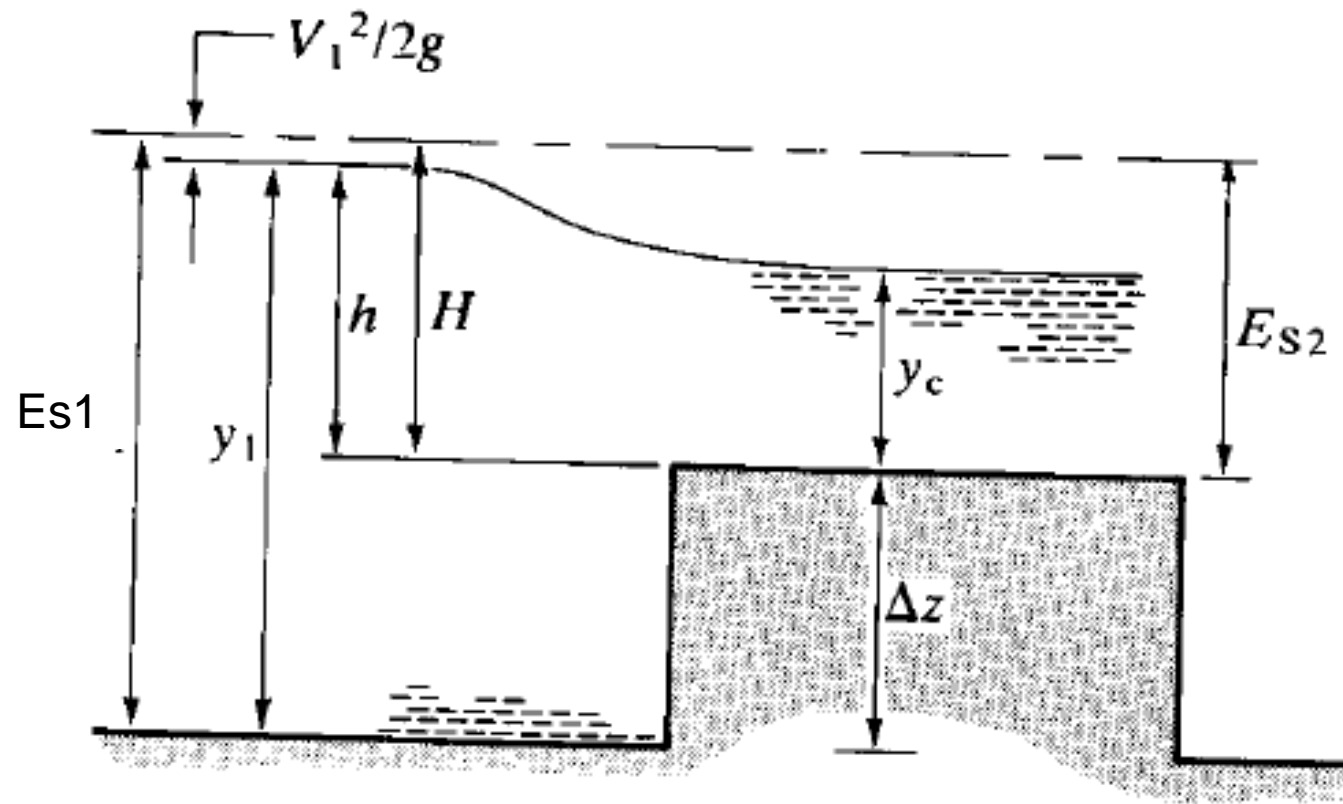


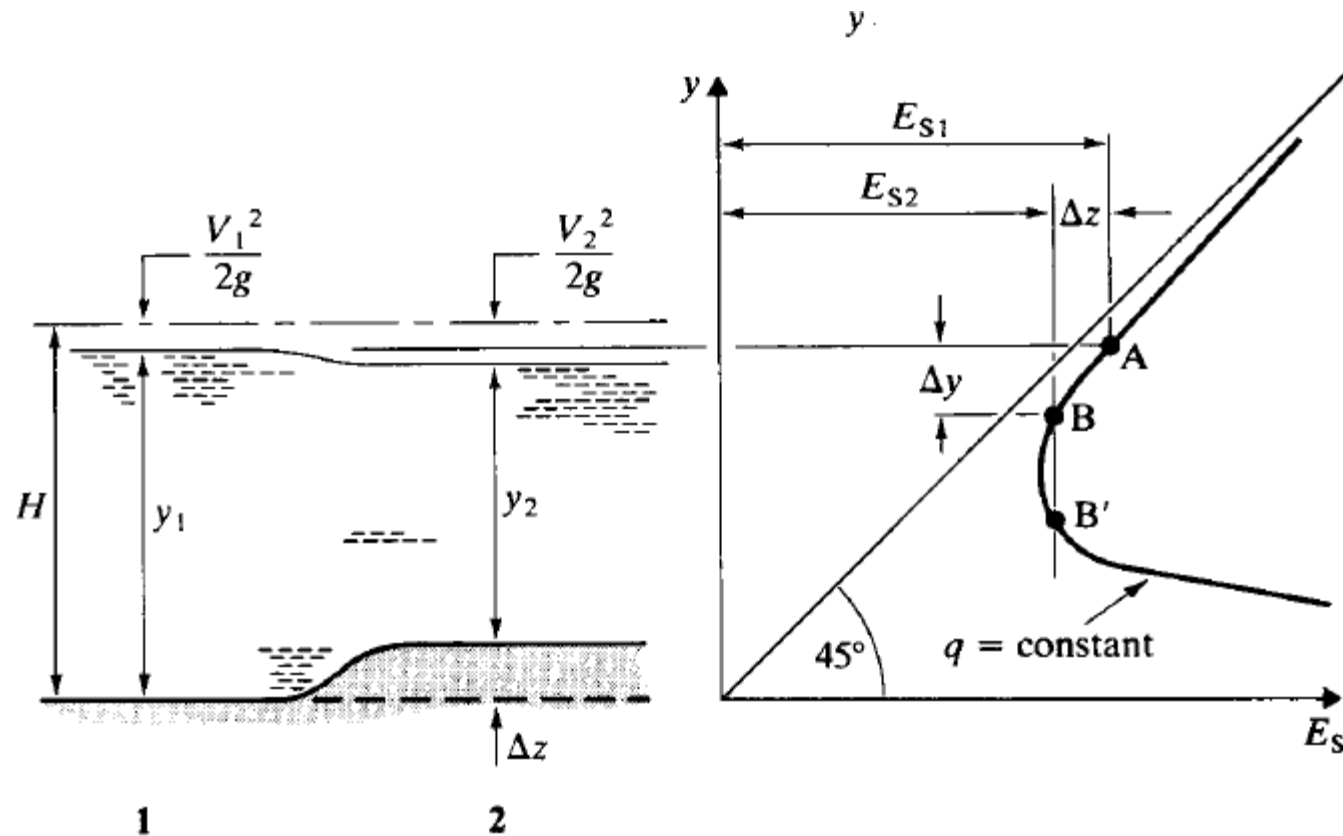
# ALIRAN PADA AMBANG LEBAR DAN AMBANG TAJAM

