



Koagulasi – Flokulasi

Shinta Rosalia Dewi



Campuran ada 3 :

1. Larutan
2. Koloid
3. Suspensi



- Koloid : campuran dua atau lebih zat yang bersifat homogen dengan ukuran partikel 1 – 100 nm, dan tidak terpengaruh oleh gaya gravitasi sehingga tidak terjadi pengendapan.

Sistem	Ukuran partikel	Metode pemisahan	Visibilitas partikel
Larutan	< 1nm	Membran	Tidak terlihat
Koloid	1 – 100 nm	Ultrafiltrasi	Ultra mikroskopis
Suspensi	> 1 μ m	Filtrasi	Mikroskopis

partikel koloid \nrightarrow filtrasi / sedimentasi

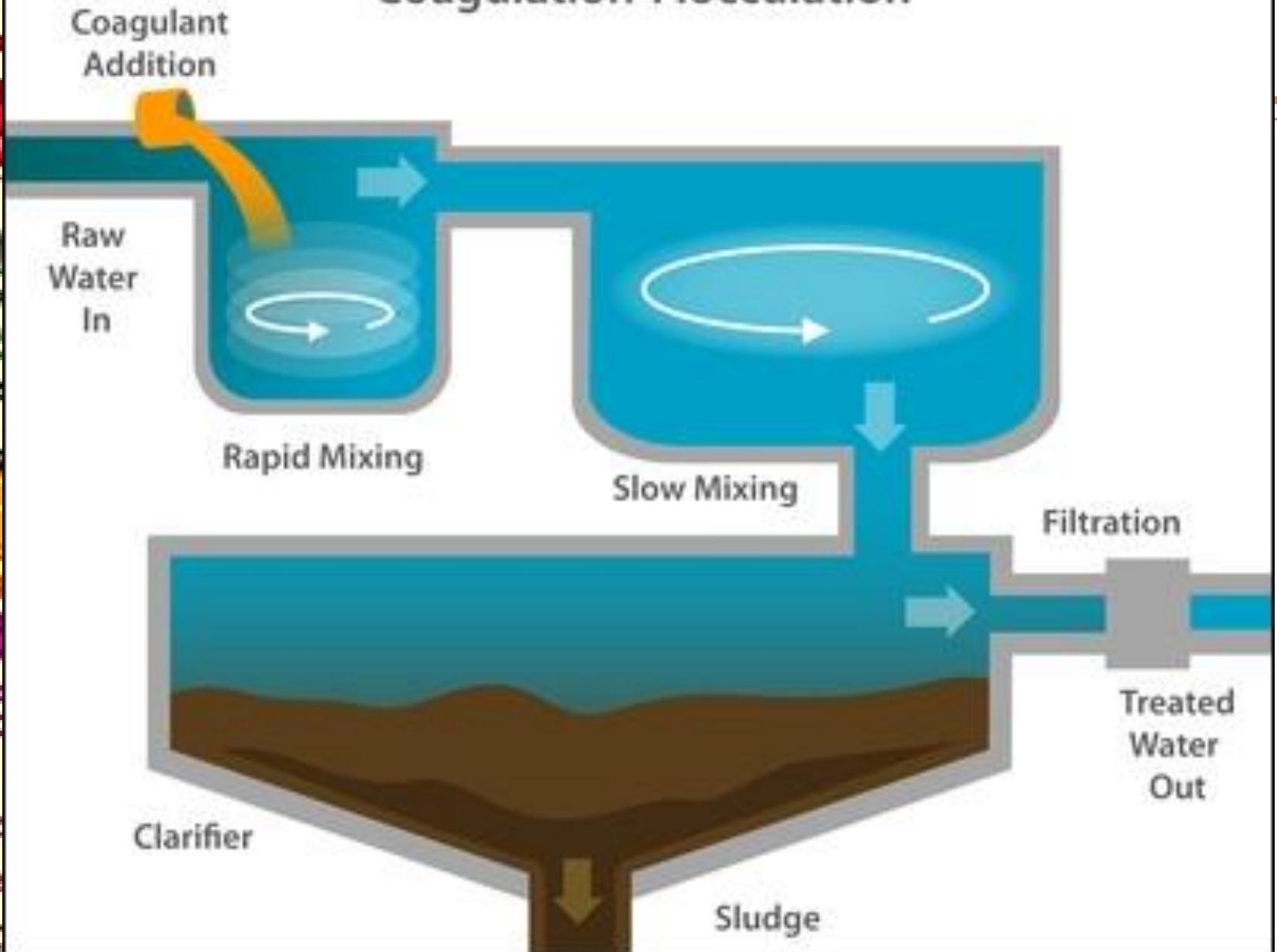


Koagulasi
Flokulasi
Sedimentasi
filtrasi



- Koagulasi : proses di mana campuran koloid terdestabilkan dengan adanya penambahan zat kimia (koagulan) sehingga partikel koloid mengalami aglomerasi dan membentuk agregat.
- Flokulasi : proses di mana partikel koloid terdestabilkan bergabung membentuk flok
- Sedimentasi : proses pemisahan padatan di mana partikel flok mengendap karena pengaruh gravitasi
- Filtrasi : proses pemisahan partikel padat dan cair dengan menggunakan sebuah bahan semi-permeable

Coagulation-Flocculation



Koagulasi

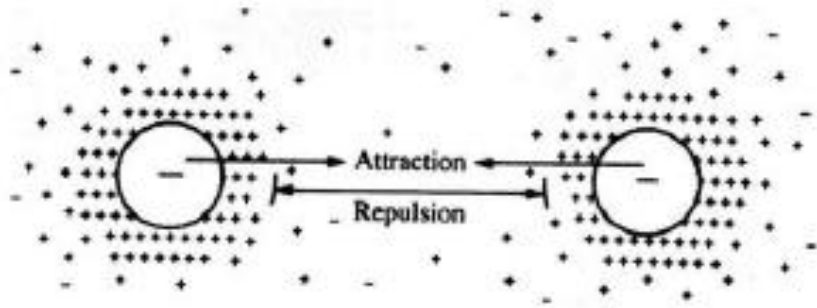
- Koagulasi dilakukan dengan penambahan bahan kimia (atau biasa disebut koagulan) yang berfungsi untuk mendestabilkan partikel koloid
- Koagulan (muatan berlawanan dengan partikel koloid) → menetralkan partikel koloid → partikel koloid bergabung → mikroflok (tidak terlihat dengan mata telanjang) → air mengelilingi mikroflok (terlihat)

