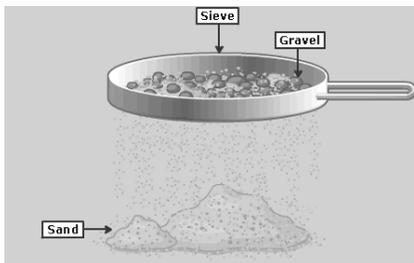
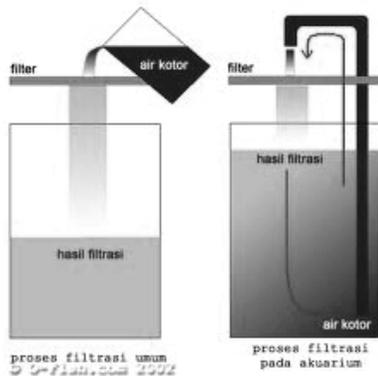
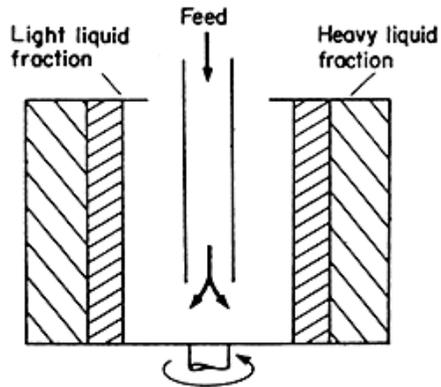
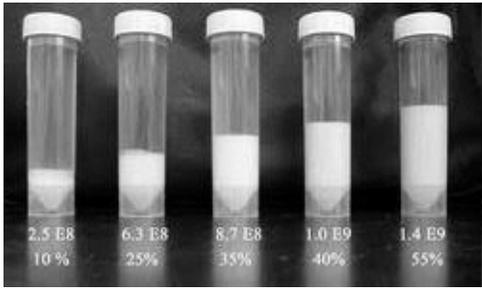


PEMISAHAN MEKANIS
(mechanical separations)



- 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,

ρ_p ρ_f : densitas partikel dan fluida.

- Gaya tahanan pada partikel (F_d):

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

C : koefisien tahanan (*drag*),

ρ_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

ρ_p : densitas partikel

ρ_f : densitas fluida

μ : 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 μm dan 10 μm di udara pada suhu 21°C & tekanan 100 kPa.

Asumsi: partikel berbentuk bola & densitas 1280 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.

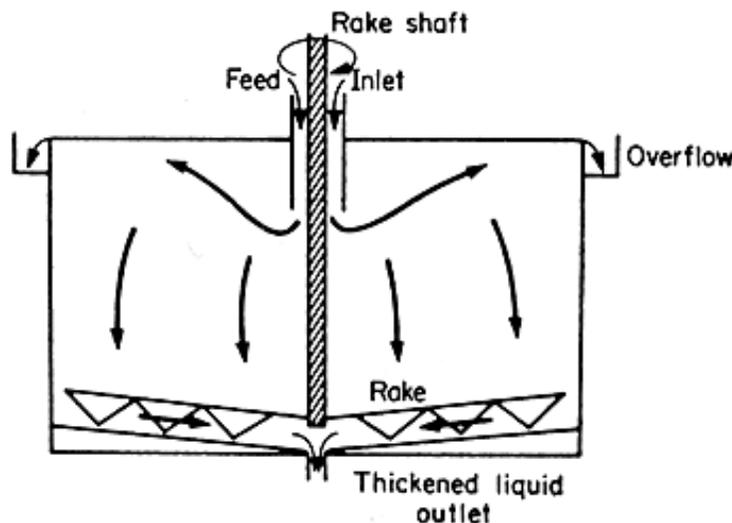
F : rasio massa cairan terhadap padatan *feed* (masukan),

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

d_w/d_θ : massa padatan masukan,

ρ : 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 kg m^{-3} dan suhu minyak dan air adalah 38°C . Densitas air 1000 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,