# Pengukur kedalaman kritis

## 1. Broad-crested weir

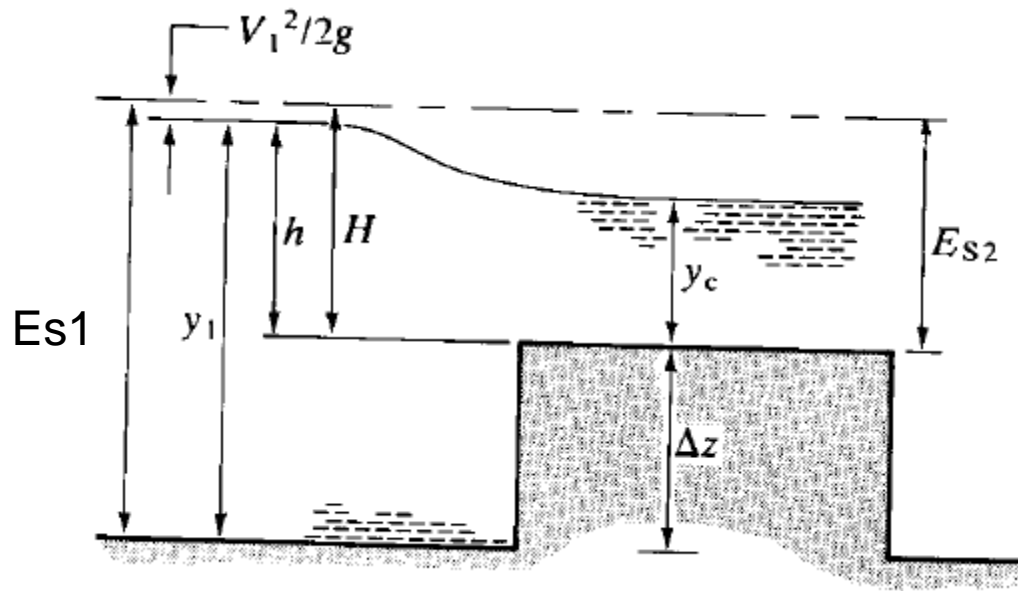


# Aliran melalui ambang, tinjauan menggunakan energi spesifik



Aliran di atas ambang dan grafik spesifik energi

$$E_{s1} = E_{s2} + \Delta z$$



$$y_c = \frac{2}{3} E_{s2}$$

$$E_{s2} = h + \frac{V_1^2}{2g} = H$$

$$y_c = \frac{2}{3} H$$

Nilai H didekati dengan h:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2g}{3}} b h^{3/2}$$

$$Q = 1.705 b h^{3/2}$$

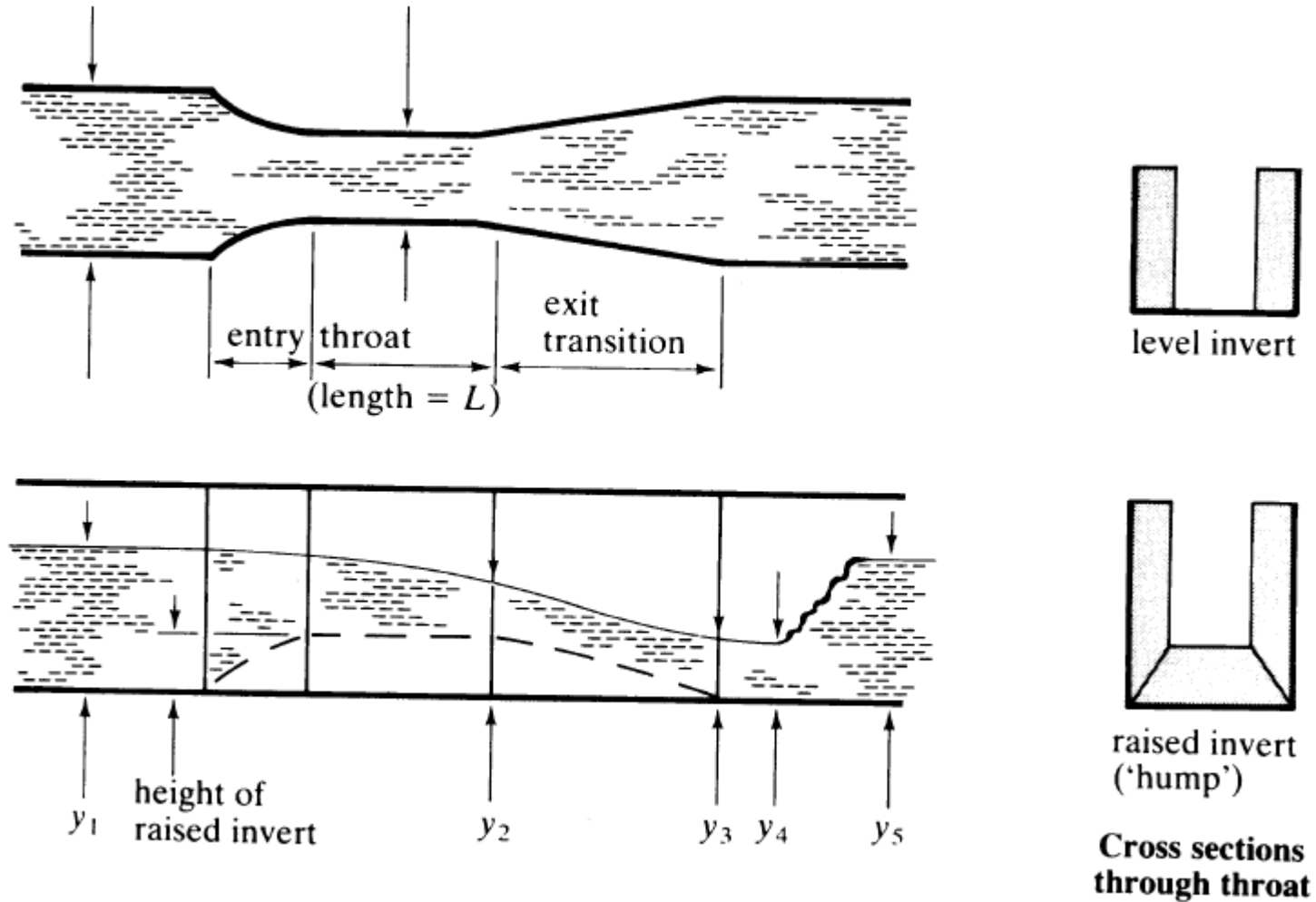
$$V_2 = V_c = \sqrt{g y_c}$$

$$Q = A V_c = b y_c \sqrt{g y_c}$$

Dengan *velocity correction factor* dan *discharge coefficient* persamaan menjadi :  $Q = C_d C_v 1.705 b h^{3/2}$