Koagulasi (con't)

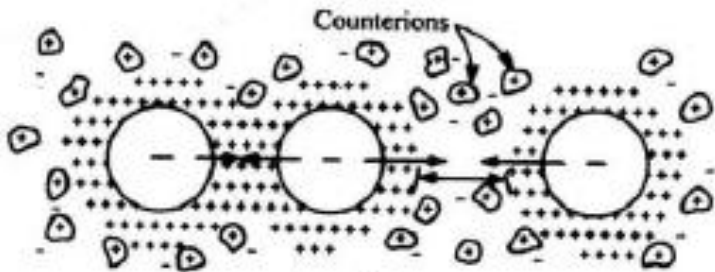
Mekanisme destabilisasi :

1. Merusak *double layer*
2. Penetralan muatan koloid
3. Penggabungan partikel koloid dengan adanya penambahan polimer

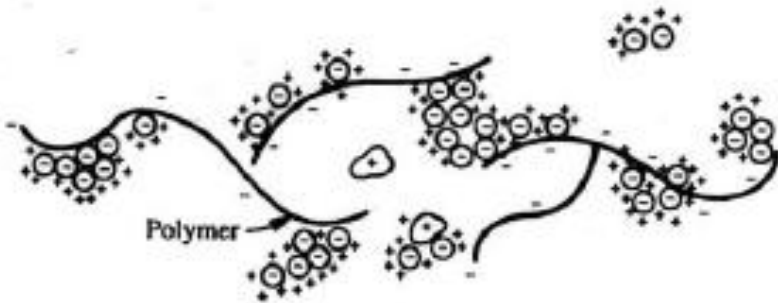
Perusakan *Double layer*



(a)



(b)



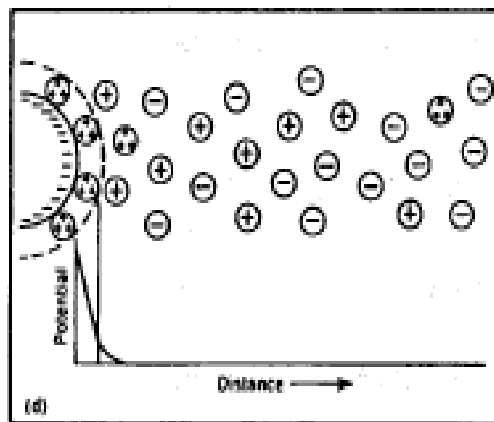
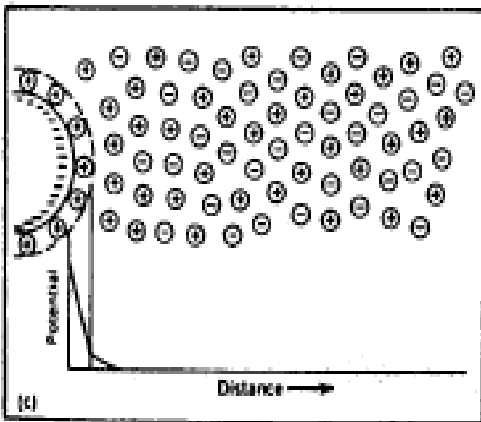
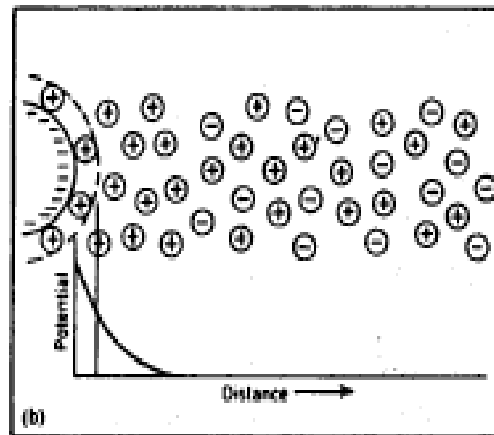
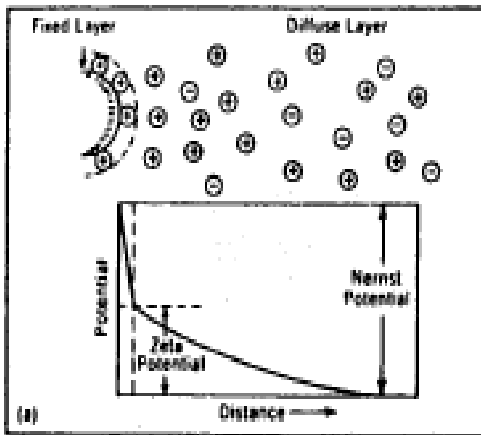
(c)

a : koloid stabil

b : penambahan koagulan menetralkan muatan double layer

c : aglomerasi partikel terdestabilkan → jembatan polimer

Penetralkan muatan



- a : zeta potensial
- b dan c : penurunan zeta potensial karena kompresi lapisan ion
- d : adsorpsi dan penetralan muatan

Koagulan

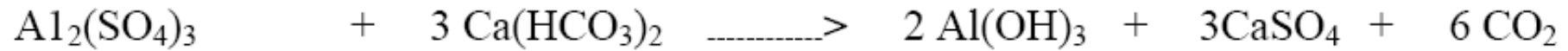
- Koagulan : bahan kimia yang mempunyai kemampuan untuk mendestabilkan koloid
- Bahan yang efektif sebagai koagulan : Muatan elektron yang lebih besar dan ukuran yang lebih besar.
- Koagulan ditambahkan ketika pengadukan dilakukan. Waktu pengadukan biasanya 1 sampai 3 menit.

