

Modul Pembelajaran

# PENGOLAHAN AIR LIMBAH

TEKNIK LINGKUNGAN  
BERBASIS STUDI TROPIS & LINGKUNGANNYA



FAHRIZAL ADNAN

## Kata Pengantar

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Yang Maha Esa atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan pembuatan **Modul Pembelajaran Satuan Proses Teknik Lingkungan** yang akan digunakan sebagai bahan ajar perkuliahan satuan Proses di Program Studi S1 Teknik Lingkungan Universitas Mulawarman. Mata Kuliah ini merupakan mata kuliah wajib dan menjadi dasar dalam perkuliahan lanjutan dalam aspek pengolahan air. Hal ini juga sejalan untuk menguatkan Pola ilmiah Pokok (PIP) Universitas Mulawarman yaitu Studi Tropis dan lingkungannya. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. M. Dahlan Balfas, S.T, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Uiversitas Mulawarman
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Tamrin S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Akademik, Kemahasiswaan dan Alumni Fakultas Teknik
3. Bapak Ibu Dosen di Lingkungan Program Studi S1 Teknik Lingkungan

Penulis menyadari sepenuhnya akan kekurangan yang terdapat dalam karya ini, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun diperlukan untuk membuat modul pembelajaran ini supaya menjadi lebih baik lagi. Semoga modul pembelajaran ini dapat mudah dipahami sebagai pendukung proses pembelajran mandiri.

Samarinda, 10 November 2021

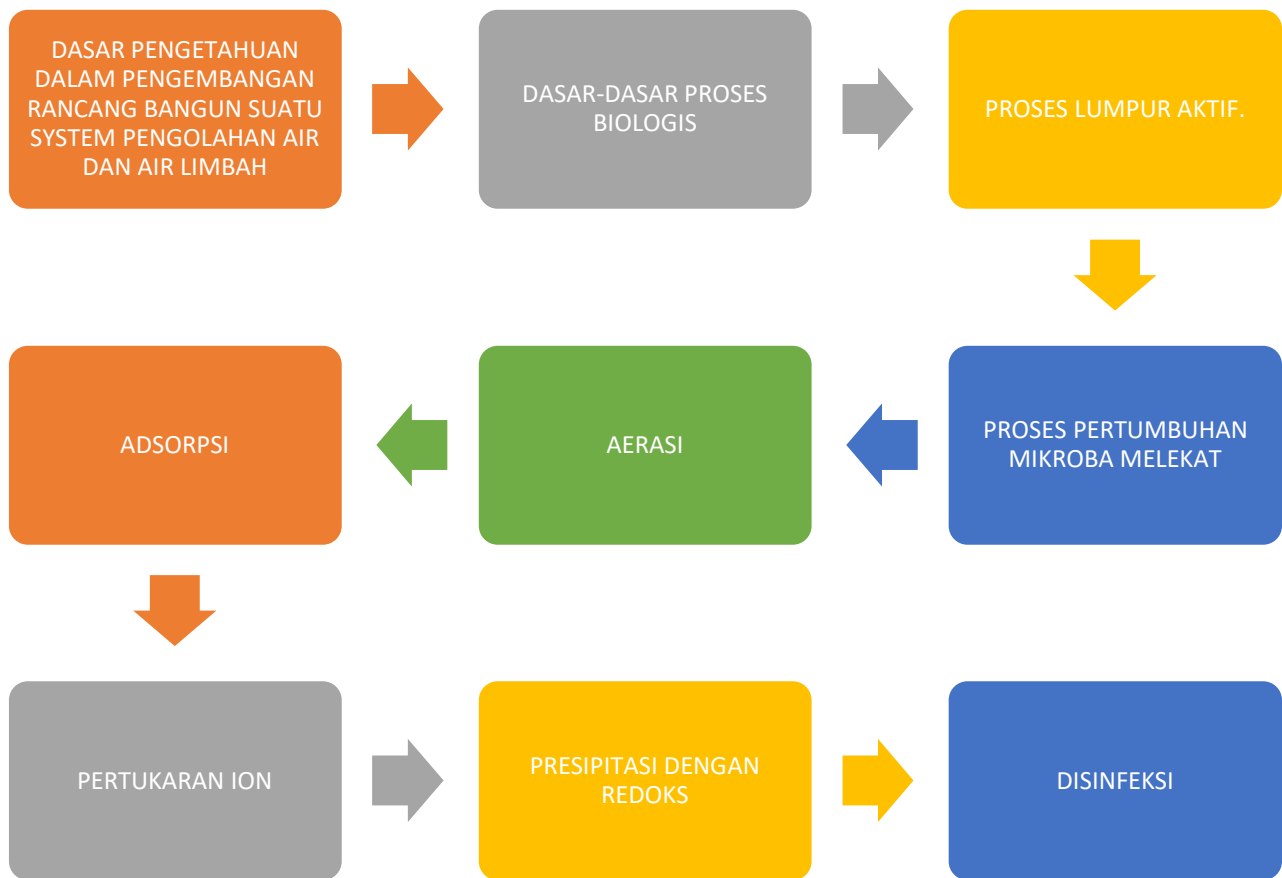
Ir. Fahrizal Adnan, S.T., M.Sc.  
NIP 198807262019031010

## Daftar Isi

Kata Pengantar .....	1
Daftar Isi .....	2
Peta Kedudukan Modul .....	4
Glosarium .....	5
I. Pendahuluan .....	6
1.1 Deskripsi.....	6
1.2 Prasyarat .....	6
1.3 Petunjuk penggunaan Modul .....	6
1.4 Penjelasan bagi mahasiswa .....	6
1.5 Peran Dosen .....	6
1.6 Tujuan Akhir.....	7
1.7 Kompetensi .....	7
1.7.1 Sikap dan tata nilai .....	7
1.7.2 Kemampuan Kerja Umum .....	7
1.7.3 Kemampuan Kerja Khusus.....	7
1.7.4 Penguasaan Pengetahuan .....	7
1.7.5 Kewenangan dan Tanggung Jawab .....	8
1.8 Cek kemampuan .....	8
II. Pembelajaran .....	9
Tujuan kegiatan pembelajaran .....	9
Rencana belajar Mahasiswa.....	9
Stoikiometri, Dasar Kinetika Proses dan Reaktor .....	10
Uraian materi .....	10
Rangkuman .....	17
Tugas.....	18
Tes Formatif .....	18
Kunci jawaban Formatif .....	18
Dasar-dasar Proses Biologis .....	21
Uraian Materi.....	21
Proses Lumpur Aktif.....	29

Uraian materi .....	29
Modifikasi Lumpur Aktif.....	40
Uraian Materi.....	40
Proses Pertumbuhan Melekat Trickling Filter dan Rotary Biological Contactor .....	46
Uraian Materi.....	46
III. Evaluasi .....	55

## Peta Kedudukan Modul



## Glosarium

MLSS  
MLVSS

# I. Pendahuluan

## 1.1 Deskripsi

Mahasiswa mampu menjelaskan satuan proses yang digunakan dalam pengolahan air bersih dan air limbah. Mahasiswa mampu menggunakan prinsip-prinsip dasar teknik untuk perhitungan-perhitungan proses-proses fisika-kimia, biologi.

## 1.2 Prasyarat

Mata kuliah ini memiliki prasyarat yaitu mata kuliah Kimia Lingkungan

## 1.3 Petunjuk penggunaan Modul

Sebelum anda mempelajari modul ini, sebaiknya anda membaca terlebih dahulu petunjuk penggunaan berikut ini.

1. Dalam modul ini disediakan peta konsep yang menggambarkan hubungan kasualitas materi dalam kegiatan belajar yang satu dengan yang lainnya. Dengan peta konsep tersebut akan memudahkan Anda dalam memahami kompetensi apa saja yang harus dikuasai agar tercapai standar kompetensi yang diinginkan.
2. Mata diklat ini memiliki alokasi waktu sebanyak 6 jamlat dengan modul yang terbagi atas 2 kegiatan belajar. Pembagian kegiatan belajar tersebut telah disesuaikan dengan alur implementasinya sehingga pemahaman satu materi akan sangat penting sebagai modal Anda dalam memahami kegiatan belajar berikutnya.
3. Di setiap akhir bagian kegiatan belajar terdapat tes sumatif yang disediakan guna menguji tingkat pemahaman Anda setelah memperoleh pengajaran. Jawablah setiap pertanyaan dalam tes tersebut, dan nilai yang anda peroleh agar dijadikan sebagai umpan balik untuk menilai lagi apakah materi dalam kegiatan belajar sudah Anda kuasai dengan baik atau belum.
4. Guna memudahkan Anda dalam memahami materi dalam modul ini, Pengajar nantinya akan banyak melakukan simulasi atau latihan selama proses pembelajaran berlangsung

## 1.4 Penjelasan bagi mahasiswa

1. Bacalah dan pahami materi yang ada pada setiap kegiatan belajar. Bila ada materi yang belum jelas, siswa dapat bertanya pada guru.
2. Kerjakan setiap tugas diskusi terhadap materi-materi yang dibahas dalam setiap kegiatan belajar.
3. Jika belum menguasai level materi yang diharapkan, ulangi lagi pada kegiatan belajar sebelumnya atau bertanyalah kepada guru.

## 1.5 Peran Dosen

1. Sebagai perencana, dosen adalah penentu jenis tugas yang harus dikerjakan mahasiswa.
2. Sebagai fasilitator, dosen adalah penentu atau penyedia sarana yang dapat mengilhami mahasiswa dalam berpikir aktif dan kreatif.
3. Sebagai evaluator, dosen dalam menilai tugas yang dibuat mahasiswa seringkali dosen terlalu cepat menyalahkan tugas yang dibuat mahasiswa tanpa berusaha melihat kesalahan secara lebih luas.

## 1.6 Tujuan Akhir

Setelah mengikuti kuliah ini, mahasiswa diharapkan memiliki wawasan dan dapat mengetahui tentang satuan proses yang digunakan dalam pengolahan air bersih dan air limbah. Mahasiswa diharapkan mampu menggunakan prinsip-prinsip dasar teknik untuk perhitungan-perhitungan proses-proses fisika-kimia, biologi.