h = tinggi muka air dari atas ambang, di hulu aliran  
(H = Es → H1 = Es1, H2 = Es2)

## 2. Flume



Aliran kritis diperoleh dengan menyempitkan saluran

Seringkali ditambah peninggian dasar saluran untuk memperoleh aliran kritis pada bagian sempitnya → venturi flume

Dari persamaan energi diperoleh :

$$E_s = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

continuity  $V_1 = Q/by_1$  and  $V_2 = Q/b_2y_2$

Substitusi ke persamaan energi maka diperoleh :

$$Q = by_1 \sqrt{\frac{2g(y_1 - y_2)}{(by_1/b_2y_2)^2 - 1}}$$

Aliran kritis diperoleh pada bagian leher

$$y_2 = 2/3 E_s,$$

apabila disubstitusikan maka akan diperoleh

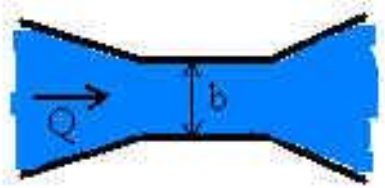
$$Q = 1.705b_2E_s^{3/2}$$

Dengan *velocity correction factor* dan *discharge coefficient* persamaan menjadi :

$$Q = 1.705b_2C_vC_d y_1^{3/2}$$

Parshall Flume

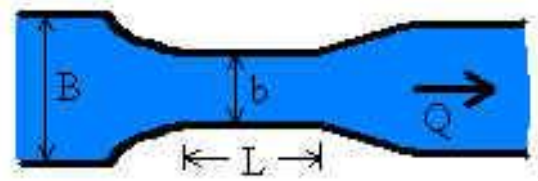
Plan View



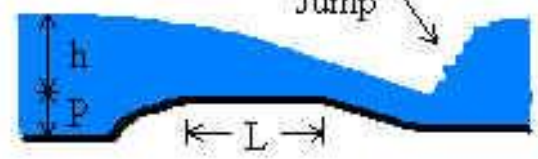
Section View



Rectangular Flume

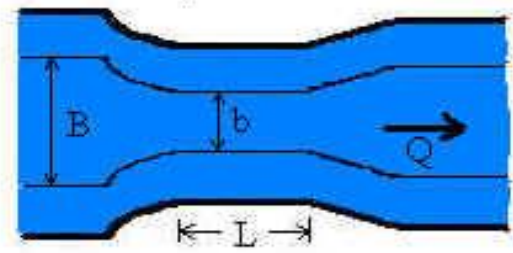


Hydraulic Jump

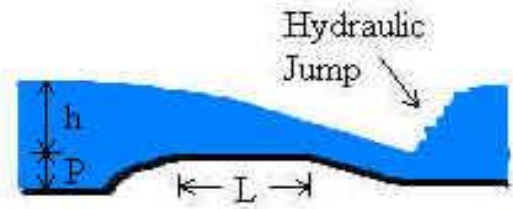


Trapezoidal Flume

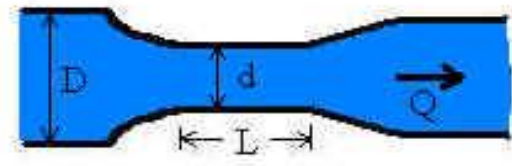
Plan View



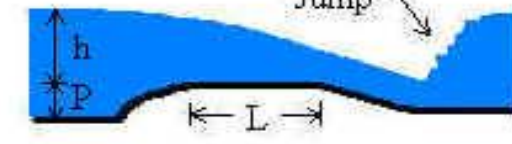
Section View



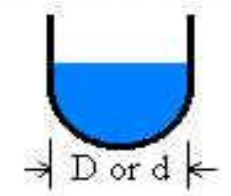
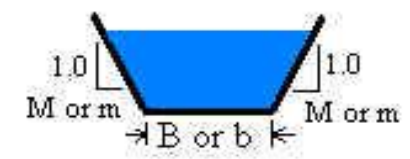
U Flume



Hydraulic Jump



End View



# Latihan ambang lebar

Sebuah saluran segiempat dengan lebar 3 m memiliki slope 0,0009 mengalirkan air dengan kedalaman 1.5 m. Diasumsikan  $n$  Manning 0,015 dan mengalir menjadi aliran seragam. Hitunglah ketinggian ambang untuk menghasilkan kedalaman kritis.



### 3. Ambang / Pelimpah Tajam = Weir

Ambang umumnya digunakan memakai ambang dengan pelat. Biasa digunakan di saluran terbuka seperti aliran untuk menentukan debit (flowrate).

Prinsip dasar adalah bahwa debit secara langsung terkait dengan kedalaman air ( $h$ ).

Ambang dapat bersifat hambatan (lebar) dasar sesuai dengan lebar saluran, menyempit sebagian ataupun menyempit.

Untuk ambang yang benar-benar menyempit  $B-b$  (lebar saluran – lebar ambang) harus lebih besar dari  $4h_{\max}$ , dimana  $h_{\max}$  adalah maksimum ketinggian yang diperkirakan dari ambang (USB, 1997).

Ambang terkontraksi sebagian memiliki  $B-b$  antara 0 dan  $4h_{\max}$ .

Kontraksi menyebabkan alir mengalir dan berkumpul menuju ambang.