Koagulan (con't)

Jenis koagulan yang banyak digunakan :

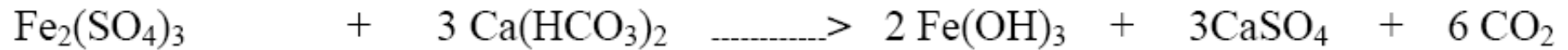
- Garam Al
 - Garam Fe
 - Lime
 - CaO, Ca(OH)₂, NaOH , Natrium aluminat
→ menaikkan alkalinitas dan pH
 - Polimer
- } Menurunkan alkalinitas dan pH

ALUM



Aluminum Sulfate + Calcium Bicarbonate (already in the water to treat) gives Aluminum Hydroxide + Calcium Sulfate + Carbon Dioxide


FERRIC SULFATE




Ferric Sulfate + Calcium Bicarbonate (present in the water to treat) gives Ferric Hydroxide + Calcium Sulfate + Carbon Dioxide

Koagulan (con't)

- Koagulan organik (polimer organik) lebih efektif daripada koagulan anorganik :
 1. Digunakan dalam jumlah sedikit
 2. Tidak mempengaruhi alkalinitas
 3. flok lebih cepat mengendap
- Kekurangan : mahal

- 
- Peralatan Koagulasi : *baffles*, pengaduk statis
 - Ada 2 macam pengadukan :
 1. pengadukan cepat
 2. pengadukan lambat
 - Pada proses koagulasi dibutuhkan energi yang tinggi → pengadukan cepat.

- 
- Intensitas pengadukan supaya pengadukan cepat (rapid mixing) dan flokulasi optimum, ditentukan oleh nilai G, yaitu gradien kecepatan.

$$G = \sqrt{\frac{P}{V\mu}}$$

P = rata rata konsumsi energi pada sistem

V = volum koloid

μ = viskositas

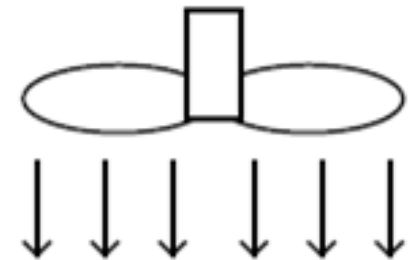
Condition	G (s ⁻¹)	P/V (W/m ³)
Flocculation in water treatment	10 – 100	0.1 – 10
Rapid mixing in water treatment	500 – 1000	250 – 1000

Impeller pumping action

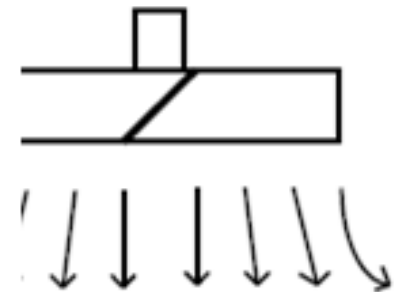
Arah Radial (ex : Flat-Blade Impeller)



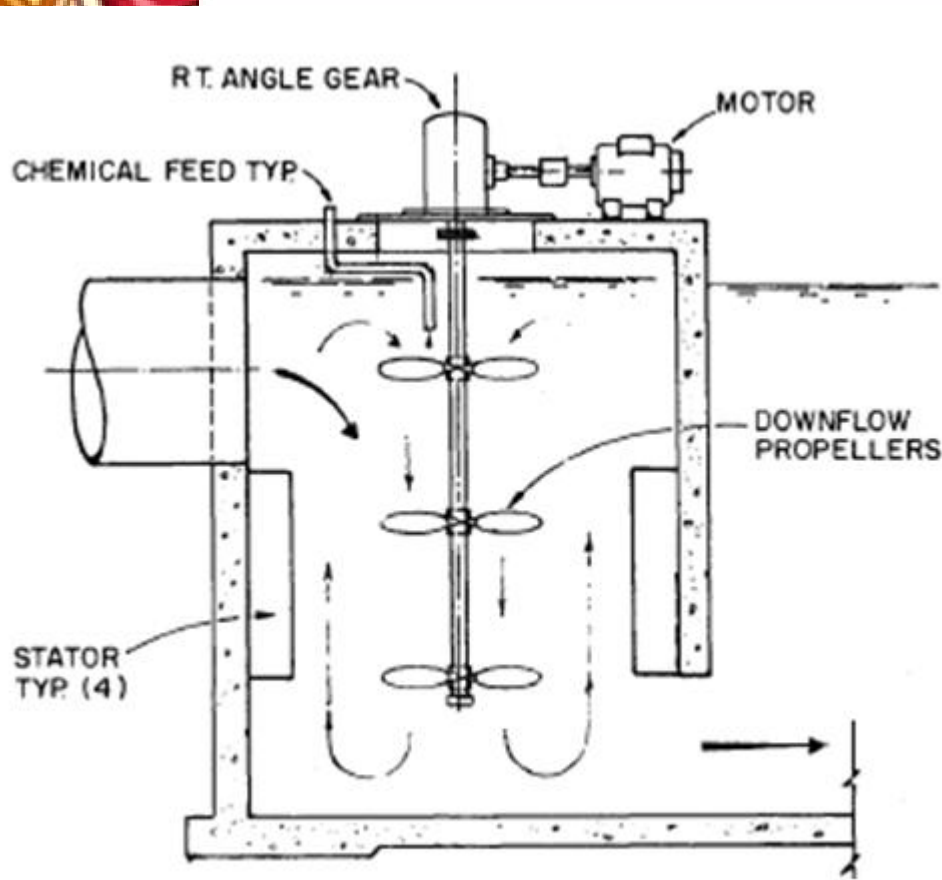
Arah aksial (ex : Propeller)



