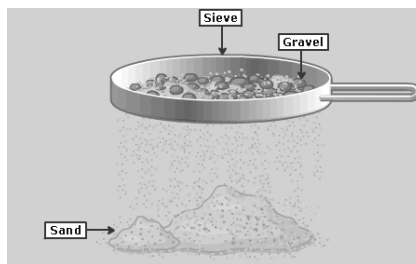
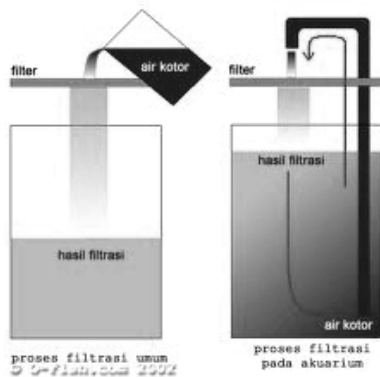
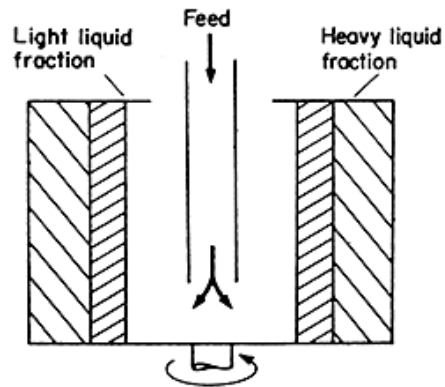
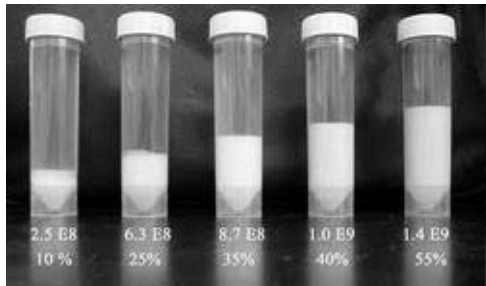


**PEMISAHAN MEKANIS**  
***(mechanical separations)***



- sedimentasi (pengendapan),
  - pemisahan sentrifugal,
  - filtrasi (penyaringan),
  - pengayakan (*screening/sieving*).
- 
- Pemisahan mekanis partikel fluida menggunakan gaya yang bekerja pada partikel-partikel tersebut.

## Pemisahan tergantung

- karakter partikel yang dipisahkan
- gaya pada partikel yang menyebabkan pemisahan.

## Contoh karakteristik partikel

- bentuk,
- ukuran,
- densitas.

## Untuk fluida

- viskositas; densitas

# Kecepatan Gerak Partikel dalam Fluida

- Partikel-partikel dalam cairan, di bawah pengaruh gaya konstan (con: gaya gravitasi), bergerak pada kecepatan yang seragam.
- Kecepatan maksimum  $\rightarrow$  kecepatan terminal.

Ketika partikel bergerak *steady* melalui suatu fluida, gaya yang terlibat:

- gaya eksternal yang menyebabkan pergerakan,
- gaya tahanan (*drag force*) yang menghambat pergerakan yang timbul dari gesekan pada fluida.

$$F_s = V a (\rho_p - \rho_f)$$

$F_s$  : gaya eksternal yang mempercepat partikel,

$V$  : volume partikel,

$a$  : percepatan dari gaya eksternal,

$\rho_p$   $\rho_f$  : densitas partikel dan fluida.

- Gaya tahanan pada partikel ( $F_d$ ):

$$F_d = C \rho_f v^2 A / 2$$

$C$  : koefisien tahanan (*drag*),

$\rho_f$  : densitas fluida,

$v$  : kecepatan partikel,

$A$  : luas area

- Jika gaya ini terjadi pada partikel berbentuk bola (bulat)

$$V = \pi D^3 / 6$$

$$A = \pi D^2 / 4,$$

$D$  : diameter partikel

- Pada kecepatan terminal  $v_m$ :

$$(\pi D^3 / 6) \times a (\rho_p - \rho_f) = C \rho_f v_m^2 \pi D^2 / 8$$

- untuk gerakan *streamline* dari bola,

$$C = 24 / (\text{Re}) = 24 \mu / D v_m \rho_f$$

- Kecepatan terminal

$$v_m = D^2 a (\rho_p - \rho_f) / 18 \mu \quad \dots (1)$$

→ persamaan dasar gerakan partikel dalam fluida.