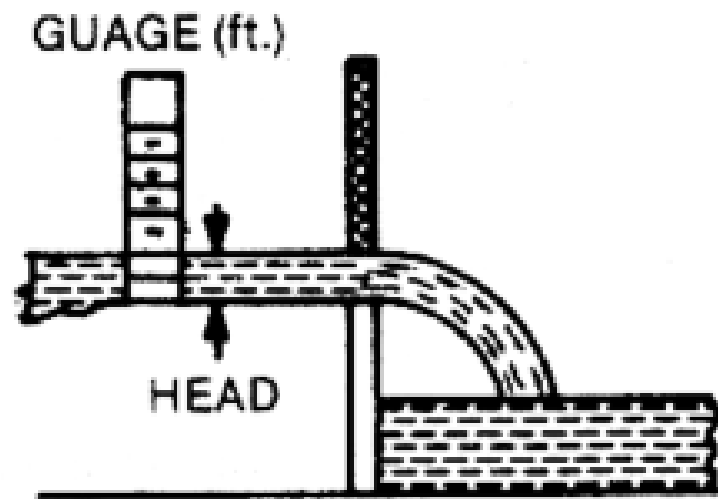
## Weir / Pelimpah Tajam

$$Q = \frac{2}{3} \times (2g)^{1/2} C_d \times b \times h^{3/2}$$

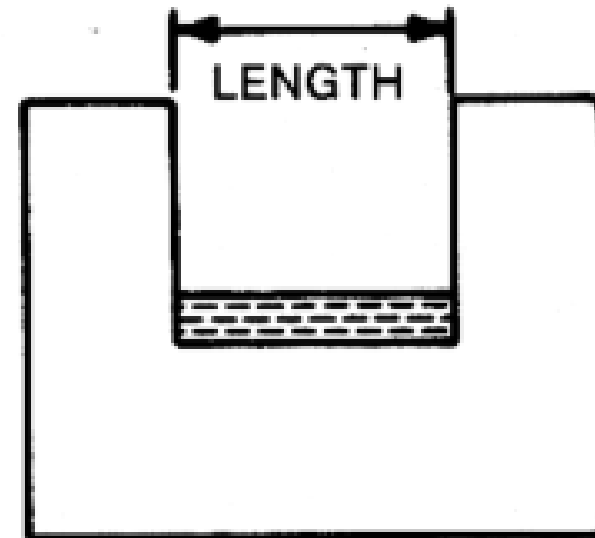
(bandingkan dengan rumus untuk ambang lebar, yang menghasilkan

$$Q = \frac{2}{3} \times (2/3g)^{1/2} C_v.C_d \times b \times h^{3/2}$$

# Pelimpah tajam



side view



front view

$h$  = tinggi muka air dari atas ambang, di hulu aliran

# Latihan

Sebuah weir dengan panjang 4,5 m memiliki head air sebesar 30 cm.  
Tentukan debit yang diairkan jika  $C_d = 0,6$

## Latihan

Sebuah weir dengan panjang 8 m akan dibangun melintang saluran segi empat dengan aliran 9 m<sup>3</sup>/det. Jika kedalaman maksimum dari air di hulu aliran adalah 2 m, berapakah ketinggian weir. Abaikan kontraksi dan gunakan  $C_d = 0,62$

# Latihan

Data curah hujan harian suatu DAS adalah 0,2 juta kubik meter per hari. Jika 80% dari air hujan mencapai reservoir penampung dan melalui weir segiempat. Berapakah panjang weir bila air diharapkan tidak melimpah lebih dari 1m di atas bendung?. Asumsikan koefisien discharge yang memadai.

# Analisa Dimensi dan Keserupaan

## Persoalan-persoalan dalam Mekanika Fluida

Cara analisa → Formula Matematis

Cara experimental

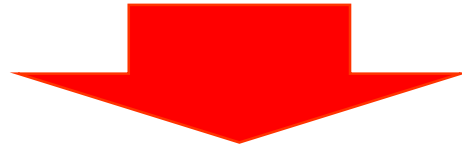
Dalam Experimental:

- butuh variabel yg mempengaruhi persoalan + hubungan satu sama lain
- menemui hambatan praktis + ekonomis  
→ proyotype → model

ANALISA DIMENSI &  
KESERUPAAN



**Analisa Dimensi dipergunakan bila variabel2 yang mempengaruhi suatu gejala fisik diketahui tetapi hubungan antara satu dengan yang lainnya belum diketahui**



**Dalam kasus demikian langkah pertama yang harus dilakukan adalah mengenal variabel2 atau parameter2 yang berpengaruh**

Dalam Mekanika Fluida, Variabel tsb dapat dikelompokkan menjadi atas:

- a. Variabel fisik yang ditinjau timbul akibat gerak benda dalam fluida.  
*contoh* : gaya, tegangan geser dll.
- b. Variabel geometri  
*contoh* : ukuran panjang, bentuk dll.

c. Variabel yang menyangkut gerak benda dalam fluida atau sebaliknya.

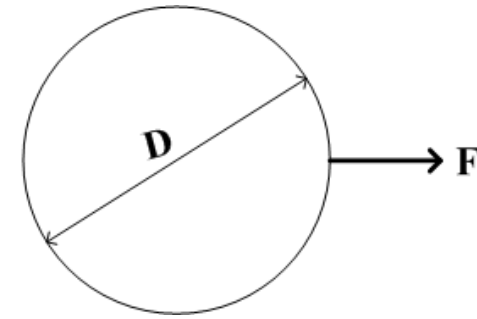
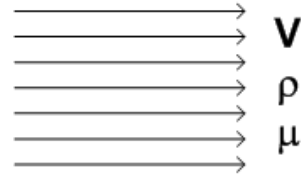
*contoh* : kecepatan, percepatan dll.

d. Variabel yang menyatakan sifat fluida:

*contoh* : masa jenis, tekanan, viskositas, tegan permukaan dll.

e. Variabel yang menyatakan sifat benda.

*contoh* : masa jenis benda, modulus elastisitas.