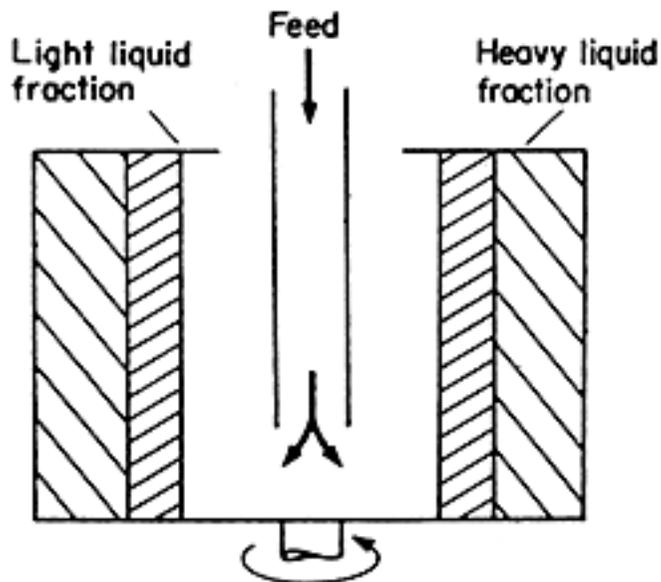
r : radius jalur,

m : massa partikel

ω (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

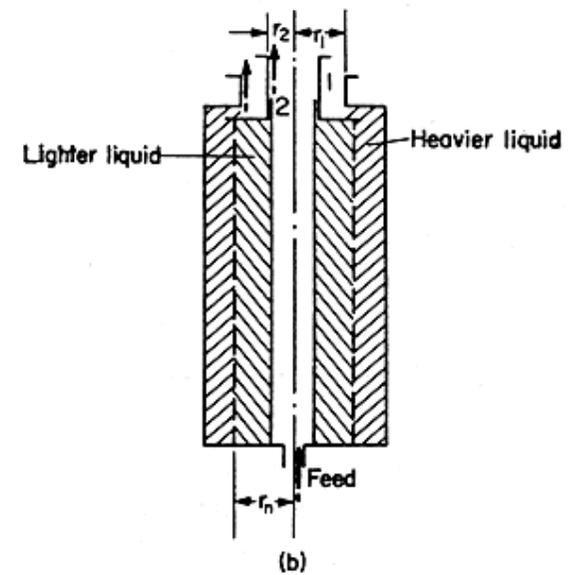
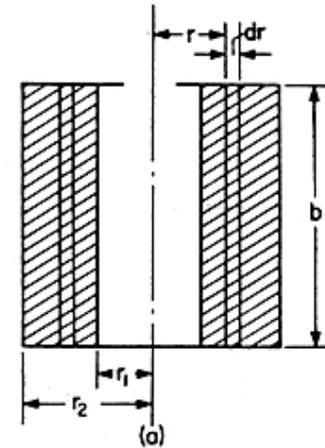
$$v_m = D^2 r (2 \pi N / 60)^2 (\rho_p - \rho_f) / 18 \mu$$

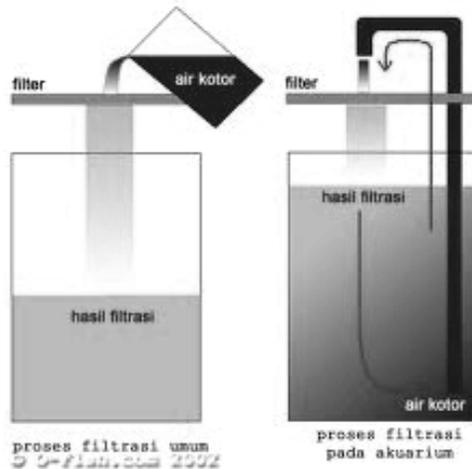
$$v_m = D^2 N^2 r (\rho_p - \rho_f) / 1640 \mu \quad \dots (8)$$

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 kg m^{-3} .
- Sentrifuge berputar pada 1500 putaran/ menit dan radius efektif di mana pemisahan terjadi adalah 3,8 cm
- Densitas air 1000 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:
 - Δ tekanan sebelum & sesudah *filter medium*
 - sifat partikel zat padat pembentuk *filter medium*.
- Bila di awal penyaringan Δ tekanan terlalu besar → partikel zat padat tidak lolos akan membentuk lapisan yang sangat padat.
- Bila Δ tekanan terlalu kecil → lapisan partikel zat padat tidak lolos akan sangat porous.
- *Filter medium* terbentuk baik jika Δ tekanan di awal filtrasi diatur sedang kemudian berangsur-angsur naik sesuai dengan kenaikan tahanan *filter medium*.