## 1.7 Kompetensi

### 1.7.1 Sikap dan tata nilai

Mampu bekerja sama dan memiliki kepekaan sosial serta kepedulian terhadap masyarakat dan lingkungan

### 1.7.2 Kemampuan Kerja Umum

1. Mampu melakukan penerapan ilmu pengetahuan dan atau teknologi, melalui penalaran ilmiah dengan menggunakan pemikiran logis, kritis dan inovatif.
2. Mampu melakukan pengkajian pengetahuan dan atau teknologi dibidangnya berdasarkan kaidah keilmuan yang disusun dalam bentuk skripsi/ laporan tugas akhir, atau menghasilkan karya desain/ seni beserta deskripsinya berdasarkan metode atau kaidah rancangan baku
3. Mampu mempublikasikan hasil tugas akhir atau karya desain/ seni yang dapat diaksen oleh masyarakat akademik
4. Mampu mengkomunikasikan informasi dan ide melalui berbagai media kepada masyarakat sesuai dengan bidang keahliannya

### 1.7.3 Kemampuan Kerja Khusus

1. Mampu menerapkan matematika, statistika, fisika, kimia, biologi, mikrobiologi, dan prinsip rekayasa (*engineering principles*) untuk menyelesaikan masalah rekayasa pada upaya peningkatan kualitas lingkungan meliputi penyediaan air bersih, pengelolaan sampah dan limbah cair, padat, dan gas, pengendalian pencemaran udara serta kesehatan dan keselamatan kerja(K3)
2. Mampu menemukan sumber masalah rekayasa melalui proses penyelidikan, analisis, interpretasi data dan informasi berdasarkan prinsip-prinsip rekayasa berkaitan dengan upaya peningkatan kualitas dan isu-isu lingkungan air, udara, tanah, dan kesehatan lingkungan
3. Mampu melakukan riset yang mencakup identifikasi, formulasi dan analisis masalah rekayasa sesuai dengan bidang keilmuan teknik lingkungan
4. Mampu merancang sistem dan proses yang diperlukan untuk upaya peningkatan kualitas lingkungan sesuai standar teknis, keselamatan dan kesehatan lingkungan yang berlaku dengan mempertimbangkan aspek kinerja dan keandalan, kemudahan penerapan dan keberlanjutan, serta memperhatikan faktor-faktor ekonomi, kesehatan dan keselamatan publik, kultural, sosial dan lingkungan

### 1.7.4 Penguasaan Pengetahuan

1. Menguasai konsep teoretis sains alam, aplikasi matematika rekayasa; prinsip-prinsip rekayasa (*engineering fundamentals*), sains rekayasa dan perancangan rekayasa yang diperlukan untuk analisis permasalahan lingkungan dan perancangan rekayasa lingkungan serta sistem pengelolaan lingkungan
2. Menguasai prinsip dan teknik perancangan teknik lingkungan dengan pendekatan sistem secara terintegrasi



### 1.7.5 Kewenangan dan Tanggung Jawab

1. Mampu bertanggung jawab atas pekerjaan di bidang keahliannya secara mandiri dan dapat diberi tanggung jawab atas pencapaian hasil kerja institusi atau organisasi dengan mengutamakan keselamatan dan keamanan kerja
2. Mampu mengambil keputusan yang tepat berdasarkan analisis dalam melakukan supervise dan evaluasi terhadap pekerjaan yang menjadi tanggungjawabnya
3. Mampu mengelola pembelajaran diri sendiri
4. Mampu mengembangkan dan memelihara jaringan kerja dengan pembimbing kolega, sejawat didalam maupun diluar institusi

### 1.8 Cek kemampuan

1. Mahasiswa memahami dan mengetahui tentang dasar pengetahuan dalam pengembangan rancang bangun suatu system pengolahan air dan air limbah
2. Mahasiswa mengetahui dasar-dasar proses biologis.
3. Mahasiswa mengetahui proses lumpur aktif.
4. Mahasiswa mengetahui tentang proses pertumbuhan mikroba melekat.
5. Mahasiswa mengetahui tentang aerasi.
6. Mahasiswa mengetahui tentang adsorpsi.
7. Mahasiswa mengetahui tentang pertukaran ion.
8. Mahasiswa mengetahui tentang presipitasi dengan redoks
9. Mahasiswa mengetahui tentang disinfeksi.

## II. Pembelajaran

Mata kuliah : Satuan Proses  
Kode mata kuliah : 09045314  
Status mata kuliah : Wajib  
SKS : 3 SKS

### Tujuan kegiatan pembelajaran

Mahasiswa memahami dan mengetahui tentang dasar pengetahuan dalam pengembangan rancang bangun suatu sistem pengolahan air dan air limbah.

### Referensi:

Ali, M., Agus, S., 2000, Satuan Proses, Teknik Lingkungan, ITS.  
Introduction to Chemical Engineering Kinetics and Reactor Design  
Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment  
Wastewater Engineering

### Rencana belajar Mahasiswa

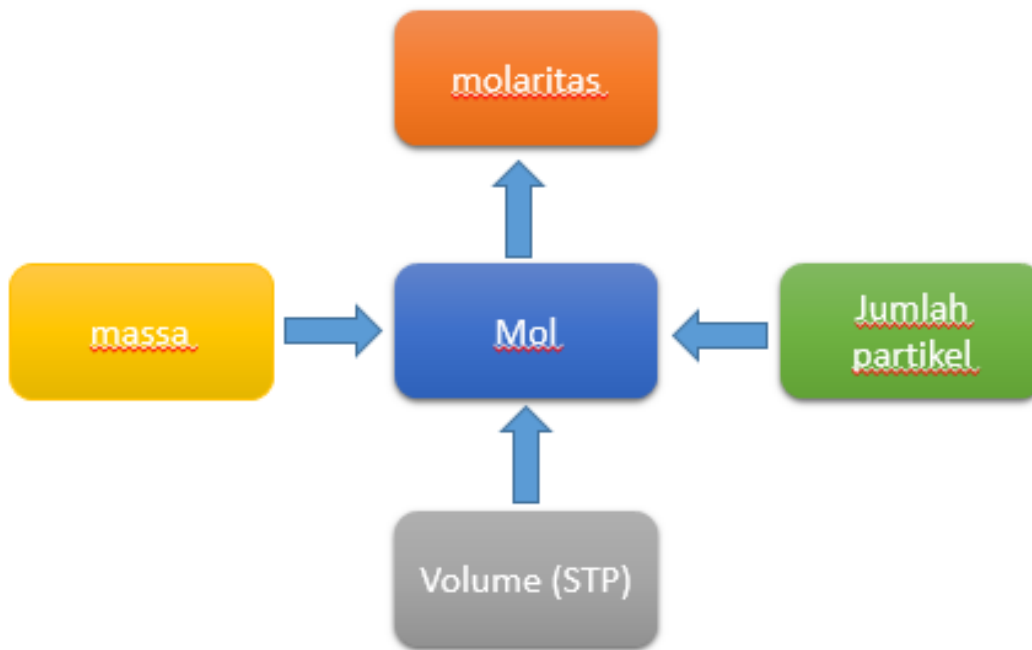
Pertemuan	Materi
1	Stoikiometri, Dasar kinetika proses dan Reaktor
2-3	Dasar-dasar Proses Biologis
4-5	Proses lumpur aktif
6-7	Proses pertumbuhan melekat
8	Ujian Tengah Semester
9-10	Aerasi
11-12	Adsorpsi
13	Pertukaran ion
14	Presipitasi dengan redoks
15	Desinfeksi
16	Ujian Akhir Semester

## Stoikiometri, Dasar Kinetika Proses dan Reaktor

### Uraian materi

#### Stoikiometri

Stoikiometri merupakan hubungan kuantitatif antara reaktan dengan produk. Sedangkan Reaktan merupakan zat (substansi) awal dalam reaksi kimia, di sebelah kiri persamaan kimia. Produk merupakan zat yang dihasilkan dalam reaksi kimia, di sebelah kanan persamaan kimia



#### PERSAMAAN KIMIA

- Merupakan representasi reaksi kimia menggunakan rumus kimia dari reaktan dan produk
- Pers. kimia yang setara: jumlah tiap jenis atom dalam reaktan dan produk sama
- Contoh:  $\underline{1}\text{CH}_4 + \underline{2}\text{O}_2 \rightarrow \underline{1}\text{CO}_2 + \underline{2}\text{H}_2\text{O}$

#### POLA REAKTIVITAS KIMIA

- Jenis reaksi dan perkiraan produk:
  - menggunakan tabel periodik (golongan: sifat sama)
  - klasifikasi reaksi:

reaksi **kombinasi**: 2 atau lebih zat bereaksi membentuk satu produk

reaksi **dekomposisi**: satu zat bereaksi menghasilkan 2 atau lebih produk

reaksi **pembakaran**: menghasilkan panas dan nyala, melibatkan oksigen

reaksi **reduksi-oksidasi**: melibatkan perubahan bil. Oksidasi dari atom-atom tertentu.

#### MOL

- 1 mol : jumlah materi yang mengandung obyek (atom, molekul) sebanyak jumlah atom dalam 12 g  $^{12}\text{C}$ .
- Jumlah atom dalam 12 g  $^{12}\text{C} \rightarrow 6,02214199 \times 10^{23}$  (bilangan Avogadro)

- Massa → Mol → jumlah partikel

Contoh: Berapa jumlah atom C dalam 0,350 mol  $C_6H_{12}O_6$ ?

Penyelesaian:

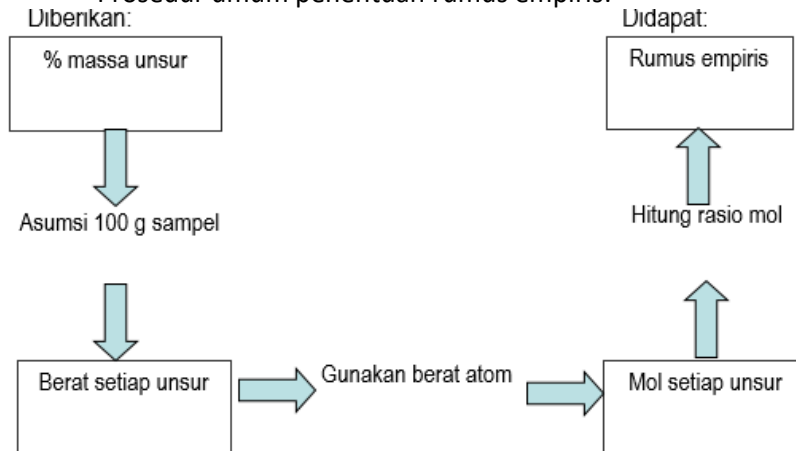
mol  $C_6H_{12}O_6$  → molekul  $C_6H_{12}O_6$  → mol C

$$\begin{aligned} \text{Atom C} &= (0,350 \text{ mol } C_6H_{12}O_6) \left( \frac{6,02 \times 10^{23} \text{ molekul}}{1 \text{ mol } C_6H_{12}O_6} \right) \left( \frac{6 \text{ atom C}}{1 \text{ molekul}} \right) \\ &= 1,26 \times 10^{24} \text{ atom C} \end{aligned}$$

### RUMUS EMPIRIS & RUMUS MOLEKUL

- Rumus Molekul: jumlah atom setiap unsur dalam molekul
- Rumus Empiris: rumus paling sederhana yang memberikan jumlah atom relatif untuk setiap jenis atom dalam suatu senyawa.
- Rumus empiris → persentase komposisi massa

- Prosedur umum penentuan rumus empiris:



### Contoh

Sebanyak 60,00 g cairan dry-clean dianalisis dan diketahui mengandung 10,80 g C, 1,36 g H, dan 47,84 g Cl. Tentukan rumus empiris senyawa tersebut!