- $F \rightarrow$  1. diameter ( $D$ )  
2. kecepatan ( $V$ )  
3. densitas ( $\rho$ )  
4. viskositas ( $\mu$ )

Setiap parameter ini mempengaruhi besarnya  $F$

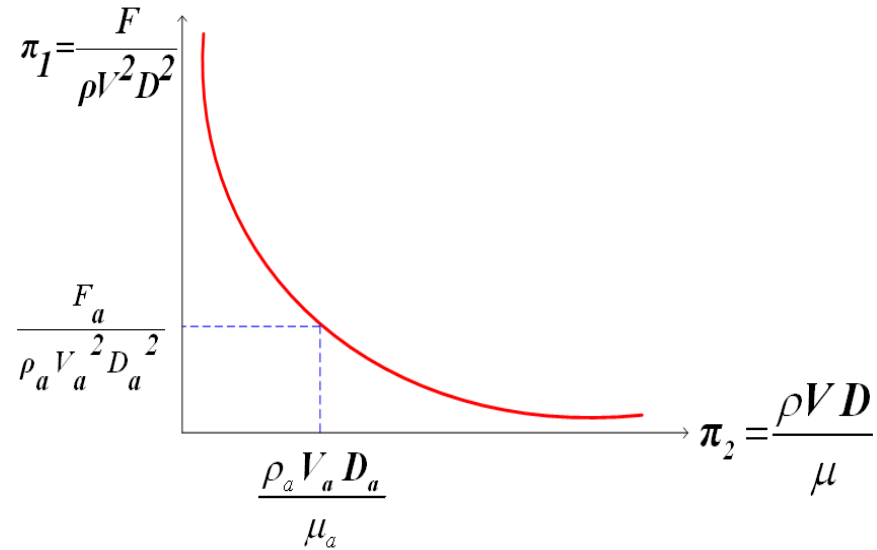
Jadi :  $F = f(D, V, \rho, \mu)$

Lama  
Mahal  
Sulit dipresentasikan pengaruhnya

Masing-masing variabel harus di-ubah2 secara bergantian (satu persatu) untuk mengetahui pengaruh masing-masing terhadap  $F$ .

Dengan analisa dimensi dapat ditunjukkan adanya hubungan antara kelompok bilangan tak berdimensi sbb. :

$$\frac{F}{\rho V^2 D^2} = f\left(\frac{\rho V D}{\mu}\right)$$



Dalam hal ini;  $\pi_1$  diukur untuk ber-macam2  
 $\pi_2$ , sedangkan  $\pi_2$  dapat diubah hanya  
dengan mengubah salah satu dari  $\rho$ ,  $V$ ,  $D$   
atau  $\mu$

Kesimpulan:  
Eksperimen → Sederhana, Cepat & Murah

# Teori Buckingham

## Dasar Matematis:

Bila dalam suatu persoalan fisik, sebuah parameter **TIDAK BEBAS** (Dependent Parameter) merupakan fungsi dari (n-1) parameter **BEBAS** (Independent parameter), maka akan didapat hubungan antara variabel-variabel tersebut dalam bentuk fungsional, sbb.:

$$q_1 = f(q_2, q_3, \dots, q_{(n-1)})$$

dimana:

$q_1$  = parameter tidak bebas

$q_2, q_3, \dots, q_{(n-1)}$  = parameter bebas

atau dapat juga ditulis:

$$g(q_1, q_2, \dots, q_n) = 0$$

dimana :  $g$  = sembarang fungsi yang bukan  $f$

Contoh: gaya drag pada bola

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

atau:

$$g(F_D, D, V, \rho, \mu) = 0$$

### Pernyataan Teori BUCKINGHAM Pi

Bila ada fungsi yang terdiri dari  $n$  parameter  $g(q_1, q_2, \dots, q_n) = 0$ , maka parameter-parameter tersebut dapat dikelompokkan menjadi  $(n-m)$  kelompok independent dimensionless ratios atau yang dinotasikan sebagai parameter  $\pi$  dan dapat diexpresikan sebagai:

$$G(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{n-m}) = 0$$

atau :  $\pi_1 = G1(\pi_2, \dots, \pi_{n-m})$

dimana:

**m** = adalah repeating parameter yang umumnya diambil sama dengan **r** (tetapi tidak selalu)

**r** = adalah jumlah minimum dimensi bebas yang dibutuhkan untuk menspesifikasikan dimensi-dimensi dari seluruh parameter yang ada

Contoh:  $g ( F_D , D , V , \rho , \mu ) = 0$

$$[MLt^{-2}] \quad [L] \quad [Lt^{-1}] \quad [ML^{-3}] \quad [ML^{-1}t^{-1}]$$

Dalam hal ini jumlah dimensi bebas minimum yang dibutuhkan adalah **M, L, t**

Jadi  $r = 3 \rightarrow$  maka  $m = r = 3$

**Note:** sejumlah  $(n-m)$  parameter  $\pi$  yang diperoleh dari prosedur diatas adalah independent.

**Note:**

Parameter  $\pi$  tidak independent (tidak bebas) bila dapat dibentuk dari hasil pembagian atau perkalian dari parameter-parameter yang lain

Contoh:

$$\pi_5 = \frac{2 \pi_1 \pi_4}{\pi_2 \pi_3} \text{ atau } \pi_6 = \frac{\pi_1^{3/4}}{\pi_3^2}$$

dalam hal ini:

$\pi_5$  : adalah parameter tidak independent karena dibentuk dari  $\pi_1, \pi_2, \pi_3$  dan  $\pi_4$ .

$\pi_6$  : adalah parameter tidak independent karena dibentuk dari  $\pi_1$  dan  $\pi_3$ .



## Pemilihan Parameter

Masukkan semua parameter yang diduga berpengaruh dalam suatu persoalan → **jangan ragu-ragu**

- Apabila ternyata parameter yang diduga berpengaruh tsb. salah → **akan gugur dengan sendirinya**
- Apabila ternyata benar berpengaruh → **hasilnya utuh**

## Prosedur Menentukan Kelompok $\pi$

Ada 6(enam) langkah:

1. Tulislah seluruh parameter yang kita duga berpengaruh → **jangan ragu2**

**misalkan** : ada **n** buah parameter

## Prosedur Menentukan Kelompok $\pi$

### 2. Pilihlah satu set Dimensi Primer

**misalkan** : M, L, t, T

**atau** F, L, t, T

### 3. Tulislah seluruh parameter yang terlibat dalam bentuk Dimensi Primer yang telah dipilih (catatlah $r$ adalah jumlah dari dimensi primer minimum yang dibutuhkan)

**misalkan**: F, D, V,  $\mu$ ,

F	D	V	$\mu$	$\rho$
$[MLt^{-2}]$	$[L]$	$[Lt^{-1}]$	$[ML^{-1}t^{-1}]$	$[ML^{-3}]$

**sehingga** :  $r = 3$  (M, L, t)

## Prosedur Menentukan Kelompok $\pi$

4. Pilihlah Parameter yang diulang  $m$  (*repeating parameter*) yang jumlahnya sama dengan jumlah minimum dimensi primer yang digunakan ( $r$ )

misalkan:

$$m = r = 3 \rightarrow \rho, V, D$$

### NOTE:

- Jangan memilih *repeating parameter* yang mempunyai dimensi dasar yang sama dengan *repeating parameter* lainnya, walaupun hanya dibedakan dengan suatu exponent (pangkat) saja

misalkan: panjang ( $L$ ) =  $[L]$  dengan luas ( $A$ ) =  $[L^2]$  → tidak boleh dipilih bersama-sama sebagai *repeating parameter*.