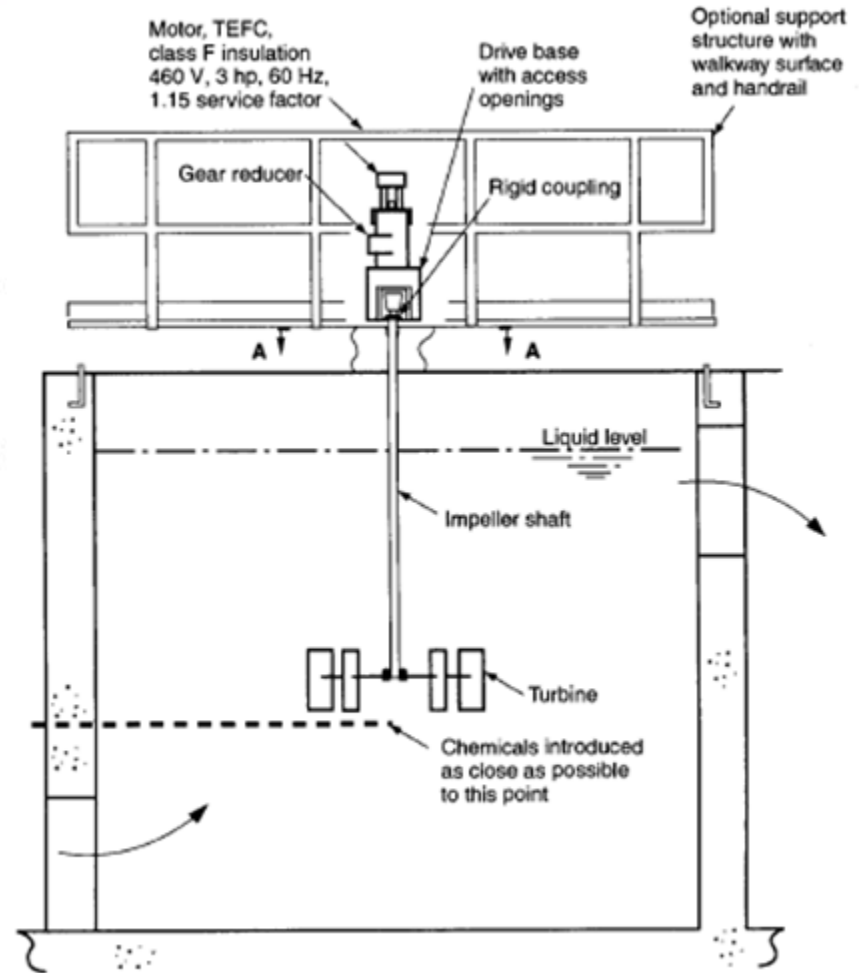
Arah campuran (mixed-flow) (ex : 45° Pitched-Bladed Turbine)



Rapid mixer

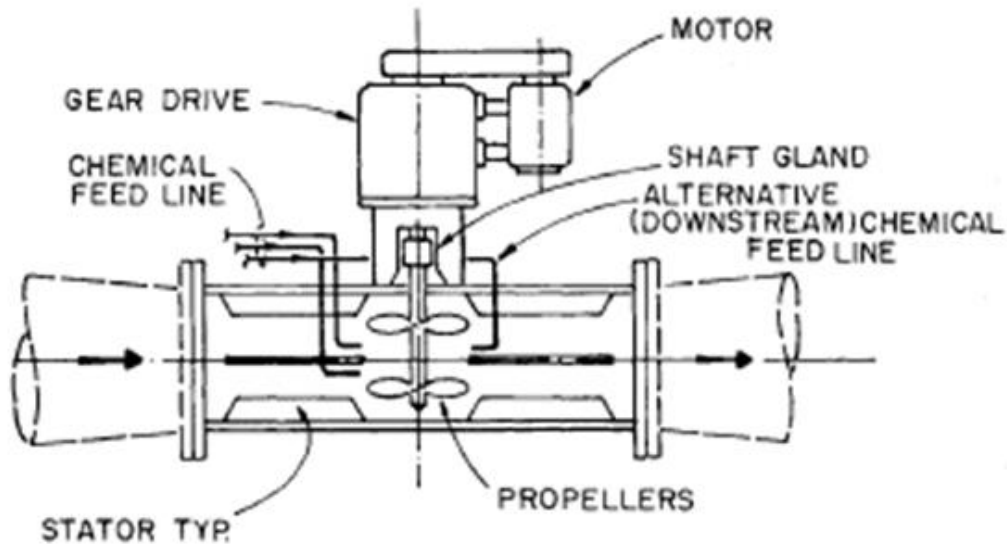


mechanical flash mixer : tipe propeler

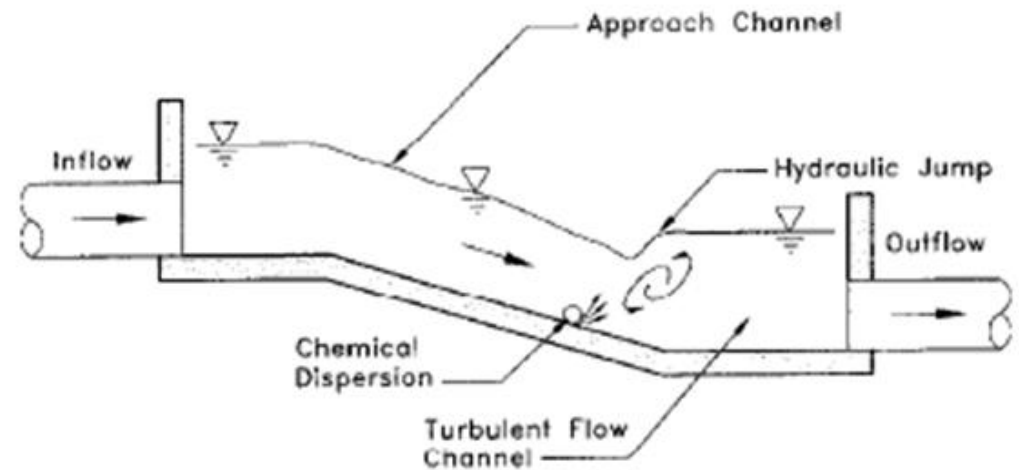


mechanical flash mixer : tipe turbin

Rapid mixer (con't)