Penyelesaian:

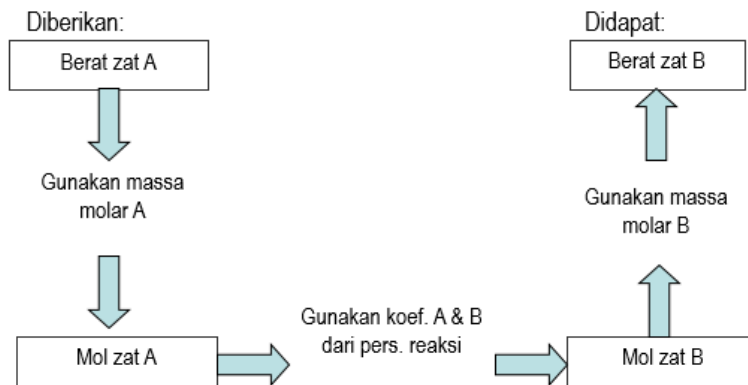
$$\text{mol C} = \frac{10,80 \text{ g C}}{12,011 \text{ g/mol}} = 0,8992 \text{ mol C}$$

$$\text{mol H} = \frac{1,36 \text{ g H}}{1,008 \text{ g/mol}} = 1,35 \text{ mol H}$$

$$\text{mol Cl} = \frac{47,84 \text{ g Cl}}{35,453 \text{ g/mol}} = 1,349 \text{ mol Cl}$$

C : H : Cl = 2 : 3 : 3 → Rumus empiris:  $C_2H_3Cl_3$

Prosedur umum penentuan berat reaktan terkonsumsi atau produk terbentuk:



Jika 1 g butana dibakar, berapa CO<sub>2</sub> yang dihasilkan?

$$\text{mol C}_4\text{H}_{10} = (1 \text{ g C}_4\text{H}_{10}) \left( \frac{1 \text{ mol C}_4\text{H}_{10}}{58,0 \text{ g C}_4\text{H}_{10}} \right)$$

$$= 1,72 \times 10^{-2} \text{ mol C}_4\text{H}_{10}$$

$$\text{mol CO}_2 = (1,72 \times 10^{-2} \text{ mol C}_4\text{H}_{10}) \left( \frac{8 \text{ mol CO}_2}{2 \text{ mol C}_4\text{H}_{10}} \right)$$

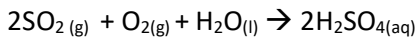
$$= 6,88 \times 10^{-2} \text{ mol CO}_2$$

$$\text{Massa CO}_2 = (6,88 \times 10^{-2} \text{ mol CO}_2) \left( \frac{44,0 \text{ g CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \right)$$

$$= 3,03 \text{ g CO}_2$$

- Reaktan pembatas: reaktan yang habis bereaksi dalam suatu reaksi kimia.
- Reaktan pembatas menentukan jumlah produk yang dihasilkan
- Contoh:

Gas SO<sub>2</sub> di atmosfer yang dihasilkan dari kendaraan bermotor diubah menjadi asam sulfat, dengan reaksi:



Berapa banyak asam sulfat yang terbentuk dari 5,0 mol SO<sub>2</sub>, 2,0 mol O<sub>2</sub>, dan air berlebih?

Jumlah 2 reaktan diberikan → masalah reaktan pembatas

Jumlah mol O<sub>2</sub> yang dibutuhkan untuk konsumsi sempurna 5 mol SO<sub>2</sub> adalah:

$$\text{mol O}_2 = (5 \text{ mol SO}_2) \left( \frac{1 \text{ mol O}_2}{2 \text{ mol SO}_2} \right) = 2,5 \text{ mol O}_2$$

O<sub>2</sub> yang dibutuhkan > yang tersedia → O<sub>2</sub> reaktan pembatas

Jumlah reaktan pembatas dijadikan basis untuk menghitung H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang dihasilkan:

$$\text{mol H}_2\text{SO}_4 = (2 \text{ mol O}_2) \left( \frac{2 \text{ mol H}_2\text{SO}_4}{1 \text{ mol O}_2} \right) = 4 \text{ mol H}_2\text{SO}_4$$

Untuk menghasilkan 4 mol H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 4 mol SO<sub>2</sub> dikonsumsi. Tersisa 1 mol SO<sub>2</sub> → SO<sub>2</sub> adalah reaktan berlebih

Kinetika reaksi

Klasifikasi reaksi

- **Reaksi Homogen:** reaksi yang terjadi di dalam fase tunggal, misalnya, dalam fase cair, padat atau gas saja. Reaktan didistribusikan secara merata dan kontinu dalam seluruh fluida. Dapat terjadi secara searah (irreversible) atau dua arah (reversible).
- **Reaksi Heterogen:** Reaksi yang terjadi dimana reaktan lebih dari satu fase, biasanya terjadi reaksi antar permukaan fase. Contoh: reaksi pertukaran ion (ion exchange).
- **Reaksi Searah (irreversible)** atau reaksi berkesudahan adalah reaksi yang hanya berjalan satu arah. Artinya, ketika reaktan-reaktan bereaksi dan produk sudah mulai terbentuk maka reaksi sudah berhenti dan pada saat kondisi setimbang (setelah reaksi) tidak ditemukan reaktan kembali.
- Sebagai contoh reaksi pencampuran antara natrium hidroksida dan asam klorida menghasilkan garam natrium klorida. Reaksinya:  

$$\text{NaOH} + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$$
- **Orde nol:** Dalam reaksi orde nol, laju reaksinya independen dari konsentrasi reaktan, sehingga perubahan konsentrasi tidak mengubah laju reaksi. Umumnya terjadi pada dekomposisi termal. Contoh: Dekomposisi HI menjadi H<sub>2</sub> dan I<sub>2</sub> pada permukaan emas merupakan reaksi orde 0 terhadap HI.
- **Orde pertama:** laju reaksi bergantung pada satu reaktan dan jumlah eksponennya satu. Contoh: Pembentukan butil alkohol dari util klorida dan air merupakan reaksi orde 1 terhadap butil klorida.  

$$\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_4\text{H}_9\text{OH} + \text{HCl}$$
- **Orde kedua:** Reaksi dianggap sebagai reaksi orde kedua jika ordenya secara keseluruhan berjumlah dua. Contoh: Dekomposisi NO<sub>2</sub> merupakan reaksi orde dua terhadap NO<sub>2</sub>.  

$$2 \text{NO}_2 (\text{g}) \rightarrow 2 \text{NO} (\text{g}) + \text{O}_2 (\text{g})$$
- **Reaksi dua arah (reversible)** atau reaksi bolak balik adalah reaksi yang berjalan dua arah dan membentuk kesetimbangan. Reaksi ini memiliki kecepatan/ laju pembentukan produk sama dengan laju pembentukan reaktan. Sedangkan reaksi irreversibel atau reaksi berkesudahan adalah reaksi yang berlangsung satu arah sehingga tidak membentuk kesetimbangan.
- Sebagai contoh reaksi pembentukan amonia dari gas nitrogen dan hidrogen menurut reaksi :  

$$\text{N}_2 (\text{g}) + 3 \text{H}_2 (\text{g}) \leftrightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$$

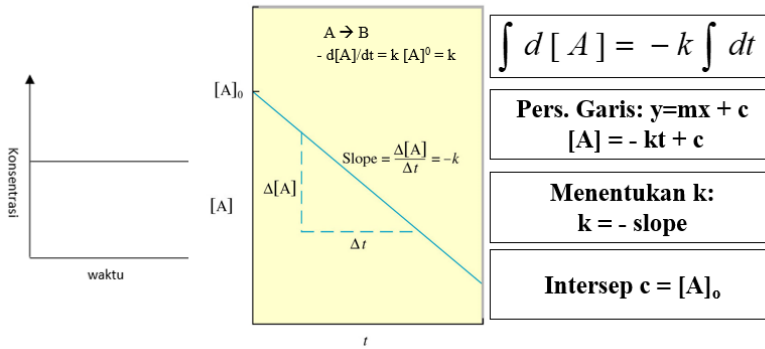
**Kecepatan reaksi (r<sub>i</sub>)** adalah banyaknya konsentrasi suatu zat yang dapat berubah menjadi zat lain dalam setiap satuan waktu.

Reaksi kimia dapat diklasifikasikan dalam salah satu cara berikut:

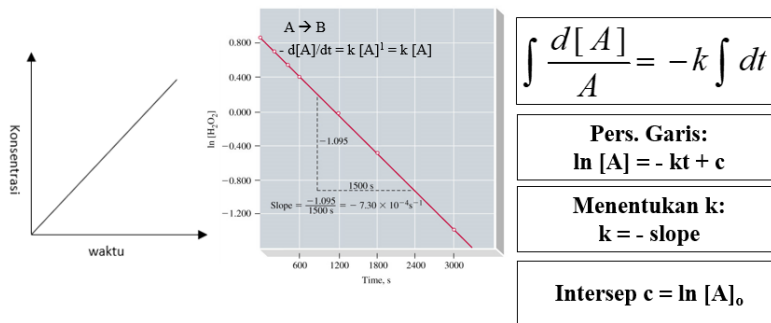
1. Berbasis jumlah mol reaktan yang harus membentuk produk reaksi
2. Berbasis kinetika dengan orde reaksi (pangkat reaksi)

## Orde 0: [A] vs t; garis lurus

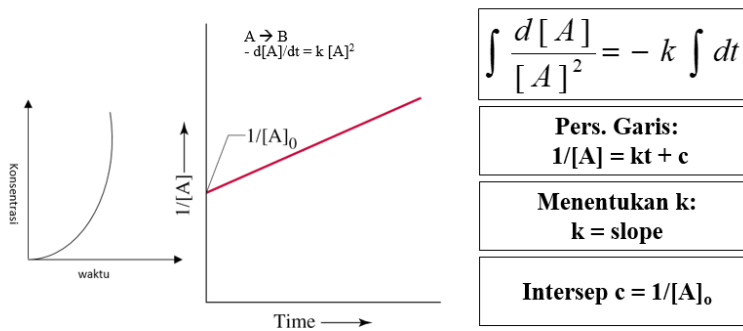
laju reaksinya independen dari konsentrasi reaktan, sehingga perubahan konsentrasi tidak mengubah laju reaksi



## Orde 1: $\ln [A]$ vs t; garis lurus



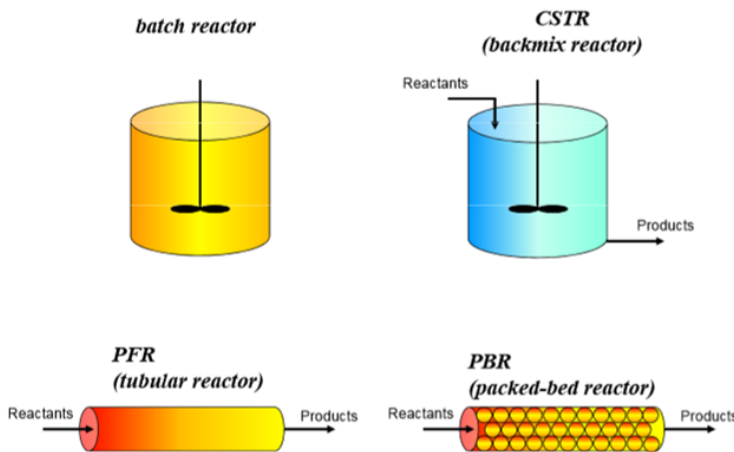
## Orde 2: $1/[A]$ vs t; garis lurus



Orde	0	1	2
Hukum Laju (Diferensial)	$-\frac{d[A]}{dt} = k$	$-\frac{d[A]}{dt} = k[A]$	$-\frac{d[A]}{dt} = k[A]^2$
Hukum Laju (Integral)	$[A] = [A]_0 - k t$	$[A] = [A]_0 e^{-k t}$	$\frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A]_0} + k t$
Plot Garis Lurus	$[A]$ vs $t$	$\ln [A]$ vs $t$	$1/[A]$ vs $t$
$k$	- slope	- slope	slope
Satuan $k$	M/s	1/s	1/(M.s)