$V_m$  : kecepatan terminal

$D$  : diameter partikel

$a$  : percepatan

$\rho_p$  : densitas partikel

$\rho_f$  : densitas fluida

$\mu$  : viskositas



# SEDIMENTASI (PENGENDAPAN)

- Gaya gravitasi → memisahkan materi tertentu dari aliran fluida.
- Partikel: biasanya padatan, dapat juga droplet cairan, & fluida.
- Persamaan (1), dalam sedimentasi mirip Hukum Stoke:

$$v_m = D^2 g (\rho_p - \rho_f) / 18 \mu \quad \dots (2)$$

Hukum Stoke, berlaku hanya

- pada aliran *streamline*
- khusus untuk partikel berbentuk bola (bulat) ( $Re) \leq 2$ .
- Pada partikel jatuh bebas, yaitu gerakan dari satu partikel tidak disebabkan oleh gerakan partikel yang lain

tidak berlaku

- apabila partikel berada pada suspensi kental, karena gerakan partikel jatuh juga diakibatkan oleh gerakan naik dari fluida.

# Soal 1

- Hitung kecepatan *settling* partikel debu berdiameter 60  $\mu\text{m}$  dan 10  $\mu\text{m}$  di udara pada suhu 21°C & tekanan 100 kPa.

Asumsi: partikel berbentuk bola & densitas 1280  $\text{kg m}^{-3}$ , viskositas udara  $1,8 \times 10^{-5} \text{ N s m}^{-2}$  & densitas udara  $1,2 \text{ kg m}^{-3}$

## **Sedimentasi Gravitasi Partikel dalam Cairan**

- Silinder berisi suspensi seragam → pembagian zona.
- Puncak: zona cairan jernih.
- Di bawahnya: zona  $\pm$  komposisi seragam, konstan, kecepatan pengendapannya seragam.
- Dasar: zona sedimen.
- Jika rentang ukuran partikel lebar, zona komposisi seragam yang mendekati puncak tidak akan terjadi dan akan tergantikan oleh zona komposisi bervariasi.

- Pada pengental kontinu (*continuous thickener*),
- Luas area minimum  $\rightarrow$  kecepatan sedimentasi

$$v_u = (F - L) (d_w / d_\theta) / A \rho$$

$v_u$  : kecepatan naik dari aliran cairan.

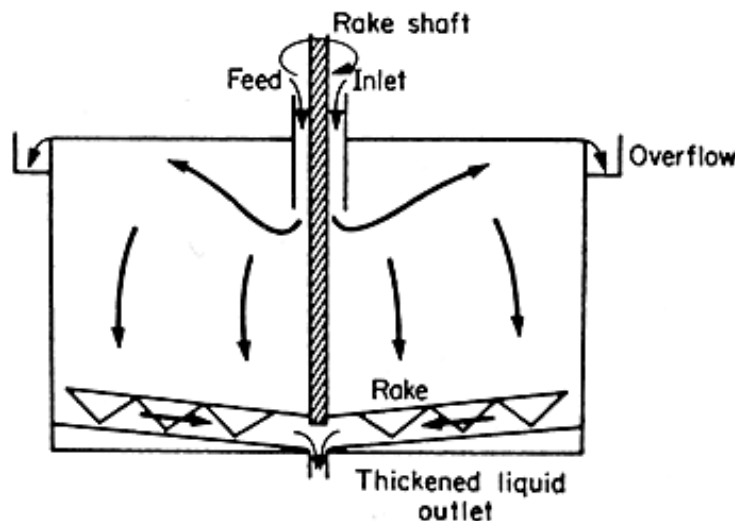
$F$  : rasio massa cairan terhadap padatan *feed* (masukan),

$L$  : rasio massa cairan terhadap padatan dalam cairan *underflow*,

$d_w/d_\theta$  : massa padatan masukan,

$\rho$  : densitas cairan

$A$  : luas area pengendapan dalam tanki.



- Jika kecepatan pengendapan partikel =  $v$ ,

$$V_u = v,$$

$$A = (F - L) (d_w / d_\theta) / v \rho \quad \dots (3)$$

# Soal 2

- Tangki pemisah kontinu didesain untuk pemisah minyak & air. Hitung luas area tangki jika minyak dalam bentuk globula berdiameter  $5,1 \times 10^{-5}$  m, konsentrasi masukan (*feed*) 4 kg air / kg minyak, dan air yang keluar tangki bebas minyak. Laju masukan 1000 kg/jam, densitas minyak  $894 \text{ kg m}^{-3}$  dan suhu minyak dan air adalah  $38^\circ\text{C}$ . Densitas air  $1000 \text{ kg/m}^3$  & viskositasnya  $0,7 \times 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$ .
- Asumsikan Hukum Stoke.