mixer tipe in-line blender



mixer tipe hidrolik

Flokulasi

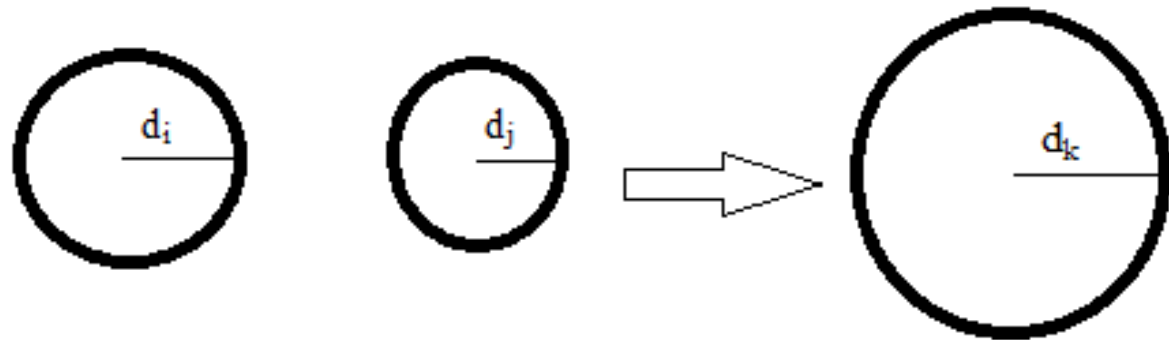
- Pengadukan lambat : mikroflok → flok
- Mikroflok akan bersentuhan satu sama lain sehingga → pinflok → tumbukan dan interaksi yang terus menerus dengan polimer organik atau anorganik → makroflok → ukuran maksimum → makroflok mengendap (sedimentasi).
- Proses flokulasi biasanya dilakukan selama 15 atau 20 menit sampai 1 jam atau lebih.

Flokulasi (con't)

Mekanisme flokulasi :

1. Mekanisme perikinetik (micro-flocculation) → flokulasi pada partikel koloid $1 \mu\text{m}$ atau yang lebih kecil karena gerak Brownian
2. Mekanisme ortokinetik (macro-flocculation) → flokulasi yang didasarkan pada perbedaan kecepatan dalam air limbah yang dapat menyebabkan adanya interaksi partikel ($> 1 \mu\text{m}$).

Kinetika partikel agregat :



$$\text{laju flokulasi: } \frac{dN}{dt} = - \left[\frac{1}{2} \alpha_{ij} \beta_{ij} n_i n_j \right]$$

dimana:

α_{ij} = efisiensi tumbukan = $\frac{\text{keberhasilan tumbukan}}{\text{ketidakberhasilan tumbukan}}$

β_{ij} = frekuensi tumbukan = $\beta_{PK} + \beta_{OK} + \beta_{DS}$

n = total jumlah partikel i atau j

N = total jumlah partikel

Flokulasi perikinetik

$$\text{frekuensi tumbukan} = \beta_{PK} = \frac{8}{3} \left(\frac{k_B T}{\mu} \right)$$

β_{PK} = frekuensi tumbukan (m^3/s)

k_B = konstanta Boltzman = $1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

T = suhu absolut (K)

μ = viskositas dinamik air (Ns/m^2 atau kg/m.s)

$$\text{laju flokulasi perikinetik} : \frac{dN}{dt} = -\frac{4}{3} \alpha \left(\frac{k_B T}{\mu} \right) N^2$$

Flokulasi ortokinetik

$$\text{frekuensi tumbukan} = \beta_{OK} = \frac{8}{\pi} G V_i$$

$$\beta_{OK} = \text{frekuensi tumbukan (m}^3/\text{s)}$$

$$G = \text{rata-rata gradien kecepatan} = G = \sqrt{\frac{P}{V\mu}}$$

$$V_i = \text{volum partikel berukuran } d_i = \frac{\pi d^3}{6}$$

P = rata rata konsumsi energi pada sistem

V = volum koloid

μ = viskositas

Flokulasi ortokinetik (con't)

laju flokulasi ortokinetik : $\frac{dN}{dt} = -\frac{4}{\pi} G\alpha\Omega N$

$$\Omega = \text{volum flok} = N_0 V_p = N_0 \frac{\pi d^3}{6}$$

Sedimentasi

$$\beta_{DS} = \frac{\pi \Delta \rho g \alpha}{72 \mu} \left[(d_i + d_j)^3 \right] \left[d_i - d_j \right]$$

$\Delta \rho$ = perbedaan densitas partikel dan air

$$= \rho_p - \rho_w$$

μ = viskositas

α = efisiensi tumbukan

g = gravitasi = $9,8 \text{ m/s}^2$

d = diameter

Flokulator

1. Flokulator hidrolik : memanfaatkan cross-flow baffle atau arah 180° untuk menghasilkan turbulen yang diperlukan.
Tujuan utama desain : untuk mendapatkan campuran yang lembut dan seragam.
Flokulator ini hanya digunakan ketika laju alir relatif konstan dan untuk skala kecil.
2. Flokulator mekanik : td pengaduk *paddle-wheel*, flokulator *walking beam*, turbin piringan datar (*flat-plate*), dan propeler atau turbin

Flokulator mekanik

Flokulator mekanik lebih banyak dipakai karena :

- Fleksibilitas variasi nilai G lebih besar
- Low head loss

Td :


1. *Horizontal shaft*
2. *Reel type flocculator*
3. *Vertical paddle unit*
4. *Oscillating flocculator*

Flokulator mekanik

- Tipe flokulator mekanik menentukan bentuk kompartemen flokulasi
- Flokulator vertikal → kompartmen persegi dengan ukuran maksimum : sisi 20 ft (6 m) dan tinggi 10 – 16 ft (3 – 5 m)
- Flokulator *Horizontal shaft, reel, paddle* → panjang 20 – 100 ft (6 – 30 m) dan lebar 10 – 16 (3 – 5 m)

Flokulator hidrolis

- Volume flokulasi diasumsikan sama dengan total volume dari setiap kompartemen.
- Nilai G fungsi dari aliran (flow) yang tidak mudah disesuaikan.
- Energi → melalui labirin (maze) baffle atau cross-flow baffles.
- Baffle tipe labirin : kondisi optimum aliran → hasil yang baik. Ex : pada kecepatan alir 0,7 – 1,4 ft/s (21 – 43 cm/s) memberikan flokulasi yang baik dengan turbulensi pada 180° pada setiap baffle