Reaktor

### Tipe Reaktor



1. Batch Reactor (BR)
2. Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) → reaktor alir tangki berpengaduk
3. Plug Flow Reactor (PFR) → reaktor alir pipa
4. Packed Bed Reactor (PBR)

**Persamaan neraca mol** pada elemen volume  $dV$

$R$  masuk  $-R$  keluar  $+R$  generasi  $=R$  akumulasi

$$F_{A0} - F_A + \int_0^V r_A dV = \frac{dN_A}{dt}$$

Batch Reactor (BR)

- Dalam BR pereaksi-pereaksi dimasukkan ke dalam sebuah tangki yang dilengkapi dengan pengaduk, dibiarkan dalam satu periode tertentu sehingga terjadi reaksi yang dikehendaki, kemudian hasil-hasil yang didapat dikeluarkan.
- Reaktor batch beroperasi secara unsteady karena komposisi berubah sebagai fungsi waktu.
- Dalam industri, BR biasanya digunakan untuk fase larutan, jarang untuk fase gas, karena dengan adanya pengaduk resiko kebocoran cukup tinggi



- Reaktor disebut **ideal** jika pada setiap posisi di dalam reaktor pada suatu saat tertentu komposisinya uniform/seragam

Dalam BR tidak ada fluida yang masuk ke ataupun yang keluar dari reaktor, asumsi teraduk sempurna, maka neraca massa untuk komponen A dapat dituliskan :

$$R_{\text{masuk}} - R_{\text{keluar}} + R_{\text{generasi}} = R_{\text{akumulasi}}$$

$$F_{A0} - F_A + \int_0^V r_A dV = \frac{dN_A}{dt}$$

$$\frac{dN_A}{dt} = r_A V$$

### Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)

- Reaktor yang berupa tangki berpengaduk dan diasumsikan pengaduk yang bekerja dalam tangki sangat sempurna sehingga konsentrasi tiap komponen dalam reaktor seragam sebesar konsentrasi aliran yang keluar dari reaktor.
- Model ini biasanya digunakan pada reaksi homogen di mana semua bahan baku dan katalisnya berfasa cair, atau reaksi antara cair dan gas dengan katalis cair
- Dalam CSTR terdapat fluida yang masuk dan keluar, kondisi steady state, asumsi teraduk sempurna, maka neraca massa untuk komponen A dapat dituliskan :

$$R_{\text{masuk}} - R_{\text{keluar}} + R_{\text{generasi}} = R_{\text{akumulasi}}$$

$$F_{A0} - F_A + \int_0^V r_A dV = \frac{dN_A}{dt}$$

$$V = \frac{F_{A0} - F_A}{-r_A}$$

### Plug Flow Reactor (PFR)

- Suatu alat yang digunakan untuk mereaksikan suatu reaktan dalam hal ini fluida dan mengubahnya menjadi produk dengan cara mengalirkan fluida tersebut dalam pipa secara berkelanjutan (continuous).
- Biasanya reaktor ini dipakai untuk mempelajari berbagai proses kimia yang penting seperti perubahan kimia senyawa, reaksi termal, dan lain-lain.
- Dalam PFR terdapat fluida yang masuk dan keluar, diasumsikan variasi konsentrasi masuk pada arah axial (horizontal), kondisi steady state, maka neraca massa untuk komponen A dapat dituliskan :

$$R_{\text{masuk}} - R_{\text{keluar}} + R_{\text{generasi}} = R_{\text{akumulasi}}$$

$$F_{A0} - F_A + \int_0^V r_A dV = \frac{dN_A}{dt}$$

$$\frac{dF_A}{dV} = r_A$$

### Packed Bed Reactor (PBR)

- Suatu tube silindrikal yang dapat diisi dengan partikel-partikel katalis.
- Selama operasi, gas atau liquid atau keduanya akan melewati tube dan partikel-partikel katalis, sehingga akan terjadi reaksi.
- Prosesnya mempunyai prinsip kerja pengontakan langsung antara pereaktan dengan partikel-partikel katalis.
- Dalam PBR terdapat fluida yang masuk dan keluar, kondisi steady state, terdapat padatan (katalis), maka neraca massa untuk komponen A dapat dituliskan :

$$R_{\text{masuk}} - R_{\text{keluar}} + R_{\text{generasi}} = R_{\text{akumulasi}}$$

$$F_{A0} - F_A + \int_0^V r_A dV = \frac{dN_A}{dt}$$





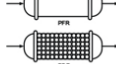

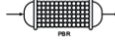

$$\frac{dF_A}{dW} = r'_A$$

### Rangkuman

IN-OUT+GENERATION=ACCUMULATION

$$F_{A0} - F_A + \int_0^V r_A dV = \frac{dN_A}{dt}$$

$F_{A0}$  = Entering molar flow rate of A (mol/time)  
 $F_A$  = Exiting molar flow rate of A (mol/time)  
 $G_A$  = Rate of generation(formation) of A (mol/time)  
 $V$  = Volume (vol e.g. m<sup>3</sup>)  
 $r_A$  = rate of generation(formation) of A (mole/time\*vol)  
 $N_A$  = number of moles of A inside the system Volume V (mols)

Reactor	Comment	Mole Balance Differential Form	Algebraic Form	Integral Form	Graph
	No spatial variations	$\frac{dN_A}{dt} = r_A V$		$t_1 = \int_{N_{A1}}^{N_{A0}} \frac{dN_A}{-r_A V}$	
	No spatial variations, steady state	—	$V = \frac{F_{A0} - F_A}{-r_A}$	—	
	Steady state	$\frac{dF_A}{dV} = r_A$		$V_1 = \int_{F_{A1}}^{F_{A0}} \frac{dF_A}{-r_A}$	
	Steady state	$\frac{dF_A}{dW} = r'_A$		$W_1 = \int_{F_{A1}}^{F_{A0}} \frac{dF_A}{-r'_A}$	

## Tugas

1. Setarakan reaksi berikut:
  - $\text{PbO}_2 + \text{Pb} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{PbSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
  - $\text{BF}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{B}_2\text{O}_3 + \text{HF}$
  - $\text{KClO}_3 \rightarrow \text{KCl} + \text{O}_2$
  - $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
  - $\text{K}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{KOH} + \text{O}_2$
  - $\text{PCl}_5 + \text{AsF}_3 \rightarrow \text{PF}_5 + \text{AsCl}_3$
  - $\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
  - $\text{HSbCl}_4 + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{Sb}_2\text{S}_3 + \text{HCl}$
  - $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \rightarrow \text{N}_2 + \text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$
  - $\text{NaBH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaBO}_2 + \text{H}_2$
2. Tentukan jumlah mol yang terdapat pada: (a) 17,0 gr Fe (b) 164 gr  $\text{CuSO}_4$  (c) 0,222 gr KCl
3. Tentukan berat dari: (a) 27,0 mol atom Na (b) 0,45 mol  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (c) 7,00 mol  $\text{Cl}_2$
4. Yang mana dari partikel berikut mengandung partikel dalam jumlah terbanyak: (a) 1,0 gr metana (b)  $12,04 \times 10^{23}$  atom argon (c) 0,01 mol natrium klorida
5. Sebuah labu ukur dalam lab menyimpan 51,0 gr gas amonia. (a) Berapa mol amonia yang terdapat dalam labu ukur? (b) Berapa molekul amonia yang terdapat di dalam labu ukur? (c) Berapa jumlah atom hidrogen dalam labu?

## Tes Formatif

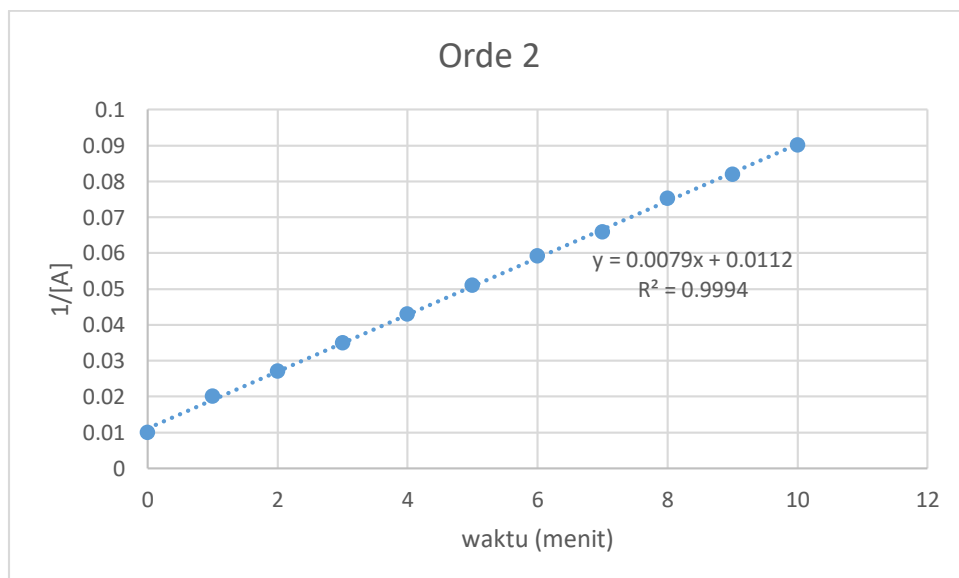
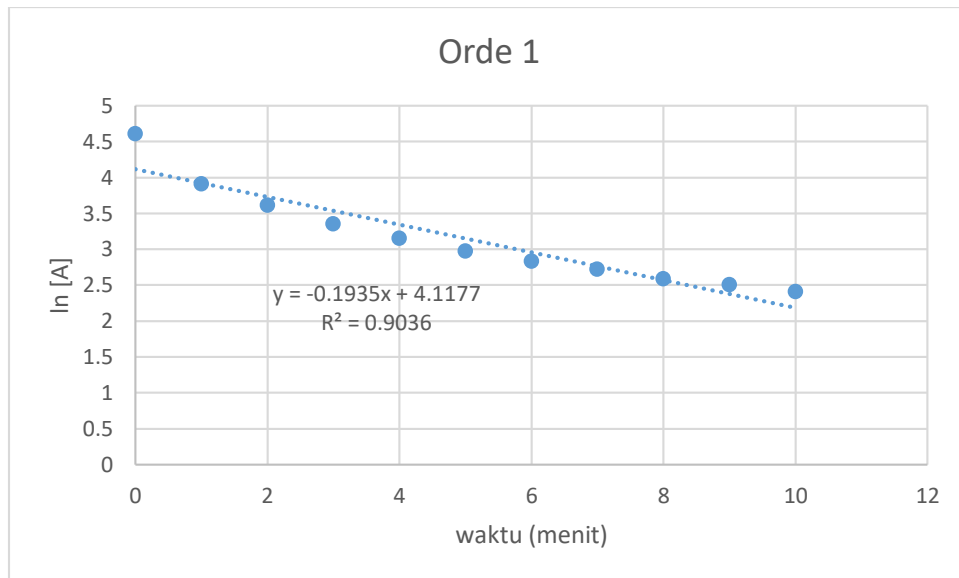
Tentukan orde reaksi dan konstanta laju reaksi untuk data berikut yang diperoleh dari percobaan batch penurunan pencemar [A].