## **Sedimentasi Partikel dalam Gas**

- Aplikasi → *spray dryers*.
- Wilayah di mana partikel akan mengendap dapat dihitung dengan cara yang sama seperti sedimentasi.

Jika kecepatan sedimentasi rendah:

- Butuh area ruangan yang besar
- Waktu kontak antara partikel dan udara panas lama → kerusakan pada produk yang sensitif dengan panas.



# PEMISAHAN SENTRIFUGAL

$$F_c = m r \omega^2$$

... (5)

$F_c$  gaya sentrifugal pada partikel untuk menjaga partikel tetap pada jalur melingkar,

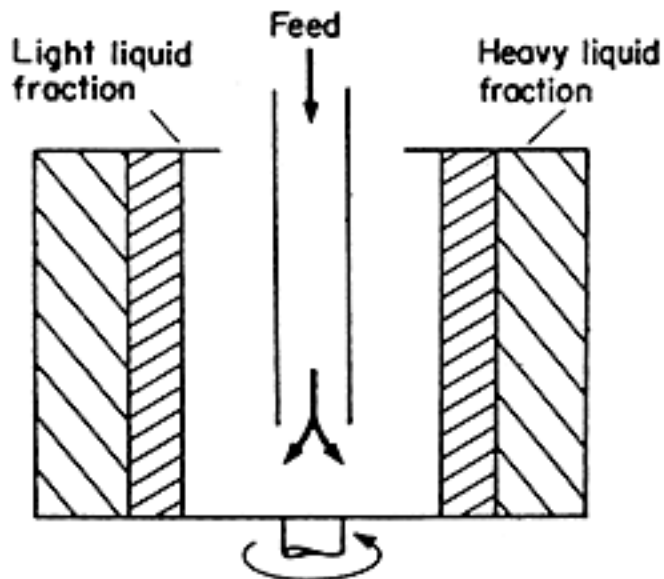
$r$  : radius jalur,

$m$  : massa partikel

$\omega$  (omega) : kecepatan anguler partikel.

$$\omega = v / r,$$

( $v$  kecepatan tangensial partikel)



$$F_c = (m v^2) / r \quad \dots (6)$$

$$\omega = 2 \pi N / 60,$$

$$F_c = m r (2 \pi N / 60)^2 = 0,011 m r N^2 \quad \dots (7)$$

$N$  : kecepatan rotasional (putaran per menit).

### SOAL a

- Hitung “g” dalam sentrifuge yang dapat memutar cairan pada 2000 putaran/menit pada radius maksimum 10 cm

- Kecepatan pada *steady state* dari partikel yang bergerak pada aliran *streamline* di bawah aksi gaya yang dipercepat, dari persamaan (1)

$$v_m = D^2 a (\rho_p - \rho_f) / 18 \mu$$

- jika aliran *streamline* terjadi dalam sentrifuge,

$$F_c = m a; F_c / m = a = r (2 \pi N / 60)^2$$

- Sehingga

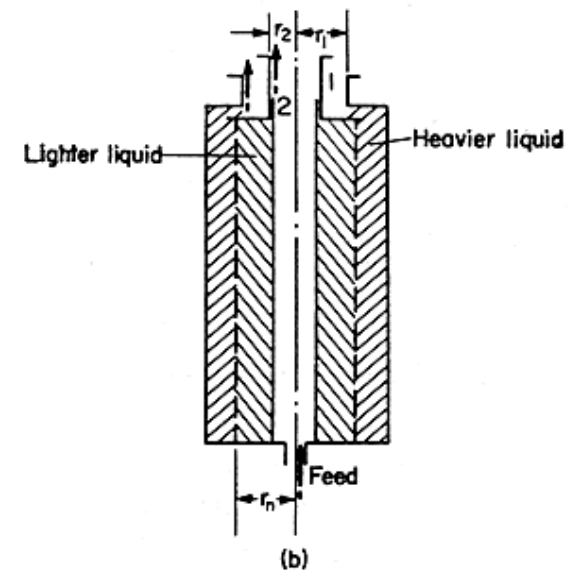
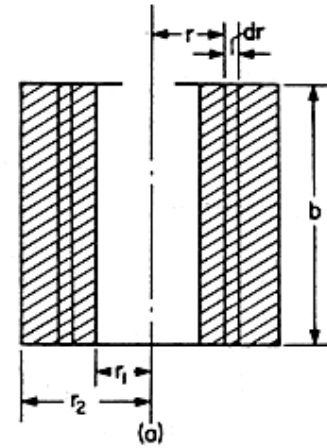
$$v_m = D^2 r (2 \pi N / 60)^2 (\rho_p - \rho_f) / 18 \mu$$