## Prosedur Menentukan Kelompok $\pi$

### NOTE:

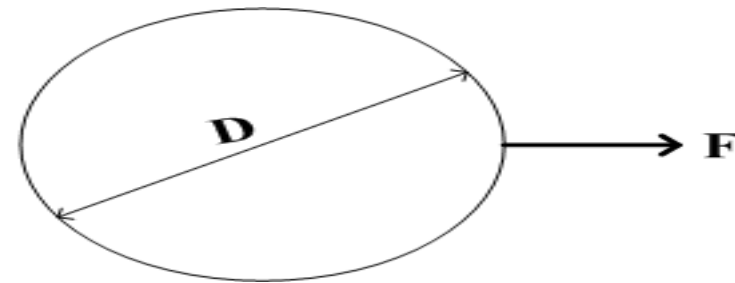
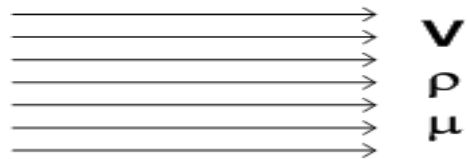
➤ Jangan memilih *parameter tidak bebas* sebagai *repeating parameter*

5. Dari parameter-parameter dipilih ( $n$ ) dan repeating parameter ( $m$ ), untuk  $m = r \rightarrow$  dapatkan grup-grup tanpa dimensi, dalam hal ini akan ada  $(n-m)$  grup tanpa dimensi.
6. Untuk meyakinkan hasilnya, periksalah grup-grup tanpa dimensi dengan Dimensi Primer yang lain.



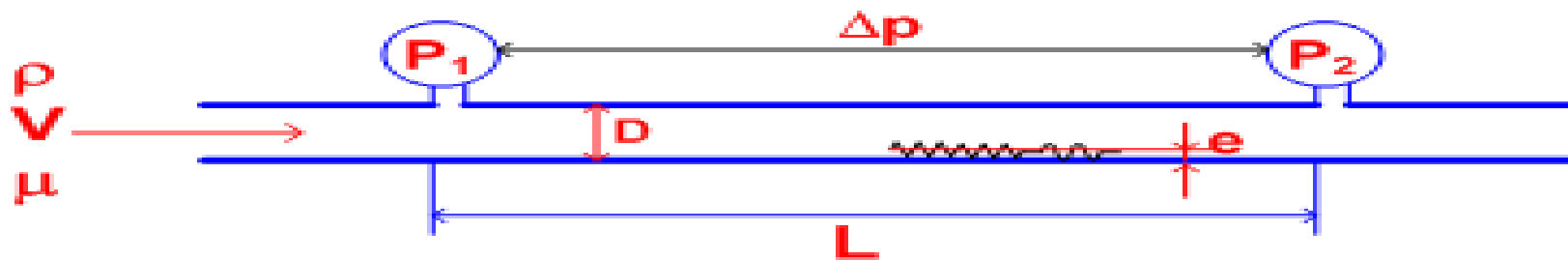
## CONTOH SOAL 1

Gaya tahanan (Drag Force)  $F$  pada suatu bola yang halus dalam suatu aliran tergantung pada kecepatan relatif  $V$ , diameter bola  $D$ , densitas fluida  $\rho$  dan viskositas fluida  $\mu$ .



## CONTOH SOAL 2

Perubahan tekanan  $\Delta p$  untuk aliran steady, incompressible, viscous melalui pipa horizontal yang lurus tergantung pada panjang  $L$ , kecepatan rata-rata  $V$ , viskositas fluida  $\mu$ , diameter pipa  $D$ , densitas fluida  $\rho$ , dan kekasaran rata-rata bagian dalam pipa  $e$ .



Selalukah  $m = r$  ??

Dalam banyak kasus memang bisa diselesaikan dengan  $m = r \rightarrow$  tetapi tidak selalu.

Karena untuk suatu kasus yang sama bila diselesaikan dengan menggunakan Dimensi Primer (MLtT dan FLtT) yang berbeda  $\rightarrow$  akan memberikan harga  $r$  yang berbeda.



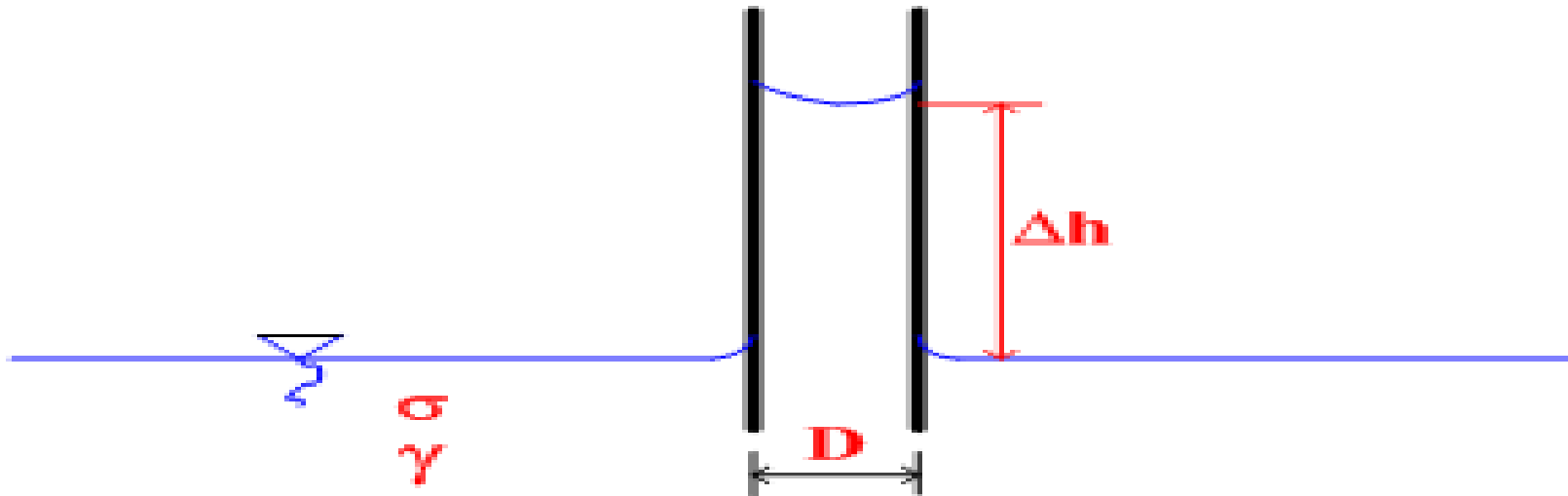
Untuk Kasus seperti ini maka harga  $m$  ditentukan berdasarkan harga RANK Matrix Dimensi-nya

**NOTE:**

RANK suatu matrix adalah ORDER terbesar dari Matrix tsb yang Diterminant-nya tidak sama dengan Nol

### CONTOH SOAL 3

Sebuah pipa kecil dicelupkan ke dalam cairan. Karena proses kapiler maka cairan akan naik setinggi  $\Delta h$  yang merupakan fungsi dari: diameter  $D$ , berat jenis cairan  $\gamma$  dan tegangan permukaan  $\sigma$ .