- Kecepatan penyaringan = *driving force* / tahanan
- *Driving force* → Δ tekanan sebelum dan sesudah filter medium.
- Tahanan → tahanan dalam (dari cairan yang disaring) dan tahanan *filter medium*.
- Secara teoretis jika Δ 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 \rightarrow beda tekanan sebelum dan sesudah *filter medium* (P).
- Kecepatan penyaringan \rightarrow banyaknya filtrat pada setiap satuan waktu ($dv/d\theta$).
- Tahanan \rightarrow 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,

μ : 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 m².

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

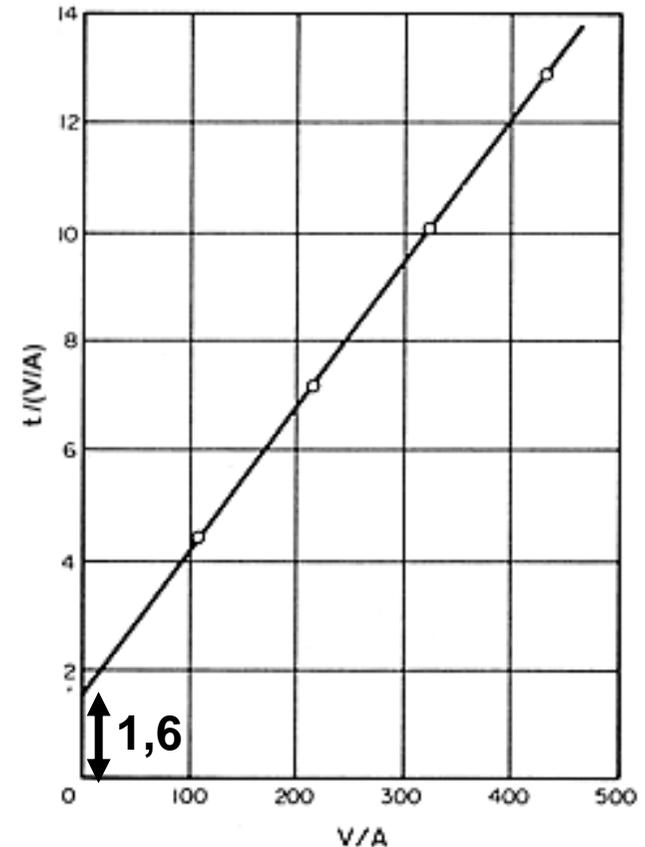
- Diinginkan filter skala pabrik untuk menyaring bubuk yang mengandung bahan yang sama dengan lab. tetapi konsentrasinya 50% lebih tinggi, tekanan 270 kPa,
- Hitung jumlah filtrat yang lewat selama 1 jam pada filter dengan luas area 9,3 m²

Data eksperimental:

V (kg)	20	40	60	80
θ (s)	480	1560	3270	5580
V / A (kg/m²)	107,5	219	323	430
$\theta / [V / A]$ (sm²/kg)	4,47	7,26	10,12	12,98

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

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



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,

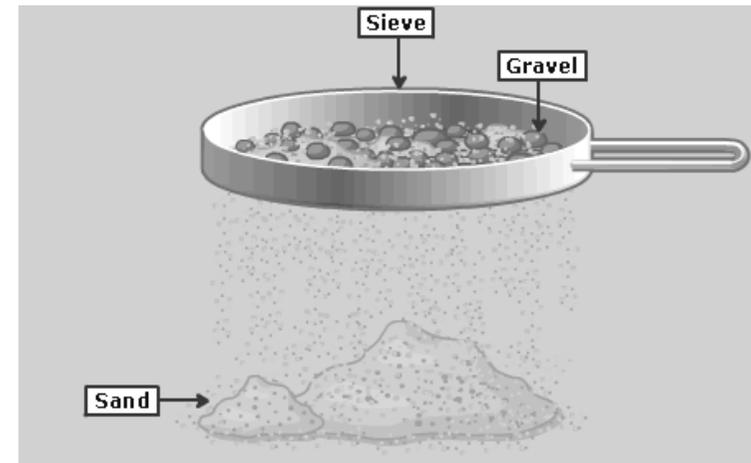
s sifat dari daya mampat cake.

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 μm .
- 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.