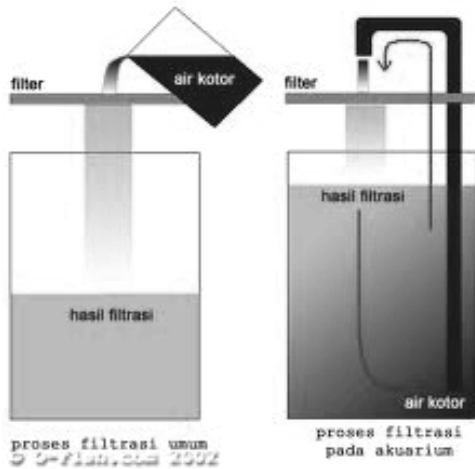
$$v_m = D^2 N^2 r (\rho_p - \rho_f) / 1640 \mu \quad \dots (8)$$

# Soal 3

- Sebuah dispersi lemak dalam air dipisahkan menggunakan setrifuge. Hitung kecepatan minyak melalui air.
- Asumsi: minyak terdispersi dalam bentuk globula bulat berdiameter  $5,1 \times 10^{-5}$  m dan densitasnya  $894 \text{ kg m}^{-3}$ .
- Sentrifuge berputar pada 1500 putaran/ menit dan radius efektif di mana pemisahan terjadi adalah 3,8 cm
- Densitas air  $1000 \text{ kg m}^{-3}$  dan viskositasnya  $7 \times 10^{-4} \text{ N s m}^{-2}$

- Pelajari juga **Pemisahan Cairan**
- Susu → krim dan skim.





# FILTRASI

Campuran → partikel padat yang terdispersi dalam fase cair atau gas dilewatkan melalui medium berpori.

- Partikel padat yang tidak lolos pori-pori akan tertahan.
- Cairan lolos = ***filtrat***
- Partikel padatan tidak lolos = “***cake***”
- Medium berpori: penyaring (*filter medium*) & padatan yang tertimbun (*filter cake*).
- Lubang pori medium penyaring mungkin >> partikel yang padat yang akan dipisahkan.

- Medium berfungsi baik bila telah ada lapisan yang terbentuk dari zat padat pada awal penyaringan.
- Lapisan zat padat tersebut bersifat porous.
- Makin banyak partikel zat padat tertahan
  - terbentuk lapisan yang semakin tebal.
  - mempengaruhi kecepatan penyaringan.
- Agar kecepatan relatif tetap (sama), perlu tekanan atau perbedaan tekanan sebelum dan sesudah *filter medium* yang semakin besar

- Porositas *filter medium* dipengaruhi:
  - $\Delta$  tekanan sebelum & sesudah *filter medium*
  - sifat partikel zat padat pembentuk *filter medium*.
- Bila di awal penyaringan  $\Delta$  tekanan terlalu besar → partikel zat padat tidak lolos akan membentuk lapisan yang sangat padat.
- Bila  $\Delta$  tekanan terlalu kecil → lapisan partikel zat padat tidak lolos akan sangat porous.
- *Filter medium* terbentuk baik jika  $\Delta$  tekanan di awal filtrasi diatur sedang kemudian berangsur-angsur naik sesuai dengan kenaikan tahanan *filter medium*.



- Kecepatan penyaringan = *driving force* / tahanan
- *Driving force* →  $\Delta$  tekanan sebelum dan sesudah filter medium.
- Tahanan → tahanan dalam (dari cairan yang disaring) dan tahanan *filter medium*.
- Secara teoretis jika  $\Delta$  tekanan diperbesar, pada tahanan yang sama, maka kecepatan penyaringan akan bertambah besar.  
→ Tidak selalu benar.