- 
- Baffle tipe cross-flow : energi dipertukarkan ke air di setiap kompartemen dari head loss melewati lubang pada pintu baffle.
 - Nilai G di setiap kompartemen dapat dihitung dari head loss diperkirakan di *baffle* ke setiap kompartemen

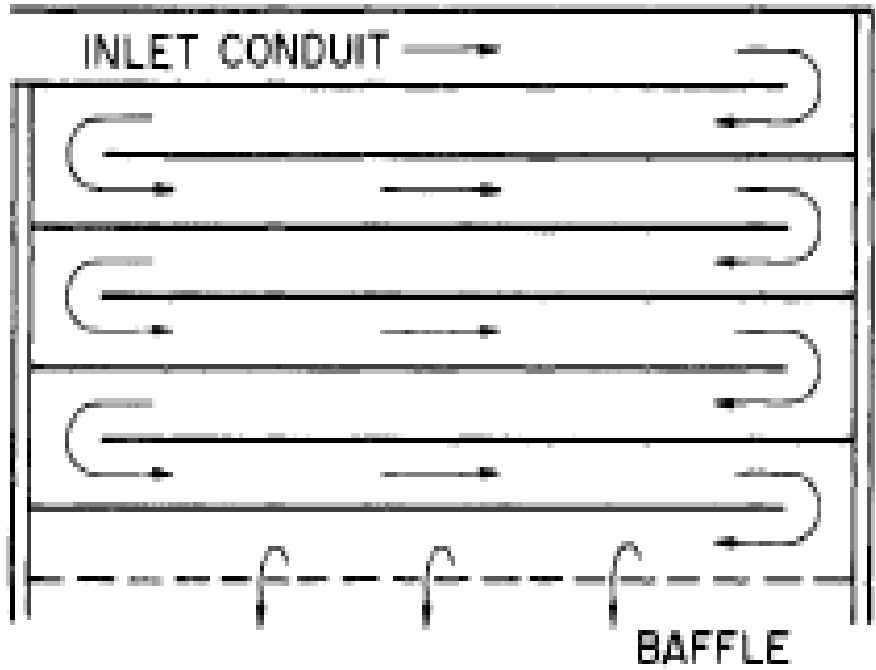
$$G = 62,5 \frac{h_v}{t\mu}$$

h_v = head loss entering compartment

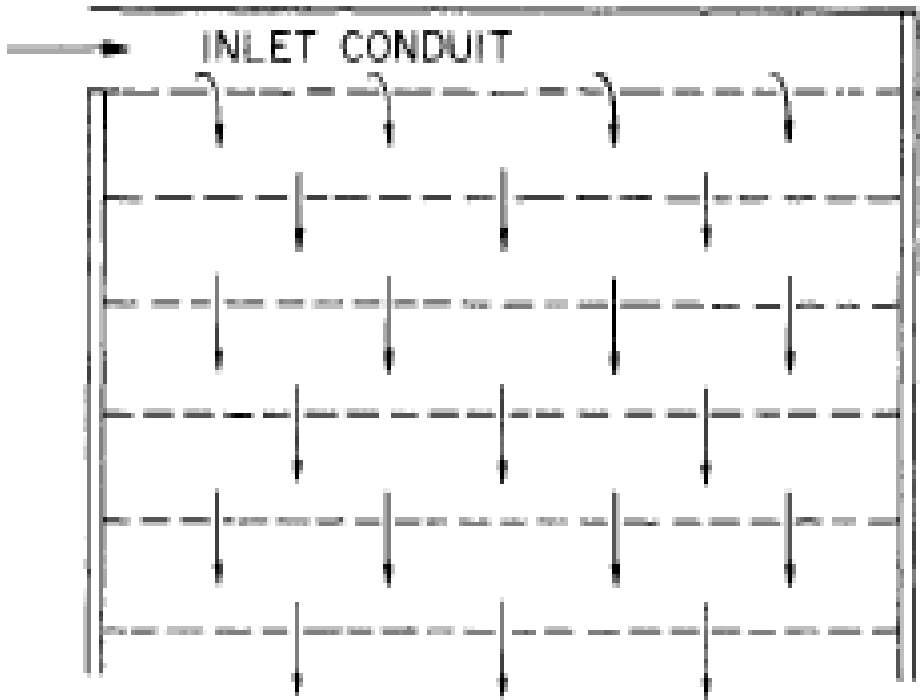
t = waktu detensi (s)

μ = viskositas (lbs / ft²)