Waktu (menit)	[A] (mol/liter)
0	100
1	50
2	37
3	28,6
4	23,3
5	19,6
6	16,9
7	15,2
8	13,3
9	12,2
10	11,1

## Kunci jawaban Formatif

Waktu (menit)	[A] (mol/liter)	$\ln [A]$	$1/[A]$
0	100	4.60517	0.01
1	50	3.912023	0.02
2	37	3.610918	0.027027
3	28.6	3.353407	0.034965

4	23.3	3.148453	0.042918
5	19.6	2.97553	0.05102
6	16.9	2.827314	0.059172
7	15.2	2.721295	0.065789
8	13.3	2.587764	0.075188
9	12.2	2.501436	0.081967
10	11.1	2.406945	0.09009



jadi, termasuk orde 2

$$1/[A] = kt + c$$

$$y = 0,0079x + 0,0112$$

$k=0,0079$  (liter/mol.minit)

## Dasar-dasar Proses Biologis

### Uraian Materi

Hampir semua air limbah mengandung biodegradable constituents yang dapat diolah secara biologis dengan analisis yang tepat dan pengendalian lingkungan.

1. Tujuan Pengolahan Biologis 1. Transformasi (oksidasi) konstituen terlarut dan partikulat biodegradable (BOD). 2. Menangkap solid koloid tersuspensi menjadi flok atau biofilm. 3. Transformasi atau menyisihkan nutrients (N dan P) 4. Menyisihkan senyawa organik atau anorganik trace

Klasifikasi proses biologis 4Biochemical transformation – Menyisihkan soluble organic matter (SOM), stabilisasi insoluble organic matter (IOM), konversi soluble inorganic matter (SIM) 4Biochemical environment – Aerobic, anoxic vs. anaerobic 4Bioreactor configuration – Suspended growth bioreactor vs. Attached growth bioreactor

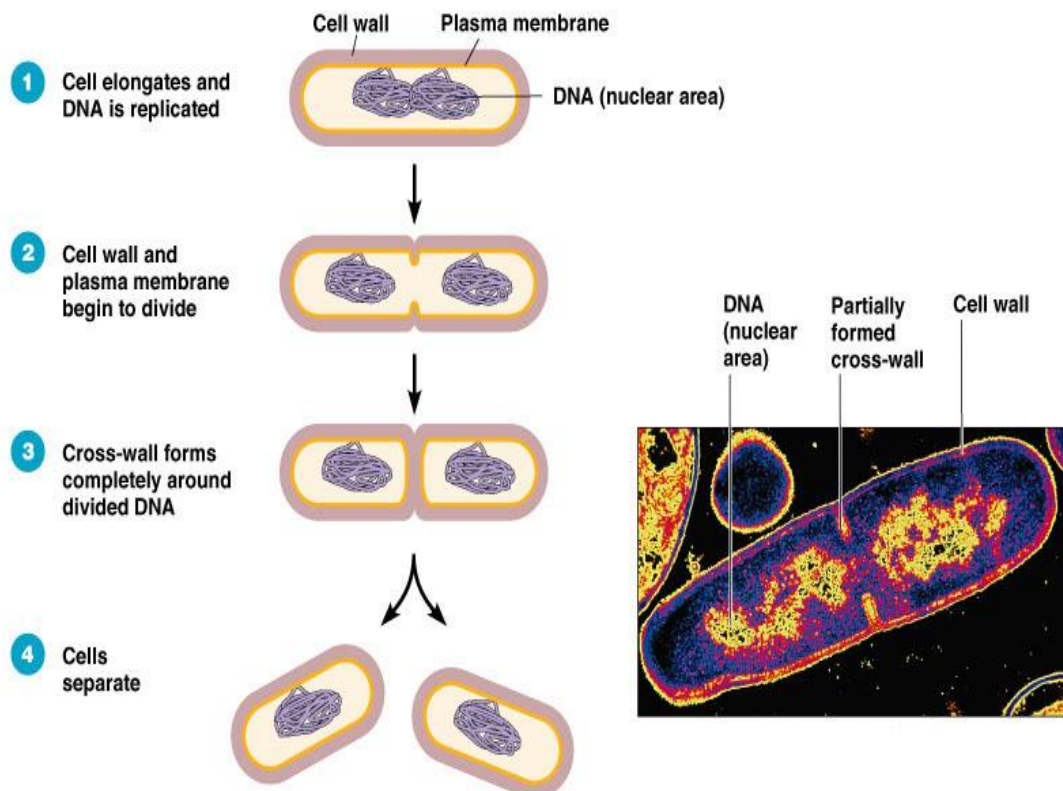
### Pertumbuhan

- Pertumbuhan pada organisme yang makro merupakan proses bertambahnya ukuran atau substansi atau masa zat suatu organisme, contoh: bertambah tinggi, bertambah besar
- Pada organisme bersel satu pertumbuhan lebih diartikan sebagai pertumbuhan koloni, yaitu pertambahan jumlah koloni yang semakin besar



## Waktu Generasi

- Selang waktu yang dibutuhkan sel untuk membelah diri
- Tiap spesies bakteri memiliki waktu generasi yang berbeda-beda, Contoh: *Escherichia coli*, bakteri umum yang dijumpai di saluran pencernaan dan di tempat lain, memiliki waktu generasi 15-20 menit



**(a)** A diagram of the sequence of cell division.

Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

**(b)** A thin section of a cell of *Bacillus licheniformis* starting to divide.

## Kurva Pertumbuhan Bakteri

Kurva tumbuh bakteri dibuat untuk menggambarkan karakteristik pertumbuhan bakteri dalam suatu medium

### 1. Fase Lag

Pada fase tidak terjadi penambahan jumlah sel, tetapi aktivitas metabolisme sedang berlangsung untuk persiapan pembelahan sel. Disebut juga sebagai fase adaptasi (penyesuaian)

## 2. Fase Log (Eksponensial)

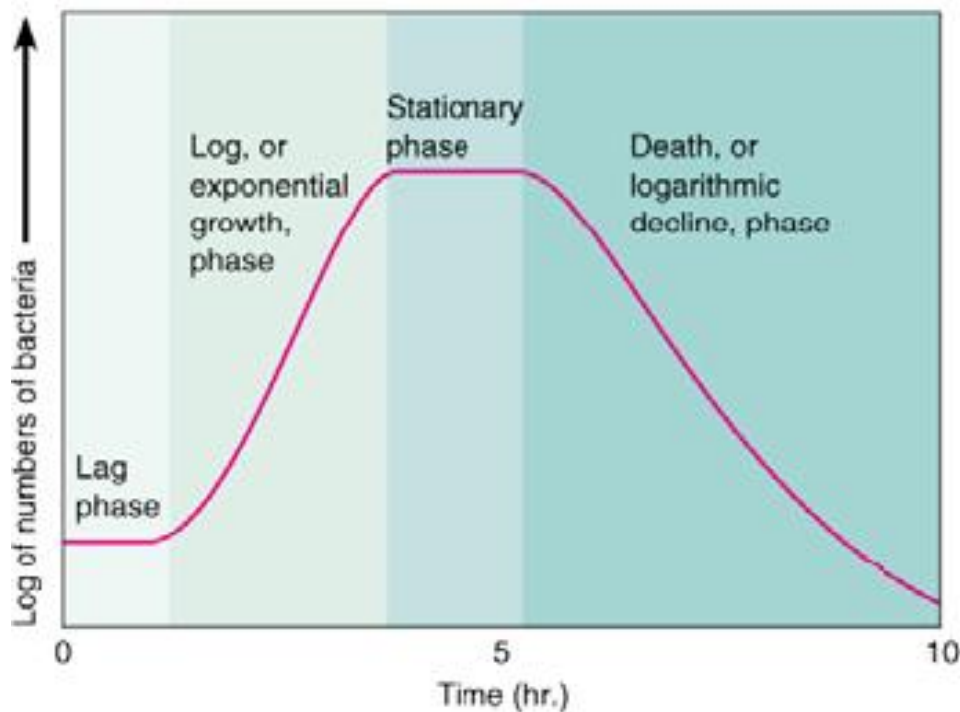
Pola pertumbuhan yang seimbang dan cepat. Sel-sel bakteri membelah secara teratur dengan laju yang konstan, tergantung pada komposisi medium kultur dan kondisi inkubasi sampai nutrisi habis.

## 3. Fase stasioner

Terjadi penumpukan racun akibat metabolisme sel dan kandungan nutrisi mulai habis, akibatnya terjadi kompetisi nutrisi sehingga beberapa sel mati sedangkan yang lainnya tetap hidup. Pada fase ini bakteri masih melakukan aktivitas memproduksi metabolit sekunder seperti antibiotik.

## 4. Fase Kematian

Grafik menunjukkan penurunan secara tajam karena merupakan akhir dari suatu individu yang kembali ke titik awal.





Prinsip 4 nitrifikasi: Proses aerobik, bakteri mengubah ammonia dan nitrogen organik dalam air limbah menjadi nitrogen oksida (biasanya nitrat),◇ bakteri Nitrosomonas, Nitrobacter; – Temperatur optimum 25 - 35°C; bila

Penyisihan fosfor 4 Phosphorus precipitation: menggunakan besi (Fe), kalsium (Ca), aluminium (Al); Problem: saturation, clogging. 4 biological phosphorus removal: ♣ 25% removal during aerobic break down; ♣ Mikroorganisme Acinetobacter sp. memerlukan siklus anaerobik-aerobik.

Peran Mikroorganisme 4Penyisihan atau stabilisasi bahan organik selama pengolahan biologis dilakukan oleh bermacam-macam mikroorganisme, khususnya bakteri.

sumber carbon 4 Heterotrophic: memerlukan satu atau lebih bahan organik untuk nutrisinya (BOD); 4 Autotrophic: dapat menggunakan bahan anorganik (CO<sub>2</sub> dari udara atau air) sebagai sumber C

Mikroorganisme Klasifikasi: – Heterotrophic- mendapatkan energi dari oksidasi bahan organik (Carbon organik) – Autotrophic- mendapatkan energi dari oksidasi bahan anorganik (CO<sub>2</sub> , NH<sub>4</sub> , H<sup>+</sup> ) – Phototrophic- mendapatkan energi dari sinar matahari

## **Pertumbuhan Mikroba**

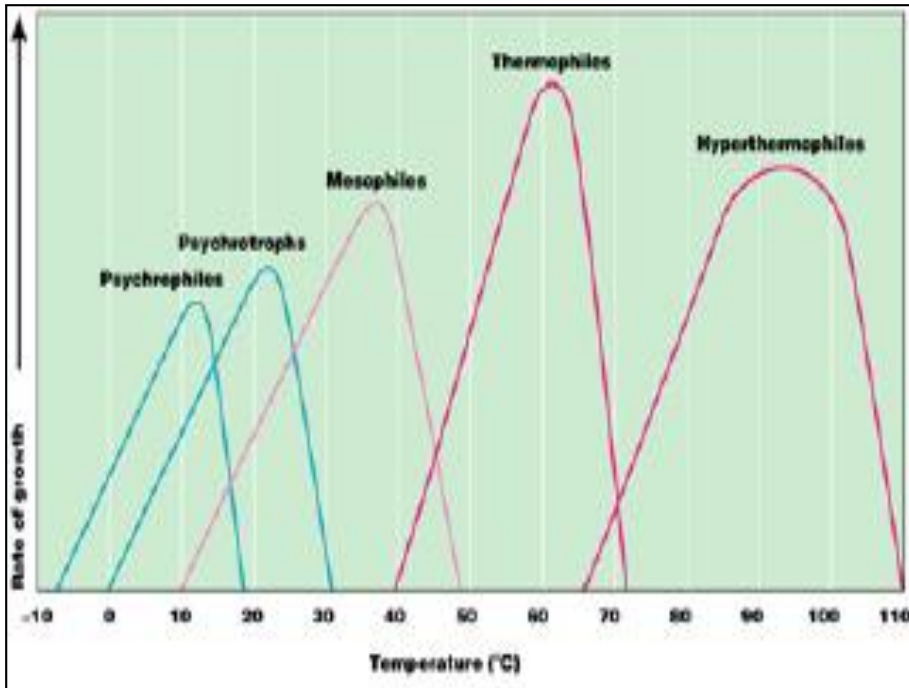
### **Faktor fisik**

- Temperatur

Salah satu faktor penting yang mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme.