- Partikel padatan dalam cairan atau gas yang akan dipisahkan ada yang bersifat *compressible* atau dapat dimampatkan oleh pengaruh tekanan.
- Bila tekanan diperbesar maka lapisan zat padat (filter medium) → semakin padat → tahanan semakin besar.
- Kecepatan filtrasi partikel padat yang tidak dapat dimampatkan oleh tekanan:

Kecepatan penyaringan = beda tekanan / tahanan

- Beda tekanan → beda tekanan sebelum dan sesudah *filter medium* (P).
- Kecepatan penyaringan → banyaknya filtrat pada setiap satuan waktu ( $dv/d\theta$ ).
- Tahanan → tahanan gabungan dari
  - tahanan dari kain saring atau anyaman logam, dsb.,
  - tahanan dari lapisan zat padat,
  - tahanan dalam, dari cairan sesuai dengan kekentalan cairan tsb.

- Tahanan total:

$$R = \mu r (L_c + L)$$

$R$  : tahanan untuk mengalir melalui filter,

$\mu$  : viskositas fluida,

$r$  : tahanan spesifik dari *cake filter*,

$L_c$  : ketebalan kain saring & *pre-coat*,

$A$  : luas area filter.

$P$  : beda tekanan di antara filter medium.

- Ketebalan cake

$$L_c = w V / A$$

$w$  : fraksi zat padat per unit volume cairan,

$V$  : volume fluida yang telah melewati filter,

$A$  : luas area permukaan filter di mana cake terbentuk.

$$R = \mu r (w (V / A) + L) \dots (11)$$

$$dV / d\theta = A \Delta P / \mu r [w (V / A) + L] \dots (12)$$

- persamaan dasar filtrasi.

## Filtrasi pada Tingkat (Kecepatan) Konstan

- Di tahap awal penyaringan, tahanan yang dominan adalah tahanan dari kain saring atau sejenisnya.

→ tahanan relatif tetap → kecepatan penyaringan tetap.

$$\int dV / A d\theta = V / A \theta = \Delta P / \mu r (w V / A + L)$$

$$\Delta P = V / A \theta \times \mu r (w (V / A) + L) \dots (13)$$

## Filtrasi pada Tekanan Konstan

- Di tahap penyaringan berikutnya →  
pertambahan tebal cake → tahap tekanan tetap.

$$\mu r (w (V / A) + L) dV = A \Delta P d\theta$$

$$\mu r (w V^2 / 2A + LV) = A \Delta P \theta,$$

$$\theta A / V = (\mu r w / 2 \Delta P) (V / A) + \mu r L / \Delta P \dots (14)$$

$$y = mx + b$$

$$y = \theta / (V / A), x = V / A,$$

$$m = \mu r w / 2 \Delta P, b = \mu r L / \Delta P.$$

# Soal 4

- Uji filtrasi skala lab. pada tekanan konstan 340 kPa. Luas filter 0,186 m<sup>2</sup>.

Volume filtrat (kg)	20	40	60	80
Waktu (menit)	8	26	54,5	93

- Diinginkan filter skala pabrik untuk menyaring bubuk yang mengandung bahan yang sama dengan lab. tetapi konsentrasinya 50% lebih tinggi, tekanan 270 kPa,
- Hitung jumlah filtrat yang lewat selama 1 jam pada filter dengan luas area 9,3 m<sup>2</sup>