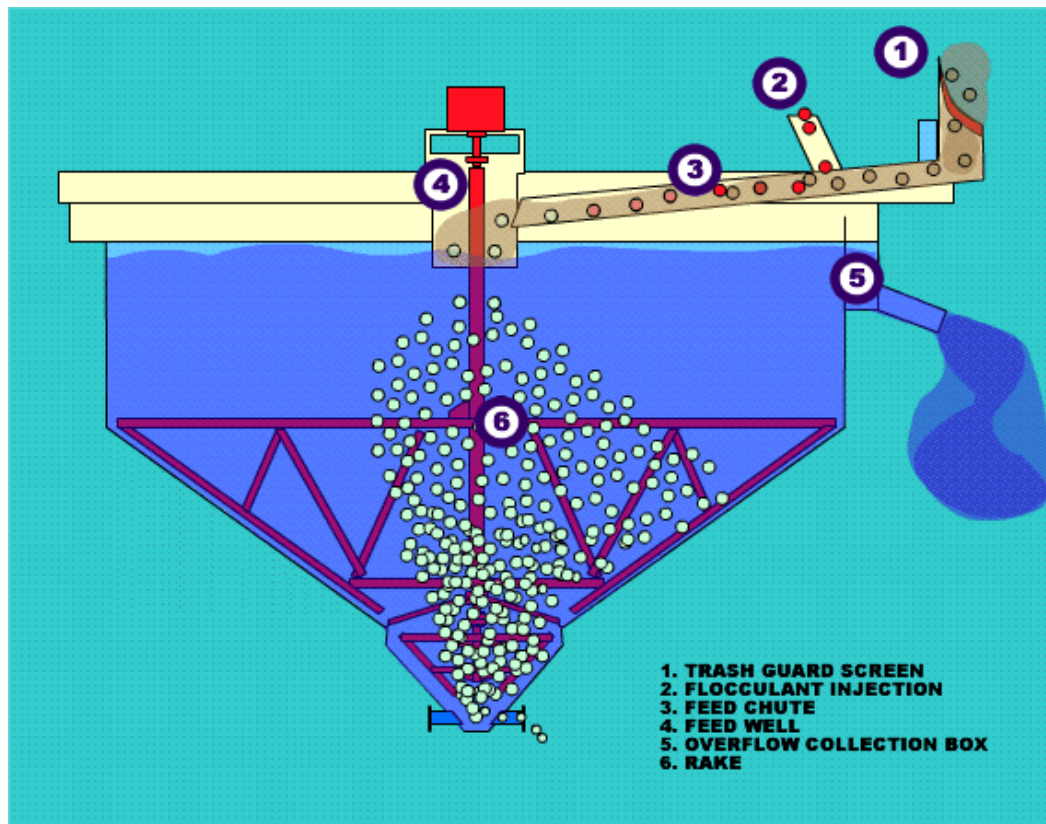
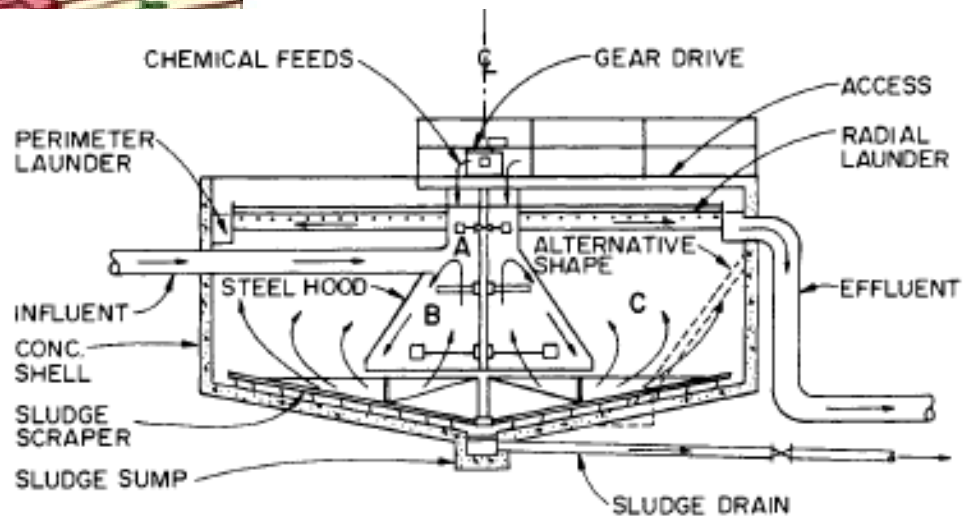
Flokulator



PLAN OF MAZE FLOCCULATOR



PLAN OF BAFFLE FLOCCULATOR



Proses koagulasi-flokulasi Batch

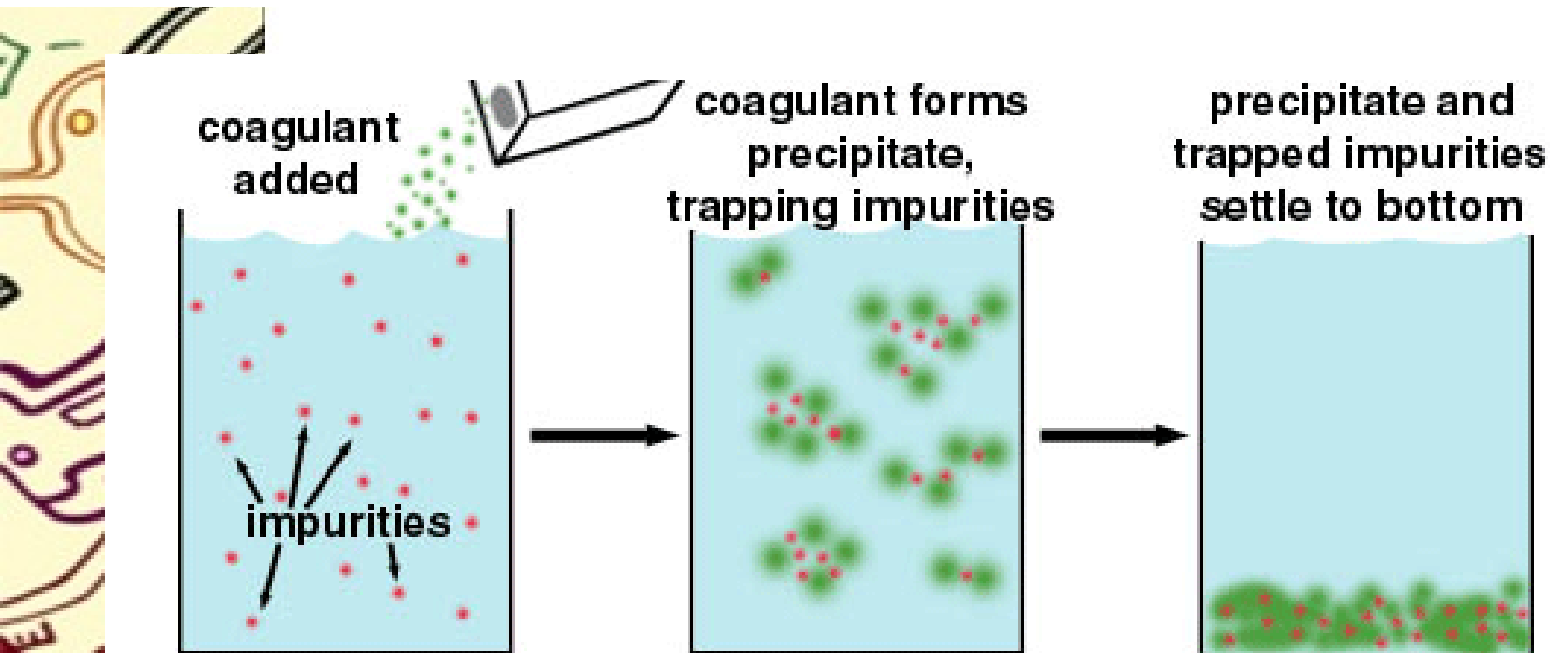
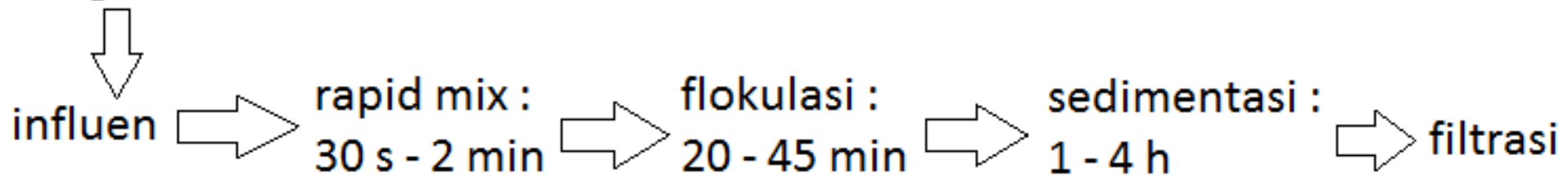
- Digunakan 2 tangki paralel, setiap tangki dioperasikan dengan siklus lengkap (koagulasi, flokulasi, sedimentasi)
- Setiap tahap disusun seri dan tergantung waktu
- Setelah tangki diisi air limbah, koagulan ditambahkan sementara dilakukan pengadukan cepat (kira-kira 10 menit)
- Proses pengadukan diperlambat selama proses flokulasi dan dihentikan pada saat proses sedimentasi (sekitar beberapa jam)
- Proses Batch → biaya yg efektif → untuk 50000 galon/hari