Suhu dapat mempengaruhi mikroba dalam dua cara yang berlawanan :

1. Apabila suhu naik maka kecepatan metabolisme naik dan pertumbuhan dipercepat. Sebaliknya apabila suhu turun, maka kecepatan metabolisme akan menurun dan pertumbuhan diperlambat.
2. Apabila suhu naik atau turun secara drastis, tingkat pertumbuhan akan terhenti, komponen sel menjadi tidak aktif dan rusak, sehingga sel-sel menjadi mati



Psikropiles (dingin) : 0 C - 20 C, optimum 15 C

Mesopiles (moderat) : 20 C - 40 C

Termopiles (panas) : 40 C - 100 C

- pH

pH berpengaruh terhadap sel dengan mempengaruhi metabolisme

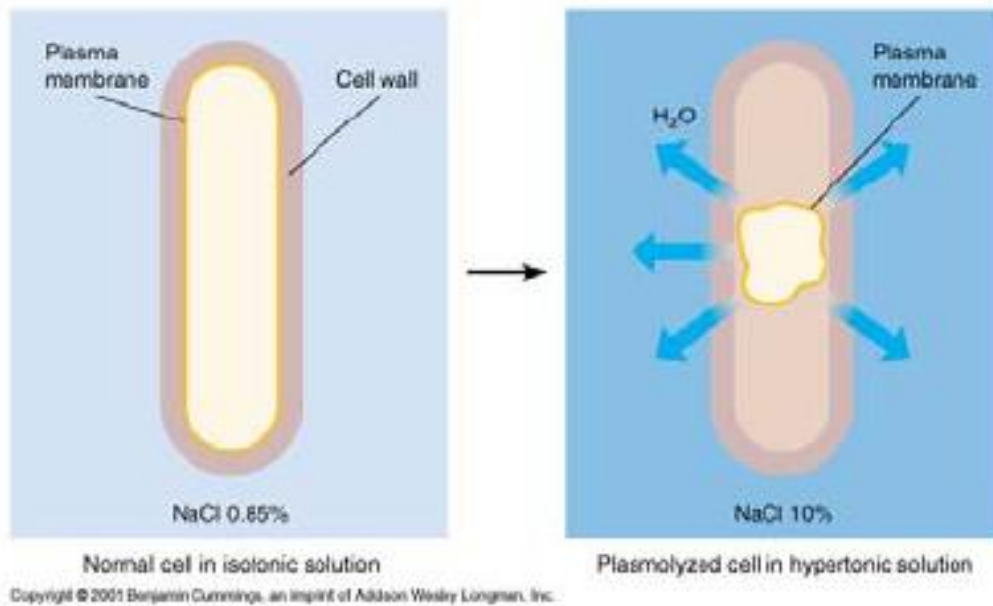
Umumnya bakteri tumbuh pada pH 6,5 - pH 7,5

Sedikit bakteri yang hidup pada pH di bawah 4,0

- Tekanan osmotik

Keberadaan mikroorganisme di lingkungan dapat dipengaruhi oleh kepekatan suspensi/cairan di lingkungan.

Bila kepekatan suspensi di lingkungan tinggi maka isi sel akan ke luar. Sebaliknya kepekatan suspensi di lingkungan rendah maka akan terjadi pergerakan massa cair ke dalam sel



- Oksigen
- Mikroorganismen memiliki karakteristik sendiri-sendiri di dalam kebutuhannya akan oksigen.
- Berdasarkan kebutuhan oksigen, mikroorganismen dibagi dalam tiga kelompok :
  1. **Aerob/Aerobik** : hanya dapat tumbuh apabila ada oksigen bebas.
  2. **Anaerob** : hanya dapat tumbuh apabila tidak ada oksigen bebas.
  3. **Anaerob fakultatif** : dapat tumbuh baik dengan atau tanpa oksigen bebas
  4. **Mikroaerofilik** : dapat tumbuh apabila ada oksigen dalam jumlah kecil

#### Faktor Kimia

- Karbon

Sumber energi

Struktur organik molekul

Bakteri yang bersifat kemoheterotrop menggunakan karbon organik

Bakteri autotrop menggunakan CO<sub>2</sub>

- Nitrogen

Terdapat di dalam asam amino dan protein

Umumnya bakteri berperan sebagai dekomposer protein

Beberapa bakteri menggunakan NH<sub>4</sub><sup>+</sup> atau NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

Hanya sedikit bakteri yang menggunakan N<sub>2</sub> untuk fiksasi nitrogen

- Sulfur

Terdapat dalam asam amino, tiamin, dan biotin

Beberapa bakteri menggunakan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> atau H<sub>2</sub>S

- Fosfor

- Terdapat di dalam DNA, RNA, membran, dan ATP

- PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> merupakan sumber fosfor

### **OKSIGEN DAPAT BERSIFAT LETAL UNTUK BEBERAPA MIKROORGANISME**

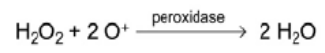
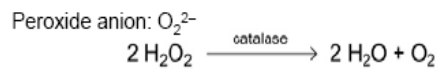
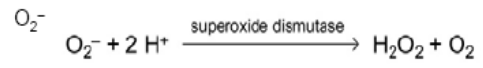
- Harus dinetralisir terlebih dahulu oleh enzim :

- Superoksida dismutase

- Katalase

- Peroksidase

- Jika mikroorganisme tidak menghasilkan enzim tersebut maka organisme tersebut bersifat anaerob.



Rangkuman

Tugas

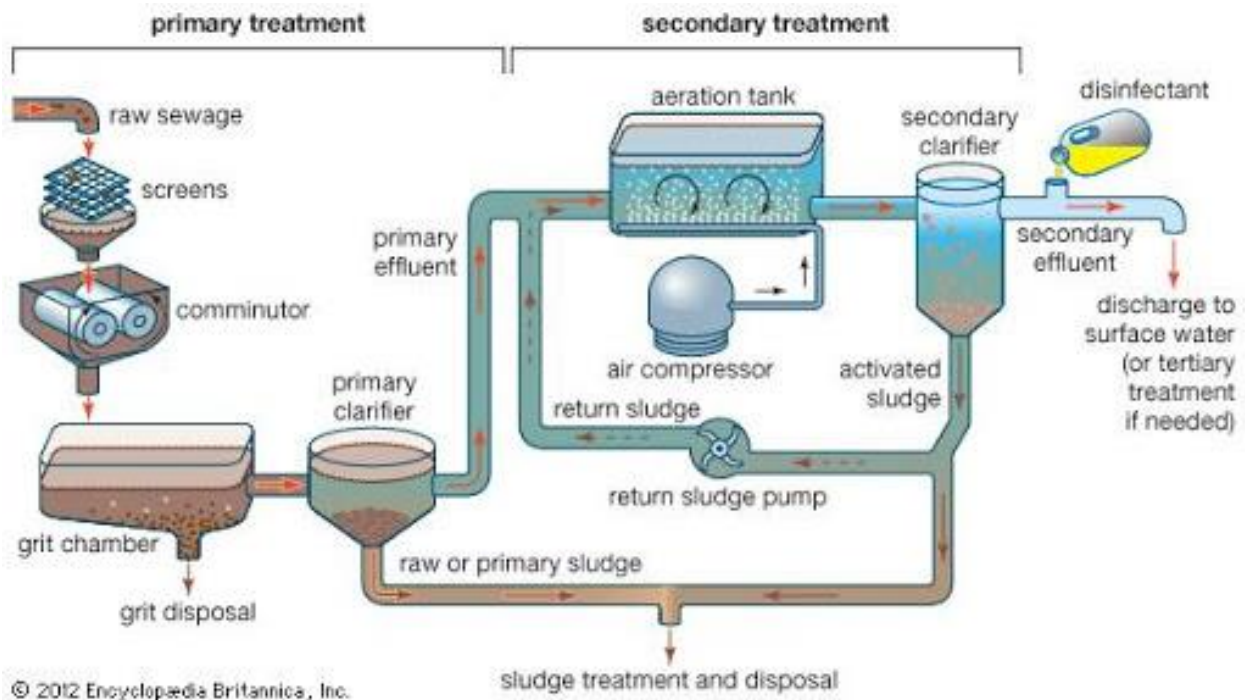
Tes Formatif

Kunci Jawaban

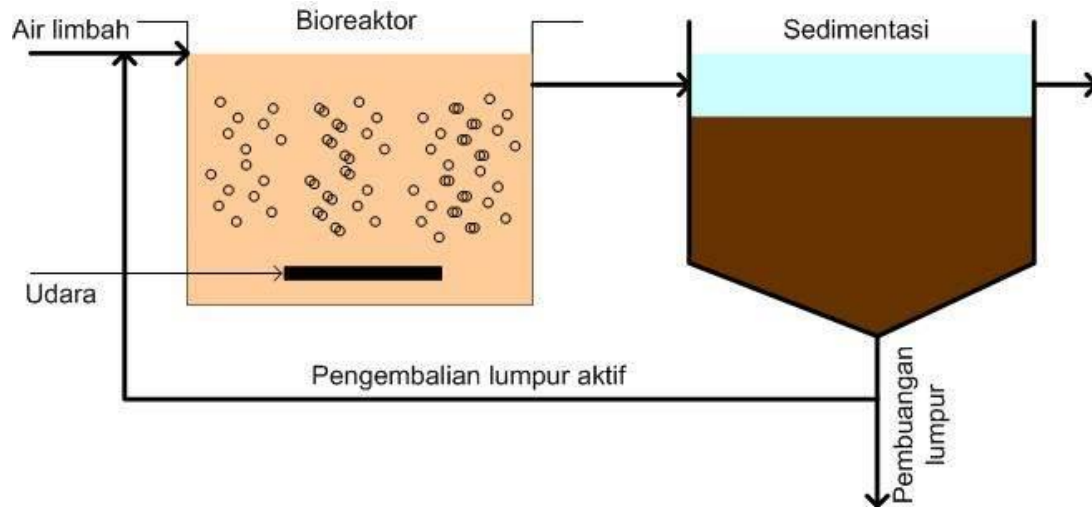
## Proses Lumpur Aktif

Uraian materi

### Tahapan Pengolahan Air Limbah

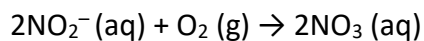
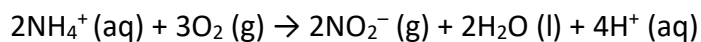


- Lumpur aktif (activated sludge) adalah proses pertumbuhan mikroba tersuspensi. Proses ini pada dasarnya merupakan pengolahan aerobik yang mengoksidasi material organik menjadi  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_4$ , dan sel biomassa baru.
- Proses ini menggunakan udara yang disalurkan melalui pompa blower (diffused) atau melalui aerasi mekanik.
- Sel mikroba membentuk flok yang akan mengendap di tangki penjernihan. Kemampuan bakteri dalam membentuk flok menentukan keberhasilan pengolahan limbah secara biologi, karena akan memudahkan pemisahan partikel dan air limbah.