## Bilangan REYNOLDS (Re)

turbulent, dalam bentuk umum ditulis:

$$\text{Re} = \frac{\rho \bar{V} L}{\mu} = \frac{\bar{V} L}{\nu}$$

dimana  $L$  : panjang karakteristik yang  
diukur dalam medan aliran  
(aliran dalam pipa  $\rightarrow L = D$ )

Atau dapat juga ditulis:

$$\text{Re} = \frac{\rho \bar{V} L}{\mu} = \left( \frac{\rho \bar{V} L}{\nu} \right) \left( \frac{\bar{V}}{\bar{V}} \right) \left( \frac{L}{L} \right) \left( \frac{1}{L/L} \right) = \frac{(\rho \bar{V}^2) L^2}{\left( \mu \frac{\bar{V}}{L} \right) L^2}$$

$$\begin{aligned} (\rho \bar{V}^2) x L^2 &= (\text{tekanan dinamis}) x (\text{luas}) \approx \text{gaya inerti} \\ \left( \mu \frac{\bar{V}}{L} \right) L^2 &= (\text{tengangan geser}) x (\text{luas}) \approx \text{gaya geser} \end{aligned}$$

$$\text{Re} \approx \frac{\text{gaya inerti}}{\text{gaya geser}}$$

## Bilangan MACH (M)

Untuk mengkarakteristikan efek kompresibilitas suatu aliran, dalam bentuk umum ditulis:

$$M = \frac{\bar{V}}{C}$$

dimana  $V$  : kecepatan aliran rata-rata  
 $C$  : kecepatan suara lokal

$$\left[ C = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}} = \sqrt{\frac{E_v}{\rho}} \right]$$

Atau dapat juga ditulis:

$$M = \frac{\bar{V}}{C} = \frac{\bar{V}}{\sqrt{\frac{dp}{d\rho}}} = \frac{\bar{V}}{\sqrt{\frac{E_v}{\rho}}} \Rightarrow M^2 = \frac{\rho \bar{V}^2 L^2}{E_v L^2}$$

$(\rho \bar{V}^2) \times L^2 = \text{gaya inerti}$   
 $E_v \times L^2 = \text{gaya akibat efek kompresibilitas}$

$$M \approx \frac{\text{gaya inerti}}{\text{gaya akibat efek kompresibilitas}}$$

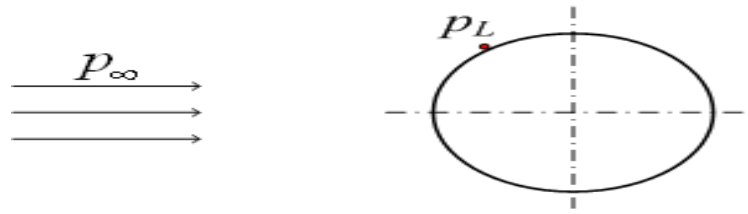
## Bilangan EULER (Eu)

Merupakan koefisien tekanan ( $C_p$ ), sering kali digunakan dalam lingkup aerodinamika atau pengujian model yang lain.

$$Eu = C_p = \frac{\Delta p}{\frac{1}{2} \rho V^2}$$

dimana :  $\Delta p$  : tekanan lokal dikurangi  
tekanan freestream

$$[P_L - P_\infty]$$



$$Eu = C_p \approx \frac{\text{gayatekan}}{\text{gayainertia}}$$

## Bilangan Kavitasasi ( $C_a$ )

Merupakan koefisien tekanan ( $C_p$ ), sering kali digunakan dalam lingkup aerodinamika atau pengujian model yang lain.

$$C_a = \frac{\Delta p}{\frac{1}{2} \rho V^2} = \frac{(p - p_v)}{\frac{1}{2} \rho V^2}$$

dimana :  $p_v$  : tekanan uap air pada  
temperatur pengujian  
 $p$  : tekanan aliran utama liquid

$$C_a \approx \frac{\text{gayatekan}}{\text{gayainertia}}$$

## Bilangan FROUDE (Fr)

Untuk mendapatkan karakteristik aliran yang dipengaruhi oleh permukaan bebas.

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g L}}$$

Atau dalam bentuk lain dapat ditulis:

$$F_r^2 = \frac{V^2}{g L} \times \frac{\rho L^2}{\rho L^2} = \frac{\rho V^2 L^2}{\rho g L^2} \approx \frac{\text{gayainertia}}{\text{gayaberat}}$$

$$F_r \approx \frac{\text{gayainertia}}{\text{gayaberat}}$$

**Note:**

Fr < 1 → aliran subcritical

Fr > 1 → aliran supercritical

## Bilangan WEBER ( $W_e$ )

$$W_e = \frac{\rho V^2 L}{\sigma}$$

Dimana :  $\sigma$  = tegangan permukaan  
[gaya/panjang]

Atau dalam bentuk lain dapat ditulis:

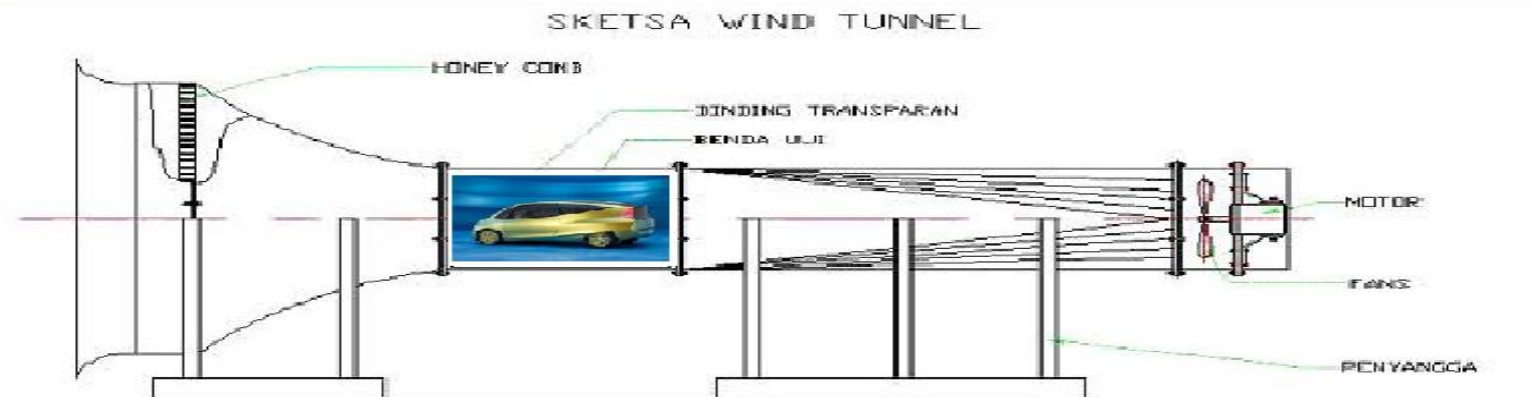
$$W_e = \frac{\rho V^2 L}{\sigma} \times \frac{L}{L} = \frac{\rho V^2 L^2}{\sigma L} \approx \frac{\text{gaya inertia}}{\text{gaya akibat tegangan permukaan}}$$

$$W_e \approx \frac{\text{gaya inertia}}{\text{gaya akibat tegangan permukaan}}$$

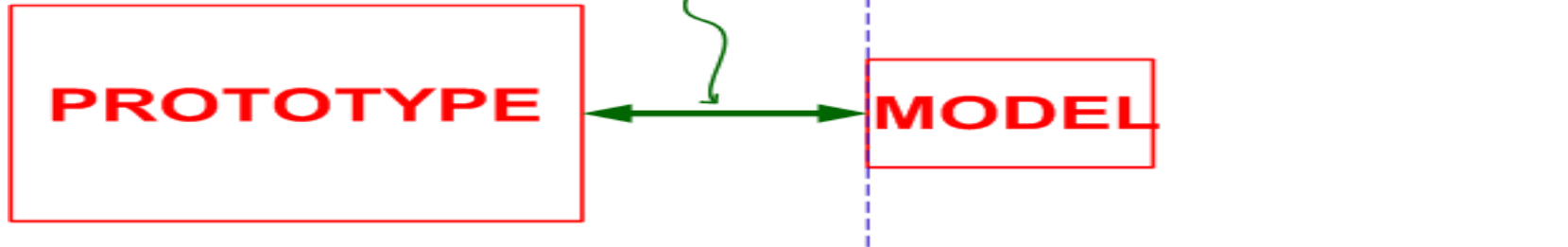
- **PROTOTYPE → Aliran Sesungguhnya:**



- **MODEL → Aliran Tiruan**



## Studi Keserupaan



### Tujuan:

- mempermudah pelaksanaan praktis
- Memperkecil biaya

### Persyaratan Keserupaan:

1. Keserupaan Geometris  
(*Geometric Similarity*):

**MODEL sebangun dengan PROTOTYPE**

**artinya**: setiap bagian dari Model harus mempunyai perbandingan yang tetap dengan setiap bagian dari Prototype



## 2. Keserupaan Kinematis

### ***(Kinematic Similarity):***

Arah kecepatan aliran antara Model dan Prototype secara kinematic sama dan pada setiap bagiannya harus memiliki perbandingan skala yang tetap, begitu juga dengan bentuk streamlinenya → ***sehingga sebelumnya harus telah memenuhi persyaratan keserupaan geometris.***

## 3. Keserupaan Dinamis

### ***(Dynamic Similarity):***

Perbandingan gaya karena medan aliran antara Model dan Prototype pada setiap bagiannya harus menurut skala perbandingan yang tetap  
→ ***sehingga terlebih dulu harus terpenuhi: - keserupaan geometris  
- keserupaan kinematis***

**Note:**

- Disamping itu, agar keserupaan dinamis terpenuhi secara komplit, harus pula dipertimbangkan seluruh gaya yang bekerja (gaya tekan, gaya viskos, dll). Semua gaya tsb pada Prototype dan model harus mempunyai perbandingan skala yang tetap.
- Bila keserupaan dinamis telah terpenuhi, maka setiap data yang diukur pada aliran model dapat dihubungkan secara kualitatif dengan setia bagian dari prototype.

Untuk contoh soal 1 misalnya:  
Teori Buckingham Pi, memberikan  
hubungan fungsional:

$$\frac{F}{\rho V^2 D^2} = f\left(\frac{\rho V D}{\mu}\right)$$

Maka bila aliran memenuhi keserupaan dinamis, haruslah dipenuhi:

$$\left( \frac{\rho V D}{\mu} \right)_{model} = \left( \frac{\rho V D}{\mu} \right)_{prototype}$$

atau

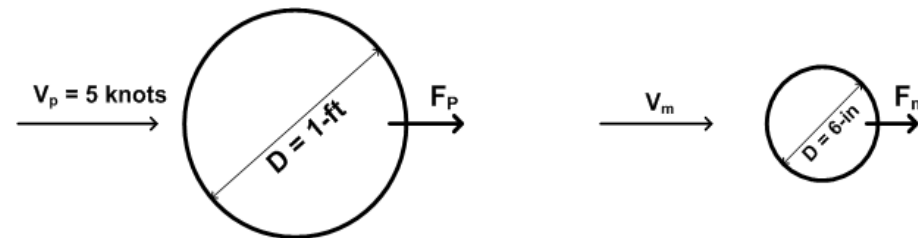
$$(R_e)_{model} = (R_e)_{prototype}$$

dan juga:

$$\left( \frac{F}{\rho V^2 D^2} \right)_{model} = \left( \frac{F}{\rho V^2 D^2} \right)_{prototype}$$

## CONTOH SOAL 4

Gaya drag yang terjadi pada sonar transducer akan diprediksi berdasarkan data hasil eksperimen pada terowongan angin dari modelnya. Prototype yang berbentuk bola berdiameter **1 ft** akan ditarik dalam laut dengan kecepatan **5 knots** (nautical miles per hour). Diameter model **6-in**, gaya drag pada pengujian tsb. = **5,58 lbf**.



Tentukan:

- Kecepatan terowongan angin
- Gaya drag pada prototype