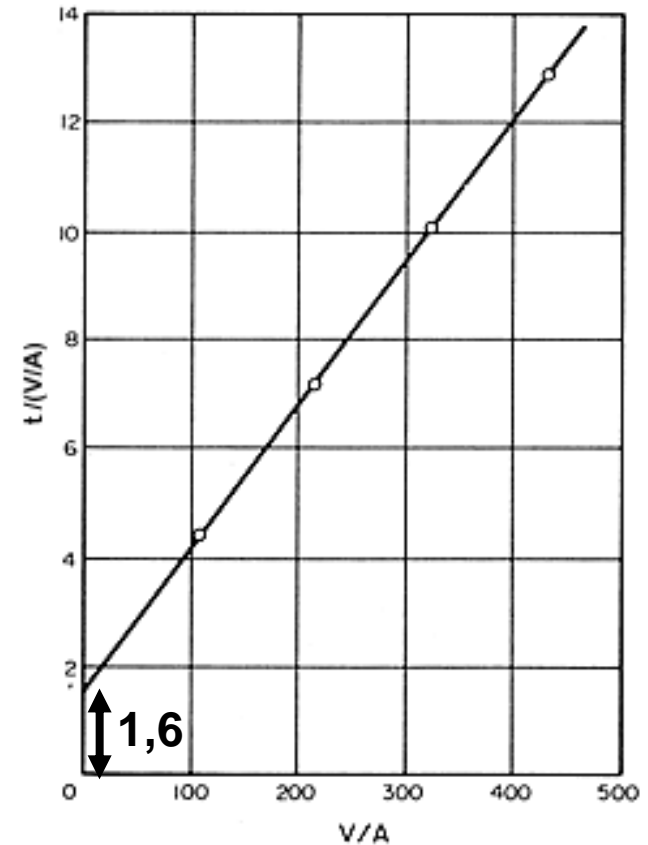


### Data eksperimental:

<b>V (kg)</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>60</b>	<b>80</b>
<b><math>\theta</math> (s)</b>	<b>480</b>	<b>1560</b>	<b>3270</b>	<b>5580</b>
<b>V / A (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>107,5</b>	<b>219</b>	<b>323</b>	<b>430</b>
<b><math>\theta / [V / A]</math> (sm<sup>2</sup>/kg)</b>	<b>4,47</b>	<b>7,26</b>	<b>10,12</b>	<b>12,98</b>

$$\frac{\theta A}{V} = \frac{\mu r \omega}{2P} \frac{V}{A} + \frac{\mu r L}{\Delta P}$$

$$\frac{\theta A}{V} = 0,0265 \frac{V}{A} + 1,6$$



## Compresibilitas Cake Filter

- Pada filtrasi dengan compresibilitas cake filter yang tinggi atau dengan cake yang mudah mampat oleh pengaruh tekanan,

$$r = r' dP s$$

$r$  tahanan spesifik cake pada tekanan  $P$  atau beda tekanan  $P$ ,

$r'$  tahanan spesifik cake pada tekanan 1 atm atau beda tekanan 1 atm,

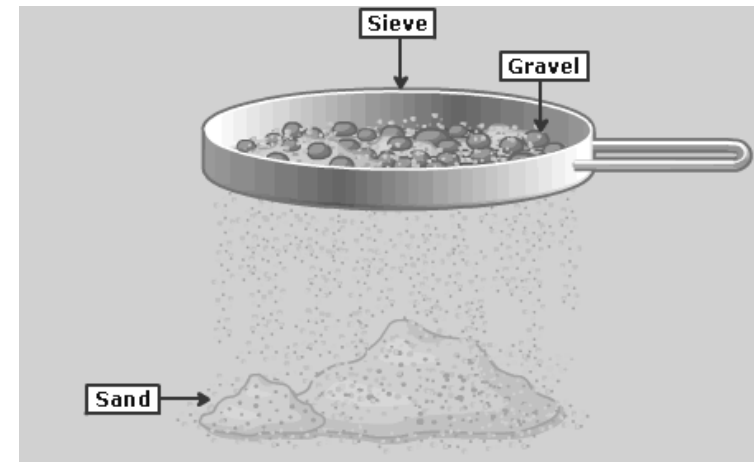
$s$  sifat dari daya mampat cake.

# PENGAYAKAN

## ***SIEVING/SCREENING***

Hasil pengayakan tergantung:

- Bentuk partikel
- Frekuensi & amplitudo pengayaan
- Metode pencegahan *sticking* atau *bridging* dari partikel yang melalui lubang ayakan
- Tekanan & bentuk fisik dari ayakan



- Standar ukuran *sieve* 25 mm – 0,6  $\mu\text{m}$ .
- Ukuran mesh adalah jumlah lubang per inci. Ukuran mesh yang digunakan US mesh dan Tyler mesh (*Appendix 10*).

$$\begin{aligned}F &= F(D), \\dF/dD &= F'(D) \\dF &= F'(D) dD\end{aligned}$$

$D$  = ukuran pori

$F(D)$  = fraksi berat dari partikel

# Soal 5

Ukuran sieve mm	% tertahan
1,00	0
0,50	11
0,25	49
0,125	28
0,063	8
< 0,063	4

Perkirakan banyaknya partikel yang tertahan pada ukuran antara 0,300 dan 0,350 mm serta 0,350 dan 0,400 mm.