### Tahap-tahap Lumpur Aktif

1. **Tahap Awal:** Pertama-tama pemisahan limbah cair dengan bahan-bahan pengotor seperti bangkai binatang, bebatuan kecil, dan bahan pengotor lainnya.
2. **Tahap Primer:** Setelah melewati tahap awal, limbah harus diendapkan sehingga partikel berukuran besar dapat terpisah. Kemudian limbah diberi larutan elektrolit seperti  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{FeCl}_3$ , serta  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . Hal ini bertujuan agar partikel berukuran sedang dapat menggumpal.
3. **Tahap Sekunder:** Limbah kemudian dicampur dengan lumpur aktif yang mengandung banyak mikroba pengurai. Kemudian oksigen diareasi ke limbah agar terjadi proses oksidasi yang maksimal. Adanya mikroba yang mengurai materi organik dan anorganik akan membebaskan gas  $\text{H}_2\text{S}$  dan  $\text{NH}_3$  (amoniak).
4. **Tahap Tersier:** Setelah itu pada tahap tersier terjadi proses nitrifikasi. Persamaan reaksi kimia yang terjadi adalah sebagai berikut.



Kemudian nitrat mengalami reduksi menjadi gas  $\text{N}_2$ ,  $\text{NO}$ , serta  $\text{N}_2\text{O}$  yang disebut dengan proses denitrifikasi. Setelah itu fosfor dipisahkan dengan proses koagulasi menggunakan garam  $\text{Ca}$  dan  $\text{Al}$  sehingga dihasilkan gumpalan. Pada tahap ini zat pencemar diadsorpsi dari limbah, termasuk juga bau yang tidak sedap dan pewarna dari limbah itu sendiri. Setelah itu dilakukan juga penyerapan dan penyaringan partikel yang lebih kecil seperti bakteri dan virus sehingga limbah cair dapat dibuang dan aman bagi lingkungan.

### **Bagian-bagian dari Proses lumpur Aktif:**

1. Unit Aerasi/Bioreaktor
2. Unit Sedimentasi
3. Pompa Resirkulasi

### **Unit Aerasi/Bioreaktor**

- Oksidasi aerobik material organik dilakukan dalam tangki ini.
- Efluent pertama masuk dan tercampur dengan Lumpur Aktif Balik (*Return Activated Sludge =RAS*) atau disingkat LAB membentuk lumpur campuran (*mixed liquor*), yang mengandung padatan tersuspensi sekitar 1.500 - 2.500 mg/l.
- Aerasi dilakukan secara mekanik.
- Karakteristik dari proses lumpur aktif adalah adanya daur ulang dari biomassa. Keadaan ini membuat waktu tinggal rata-rata sel (biomassa) menjadi lebih lama dibanding waktu tinggal hidrauliknya (Sterritt dan Lester, 1988). Keadaan tersebut membuat sejumlah besar mikroorganisme mengoksidasi senyawa organik dalam waktu yang singkat. Waktu tinggal dalam tangki aerasi berkisar 4 - 8 jam.

### **Tangki Sedimentasi**

- Tangki ini digunakan untuk sedimentasi flok mikroba (lumpur) yang dihasilkan selama fase oksidasi dalam tangki aerasi.
- Lumpur dalam tangki sedimentasi didaur ulang kembali dalam bentuk LAB kedalam tangki aerasi dan sisanya dibuang untuk menjaga rasio yang tepat antara makanan dan mikroorganisme (*F/M Ratio*).

### **Parameter**



Parameter yang umum digunakan dalam lumpur aktif (Davis dan Cornwell, 1985; Verstraete dan van Vaerenbergh, 1986) adalah sebagai berikut:

- **Mixed-liquor suspended solids (MLSS).** Isi tangki aerasi dalam sistem lumpur aktif disebut sebagai *mixed liquor* yang diterjemahkan sebagai lumpur campuran. **MLSS adalah jumlah total dari padatan tersuspensi yang berupa material organik dan mineral, termasuk didalamnya adalah mikroorganisme.** MLSS ditentukan dengan cara menyaring lumpur campuran dengan kertas saring (filter), kemudian filter dikeringkan pada temperatur 105°C, dan berat padatan dalam contoh ditimbang.
- **Mixed-liquor volatile suspended solids (MLVSS).** Porsi material organik pada MLSS diwakili oleh MLVSS, yang berisi **material organik bukan mikroba, mikroba hidup dan mati, dan hancuran sel** (Nelson dan Lawrence, 1980). MLVSS diukur dengan memanaskan terus sampel filter yang telah kering pada 600 - 650°C, dan nilainya mendekati 65-75% dari MLSS.

**Food - to - microorganism ratio (F/M Ratio).** Parameter ini merupakan indikasi beban organik yang masuk kedalam sistem lumpur aktif dan diwakili nilainya dalam kilogram BOD per kilogram MLSS per hari (Curds dan Hawkes, 1983; Nathanson, 1986). Adapun formulasinya sebagai berikut :

$$\frac{F}{M} = \frac{Q \cdot BOD_5}{MLSS \cdot V}$$

Q = Laju alir limbah Juta Galon per hari (MGD)  
BOD<sub>5</sub> = BOD<sub>5</sub> (mg/l)  
MLSS = *Mixed liquor suspended solids* (mg/l)  
V = Volume tangki aerasi (Gallon)

**Hydraulic retention time (HRT).** Waktu tinggal hidraulik (HRT) adalah waktu rata-rata yang dibutuhkan oleh larutan influent masuk dalam tangki aerasi untuk proses lumpur aktif; nilainya berbanding terbalik dengan laju pengenceran (D) (Sterritt dan Lester, 1988).

$$HRT = \frac{1}{D} = \frac{V}{Q}$$

V = Volume tangki aerasi

Q = Laju influent air limbah ke dalam tangki aerasi

D = Laju pengenceran.

**Umur lumpur (Sludge age).** Umur lumpur adalah waktu tinggal rata-rata mikroorganisme dalam sistem. Jika HRT memerlukan waktu dalam jam, maka waktu tinggal sel mikroba dalam tangki aerasi dapat dalam hari lamanya. Parameter ini berbanding terbalik dengan laju pertumbuhan mikroba. Umur lumpur dihitung dengan formula sebagai berikut (Hammer, 1986; Curds dan Hawkes, 1983) :

$$\text{Umur Lumpur (Hari)} = \frac{\text{MLSS} \times V}{\text{SS}_e \times Q_e + \text{SS}_w \times Q_w}$$

MLSS = *Mixed liquor suspended solids* (mg/l).

V = Volume tangki aerasi (L)

SS<sub>e</sub> = Padatan tersuspensi dalam effluent (mg/l)

SS<sub>w</sub> = Padatan tersuspensi dalam lumpur limbah (mg/l)

Q<sub>e</sub> = Laju effluent limbah (m<sup>3</sup>/hari)

Q<sub>w</sub> = Laju influent limbah (m<sup>3</sup>/hari).

Cara konvensional untuk monitoring pengendapan lumpur adalah dengan menentukan **Indeks Volume Sludge (Sludge Volume Index = SVI)**. Caranya adalah sebagai berikut : Lumpur campuran dari tangki aerasi dimasukkan dalam silinder volume 1 liter dan dibiarkan selama 30 menit. Volume sludge dicatat. Volume lumpur yang mengendap adalah SV, MLSS adalah mixed liquor suspended solid (mg/l). Dalam pengolahan lumpur yang konvensional (MLSS < 3 500 mg/l) nilai SVI berkisar 50 - 150 ml/g.

$$\text{SVI (ml/g)} = \frac{\text{SV} \times 1.000}{\text{MLSS}}$$

MLSS

Kandungan nutrisi dalam influen air limbah:

- Nitrogen Total (TKN) : 1905 mg/l (Laboratorium Balai Riset dan Standarisasi Industri dan Perdagangan, 2006)
- Pospor (P) : 2,83 mg/l (Balai Laboratorium Kesehatan, 2006)
- Faktor perbandingan Nitrogen Total (TKN) *peak* dengan (TKN) *average* (Tchobanoglous, 2003) (FS): 1,5
- Nilai koefisien kinetik untuk bakteri *halophilic nitrifier* pada suhu 20°C berdasarkan Lindblom (2003) :

Y : 0,67 g VSS/g bCOD

Y<sub>n</sub> : 0,12 g VSS/g No<sub>x</sub>

K<sub>d</sub> : 0,74 g VSS/g VSS.hari

K<sub>s</sub> : 20 g bCOD/m<sup>3</sup>

f<sub>d</sub> : 0,08

K<sub>d</sub> 20°C : 0,05 hari<sup>-1</sup>

: 12 g VSS/g VSS. Hari

**Diasumsikan :**

- MLSS : 5000 mg/l (Tchobanoglous, 1991)
- MLVSS, X : 0,8 MLSS (Tchobanoglous, 1991)  
: 0,8 x 5000 mg/l = 4000 mg/l
- Nilai BOD<sub>5</sub> : 68% BOD *ultimate* (Tchobanoglous, 1991)
- Lumpur resirkulasi (X<sub>r</sub>) : 9000 mg/l SS
- Efluen (NH<sub>4</sub>-N) (N<sub>e</sub>) : 0,5 mg/l (Standar baku mutu = 1 mg/l)
- **Analisis Nutrien :**
- Influen air limbah mengandung kadar nutrisi sebagai Nitrogen yang tinggi, yaitu 1905 mg/l, dan Pospor 2,83 mg/l.
- Perbandingan antara COD : Nitrogen : Pospor secara teoritis adalah COD : N : P = 100 : 5 : 1 (Droste, 1997).
- Jika dengan perbandingan tersebut, dengan kadar COD influen = 4343,78 mg/l, maka kadar Nitrogen (N) dan Pospor (P) yang terkandung dalam air limbah seharusnya adalah:

$$\text{COD : N : P} = 100 : 5 : 1 \rightarrow \text{kadar COD influen} = 4343,78 \text{ mg/l}$$

$$\text{Nitrogen (N)} = \frac{5}{100} \times 4343,78 \text{ mg/l} = 217,19 \text{ mg/l}$$

$$\text{Pospor} = \frac{1}{100} \times 4343,78 \text{ mg/l} = 43,44 \text{ mg/l}$$

