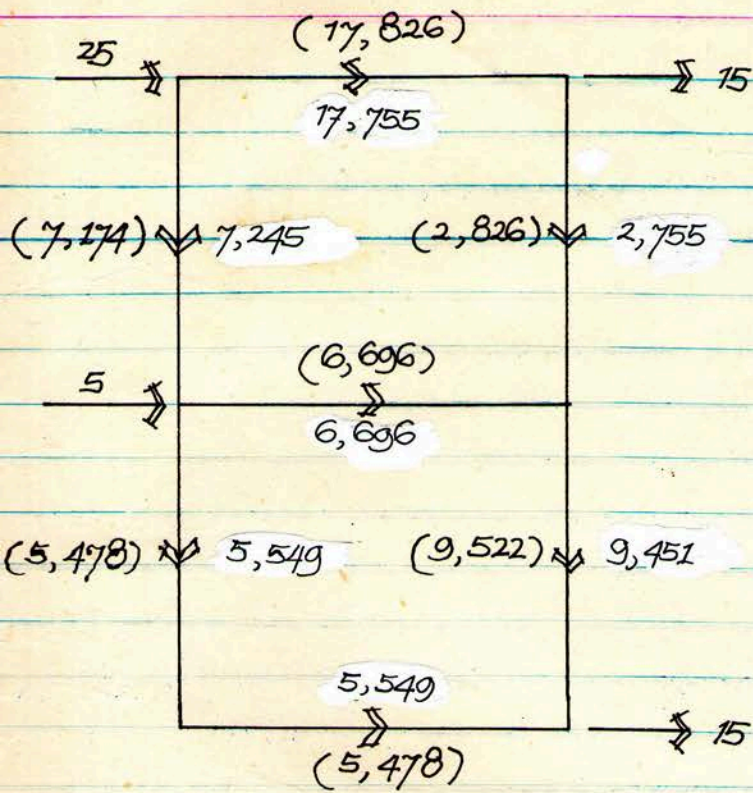


| I | $kQ^2$                                |  |
|---|---------------------------------------|--|
|   | $1 \cdot 17,60^2 = 309,76 \downarrow$ |  |
|   | $3 \cdot 7,40^2 = 164,28 \uparrow$    |  |
|   | $2 \cdot 2,60^2 = 13,52 \downarrow$   |  |
|   | $4 \cdot 6,733^2 = 181,333 \uparrow$  |  |
|   | <u><math>22,333 \uparrow</math></u>   |  |

|  | $2kQ$  |  |
|--|--|--|
|  | $2 \cdot 1 \cdot 17,60 = 35,20$                        |  |
|  | $2 \cdot 3 \cdot 7,40 = 44,40$                         |  |
|  | $2 \cdot 2 \cdot 2,60 = 10,40$                         |  |
|  | $2 \cdot 4 \cdot 6,733 = 53,864$                       |  |
|  | <u><math>143,864</math></u>                            |  |
|  | $\Delta_I = \frac{22,333}{143,864} = 0,155 \downarrow$ |  |

| II | $kQ^2$                                 | $2kQ$                            |
|----|--|----------------------------------|
|    | $4 \cdot 6,733^2 = 181,333 \downarrow$ | $2 \cdot 4 \cdot 6,733 = 53,864$ |
|    | $4 \cdot 5,667^2 = 128,460 \uparrow$   | $2 \cdot 4 \cdot 5,667 = 45,336$ |
|    | $5 \cdot 5,667^2 = 160,574 \uparrow$   | $2 \cdot 5 \cdot 5,667 = 56,67$  |
|    | $1 \cdot 9,333^2 = 87,105 \downarrow$  | $2 \cdot 1 \cdot 9,333 = 18,666$ |
|    | <u><math>20,596 \uparrow</math></u>    | <u><math>174,536</math></u>      |

$$\Delta_{II} = \frac{20,596}{174,536} = 0,118 \downarrow$$



Hitungan dikerjakan terus s/d

$$\Delta_I \approx 0$$

$$\Delta_{II} \approx 0$$



# PENATARAN TENAGA PENELITI

## HASIL HITUNGAN

| Simpul | Elevasi | Debit   |
|--------|---------|---------|
| 1      | 452.172 | 25.000  |
| 2      | 134.398 | -15.000 |
| 3      | 118.423 | 0.000   |
| 4      | 297.781 | 5.000   |
| 5      | 177.766 | 0.000   |
| 6      | 27.747  | -15.000 |

| Pipa | k     | Debit  |
|------|-------|--------|
| 1    | 1.000 | 17.826 |
| 2    | 2.000 | 2.826  |
| 3    | 4.000 | 6.696  |
| 4    | 3.000 | 7.174  |
| 5    | 4.000 | 5.478  |
| 6    | 1.000 | 9.522  |
| 7    | 5.000 | 5.478  |

=====  
Look #85