Proses koagulasi-flokulasi kontinyu

- Proses kontinyu dilakukan dengan beberapa tahapan :
 1. Sistem umpan dengan bahan kimia :sbg umpan koagulan secara kontinyu pada air limbah
 2. Tangki pengaduk cepat → rotating impeller
 3. Tangki flokulasi → pengadukan lambat dengan impeller atau paddle
 4. Tangki sedimentasi → untuk memisahkan flok
 5. Sistem filtrasi → untuk memisahkan effluen (air sisa treatment)

kesimpulan

koagulan





Try to be a good process
engineer,
try to give something
different and getting
something better in a new
environment.

Latihan soal

Hitunglah $t_{1/2}$ flokulasi yang dibutuhkan oleh partikel dengan diameter 100 \AA di dalam reaktor batch, jika total volum flok adalah 10^{-10} . Asumsikan bahwa suhu air 15°C dan proses flokulasi hanya dipengaruhi oleh gerak Brownian. Pada proses ini tidak ada flok yang rusak sehingga $\alpha = 1$.

Note : $1 \text{ m} = 10^{10} \text{ \AA}$; $k_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$;
 $\mu = 1,139 \times 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$

diketahui:

$$d = 100 \text{ \AA}$$

$$\Omega = 10^{-10} \text{ m}^3 / \text{m}^3$$

$$T = 15^\circ \text{ C}$$

$$k_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K} = 1,38 \times 10^{-23} \text{ kgm}^2\text{s}^{-2}$$

$$\mu = 1,139 \times 10^{-3} \text{ Ns} / \text{m}^2 = 1,139 \times 10^{-3} \text{ kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$$

jawab:

$$V_{\text{partikel}} = \frac{\pi d^3}{6} = \frac{3,14}{6} \left(100 \text{ \AA} \frac{1\text{m}}{10^{10} \text{ \AA}} \right)^3 = 5,24 \times 10^{-25} \text{ m}^3$$

$$\Omega = \frac{\pi d^3}{6} N = 10^{-10} \text{ m}^3 / \text{m}^3$$

$$N_0 = \frac{10^{-10}}{5,24 \times 10^{-25} \text{ m}^3} = 1,908 \times 10^{14} \text{ partikel} / \text{m}^3$$

$$\text{laju} = \frac{dN}{dt} = -\frac{4}{3} \alpha \left(\frac{k_B T}{\mu} \right) N^2$$

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N^2} = -\frac{4}{3} \alpha \left(\frac{k_B T}{\mu} \right) \int_0^t dt$$

$$-\frac{1}{N} + \frac{1}{N_0} = -\frac{4}{3} \alpha \left(\frac{k_B T}{\mu} \right) t$$

$$t = \frac{\frac{N_0}{N} - 1}{\frac{4\alpha k_B T}{3\mu} N_0}; \quad N = 0,5N_0 = 0,5 \times 1,908 \times 10^{14} = 9,54 \times 10^{13}$$

$$t = \frac{\frac{N_0}{N} - 1}{\frac{4\alpha k_B T}{3\mu} N_0} = \frac{\frac{1,908 \times 10^{14} \text{ partikel / m}^3}{9,54 \times 10^{13} \text{ partikel / m}^3} - 1}{\frac{4 \times (1) \times (1,38 \times 10^{-23} \text{ J / K}) \times (15 + 273 \text{ K})}{3 \times (1,139 \times 10^{-3} \text{ N s / m}^2)} \times (1,908 \times 10^{14} \text{ partikel / m}^3)} =$$

$$= \frac{1}{887,70 \times 10^6} = 1126,51 \text{ s} = 0,313 \text{ h}$$

TABLE 6.1 Water Viscosity and Water Temperature

Temperature, °C	Temperature, °F	μ , cP	μ , lb · s/ft ²
0	32	1.792	3.75×10^{-5}
5	41	1.520	3.17×10^{-5}
10	50	1.310	2.74×10^{-5}
15	59	1.145	2.39×10^{-5}
20	68	1.009	2.10×10^{-5}
25	77	0.895	1.87×10^{-5}
30	86	0.800	1.67×10^{-5}