- Dengan kondisi tersebut, maka dianggap perlu untuk dilakukan penyisihan terhadap kandungan nitrogen (*nitrogen removal*) untuk menghilangkan sebagian dari kandungan nitrogen hingga mencapai batas yang ideal, sedangkan untuk pospor perlu untuk dilakukan penambahan nutrisi, yang biasanya digunakan pupuk TSP untuk memenuhi kebutuhan pospor.
- Dikarenakan pada saat ini pupuk TSP sudah tidak tersedia di pasaran dikarenakan tidak diproduksi lagi dan telah digantikan oleh pupuk SP 36, maka digunakan pupuk SP 36 yang merupakan pengganti dari dari produksi TSP di pasaran.
- Jumlah nitrogen yang harus disisihkan dengan proses nitrifikasi – denitrifikasi untuk mencapai kondisi perbandingan yang ideal adalah :

$$\begin{aligned} \text{TKN} &= 1905 \text{ mg/l} - 217,19 \text{ mg/l} \\ &= 1687,81 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

#### 1) Menghitung Umur Lumpur Rencana (SRT)

SRT teoritis berdasarkan Kargi (2005) = 10 hari

Desain SRT :

$$\begin{aligned} \text{SRT} &= \text{FS} \times \text{SRT teoritis} && (\text{Tchobanoglous, 2003}) \\ &= 1,5 \times 10 \text{ hari} = 15 \text{ hari} \end{aligned}$$

#### 2) Menghitung Produksi Biomassa ( $P_{x,bio}$ )

Nilai COD terlarut dalam effluen (S) :

$$S = \frac{K_s [1 + (k_d)SRT]}{SRT(\mu_m - k_d) - 1}$$

$$S = \frac{20 \text{ g/m}^3 [1 + (0,74 \text{ g/g.h}) 15h]}{15h ((12 - 0,74) \text{ g/g.h} - 1)}$$

$$S = \frac{20 + 14,8 \times 15}{15 \times 11,26 - 1}$$

$$= 1,44 \text{ g}_b\text{COD/m}^3$$

### 3) Karakteristik Air Limbah

- TSS influen = 89,28 mg/l

- TSS / VSS<sub>o</sub> = 0,73 (Lindblom, 2003)

- VSS<sub>o</sub> = 0,73 x TSS

$$= 0,73 \times 89,28 \text{ mg/l} = 65,17 \text{ mg/l}$$

- COD influen = 4343,78 mg/l

- BOD influen = 1282,24 mg/l

- $b\text{COD} = R (\text{BOD}_{\text{inf}})$  (Tchobanoglous, 2003)

- .  
=

$$R \frac{\text{COD}}{\text{BOD}} = \frac{0,7 (4343,78) \text{ mg/l}}{1282,24 \text{ mg/l}} = 2,37$$

- $b\text{COD} = R (\text{BOD}_{\text{inf}})$  (Tchobanoglous, 2003)

$$= 2,37 \times 1282,24 \text{ mg/l} = 3038,91$$

mg/l

- $n_b\text{COD} = \text{COD} - b\text{COD}$  (Tchobanoglous, 2003)

$$= 4343,78 \text{ mg/l} - 3038,91 \text{ mg/l} =$$

1304,87 mg/l

- $s\text{BOD/BOD} = 0,98$  (Lindblom, 2003)

- $s\text{BOD} = 0,98 \times 1282,24 \text{ mg/l}$

$$= 1256,60 \text{ mg/l}$$

- $\text{BOD/UBOD} = 0,68$  (Lindblom, 2003)

- $s\text{COD/COD} = 0,84$  (Lindblom, 2003)

$$\begin{aligned}
\bullet \frac{y_p \text{COD}}{p \text{COD}} &= 0,84 \times 4343,78 \text{ mg/l} \\
&= 3648,78 \text{ mg/l} \\
\frac{y_p \text{COD}}{p \text{COD}} &= \frac{(y_p \text{COD} / \text{BOD})(\text{BOD} - z \text{BOD})}{\text{COD} - z \text{COD}} \\
\frac{y_p \text{COD}}{p \text{COD}} &= \frac{(3038,91 / 1282,24) \text{ mg/l} (1282,24 - 1256,6) \text{ mg/l}}{4343,78 \text{ mg/l} - 3648,78 \text{ mg/l}} = 0,09 \\
n_b \text{VSS} &= (1 - 0,09) \text{VSS}_0 = 59,30 \text{ mg/l} \\
&= (1 - 0,09) (65,17 \text{ mg/l}) = 59,30 \text{ mg/l}
\end{aligned}$$

#### 4) Produksi Biomassa ( $P_{x,bio}$ )

5) Dalam proses lumpur aktif untuk nitrifikasi ini, produksi biomassa merupakan jumlah keseluruhan dari pertumbuhan bakteri heterotropik, sel yang mati, serta pertumbuhan bakteri nitrifikasi.

$$P_{x,bio} = \frac{QY(S_o - S)}{1 + (k_d) SRT} + \frac{(f_d)(k_d) Q (Y) (S_o - S) SRT}{1 + (k_d) SRT} + \frac{Q Y_n (NO_x)}{1 + (K_d 20^0) SRT}$$

$$\begin{aligned}
P_{x,bio} &= \frac{(488 \text{ m}^3 / \text{h})(0,67 \text{ g} / \text{g}) ((3038,91 - 1,44) \text{ g} / \text{m}^3) (1 \text{ kg} / 10^3 \text{ g})}{1 + (0,74 \text{ g} / \text{g} \cdot \text{h}) (15 \text{ h})} + \\
&\frac{(0,08)(0,74 \text{ g} / \text{g} \cdot \text{h})(488 \text{ m}^3 / \text{h})(0,67 \text{ g} / \text{g})(3038,91 - 1,44) \text{ g} / \text{m}^3 (15 \text{ h})(1 \text{ kg} / 10^3 \text{ g})}{1 + (0,74 \text{ g} / \text{g} \cdot \text{h}) (15 \text{ h})} + \\
&\frac{(488 \text{ m}^3 / \text{h})(0,12 \text{ g} / \text{g})(1350,25 \text{ g} / \text{m}^3) (1 \text{ kg} / 10^3 \text{ g})}{1 + (0,05 / \text{h}) (15 \text{ h})}
\end{aligned}$$

$$P_{x,bio} = 82,08 \text{ kg} / \text{h} + 72,88 \text{ kg} / \text{h} + 45,18 \text{ kg} / \text{h}$$

$$P_{x,bio} = 200,14 \text{ kg VSS} / \text{h}$$

#### 5) Menghitung Jumlah Nitrogen yang Dioksidasi Menjadi Nitrat

$$\begin{aligned}
NO_x &= \text{TKN} - N_{\text{effluen}} - 0,12 (P_{x,bio}) / Q \\
&= 1687,81 \text{ g/m}^3 - 0,5 \text{ g/m}^3 - (((0,12)(200,14 \text{ kg VSS/h}(10^3 \text{ g/kg}))) / 488 \text{ m}^3 / \text{h}) \\
&= 1687,81 \text{ g/m}^3 - 0,5 \text{ g/m}^3 - 49,22 \text{ g/m}^3 \\
NO_x &= 1638,09 \text{ g/m}^3
\end{aligned}$$

6) Perhitungan Produksi dan Massa Lumpur VSS dan TSS dalam Tangki Aerasi

a. Perhitungan Produksi Lumpur VSS dan TSS per Hari dalam Tangki Aerasi

- Produksi lumpur volatil,  $P_{X,VSS}$

$$\begin{aligned} P_{X,VSS} &= (P_{X,bio}) + Q (nbVSS) \\ &= 200,14 \text{ kg VSS/h} + 488 \text{ m}^3/\text{h} (59,30 \text{ g/m}^3 (10^{-3} \\ \text{kg/g})) \\ &= 229,08 \text{ kg VSS/h} \end{aligned}$$

- Perhitungan total produksi lumpur sebagai kg TSS/hari

$$\begin{aligned} P_{X,TSS} &= [ ((P_{X,bio}) / 0,85) + (Q (nbVSS)) + (Q (TSS_o - VSS_o)) ] \\ &= [(200,14 \text{ kg VSS/h}/0,85) + (488 \text{ m}^3/\text{h}(59,30 \text{ g/m}^3 \\ (10^{-3} \text{ kg/g})) + \\ &\quad (488 \text{ m}^3/\text{h} (89,28 \text{ g/m}^3 - 65,17 \text{ g/m}^3)) (10^{-3} \text{ kg/g}) ] \\ &= 276,16 \text{ kg TSS/h} \end{aligned}$$

b. Perhitungan Massa Lumpur VSS dan TSS dalam Tangki Aerasi

- Massa MLVSS

$$\begin{aligned} (X_{VSS}) (V) &= (P_{X,VSS}) (SRT) \\ &= 229,08 \text{ kg/h} \times 15 \text{ h} \\ &= 3436,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Massa MLSS

$$\begin{aligned} (X_{TSS}) (V) &= (P_{X,TSS}) (SRT) \\ &= 276,16 \text{ kg/h} \times 15 \text{ h} \\ &= 4142,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

Rangkuman

Tugas

Tes Formatif

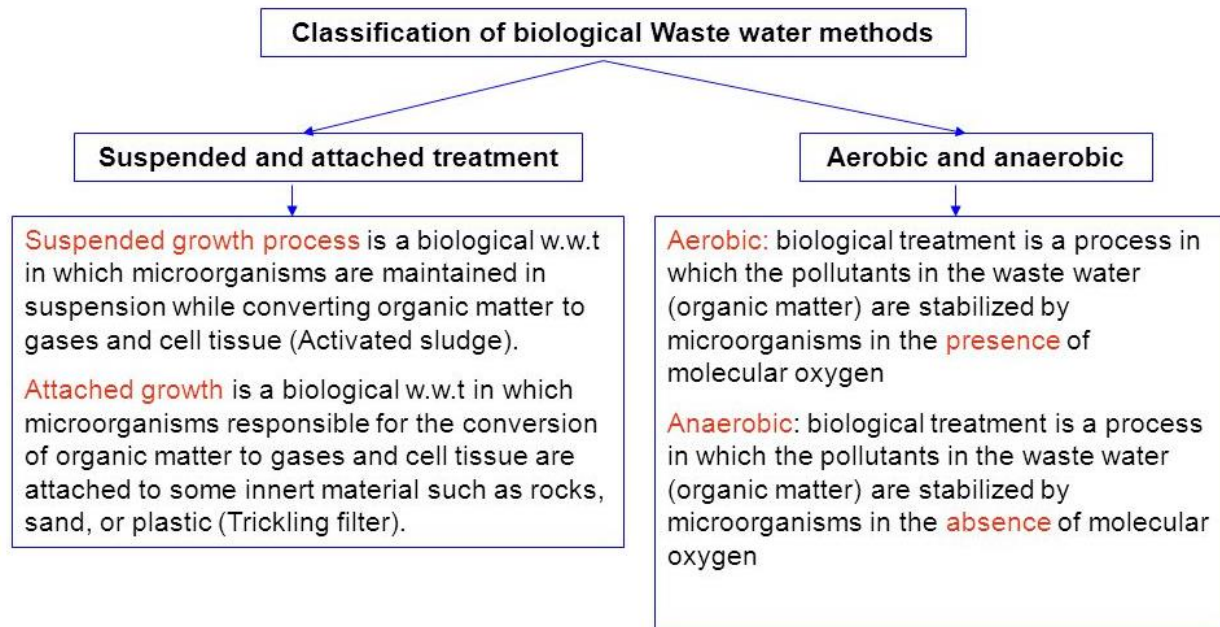
Kunci Jawaban



## Modifikasi Lumpur Aktif

### Uraian Materi

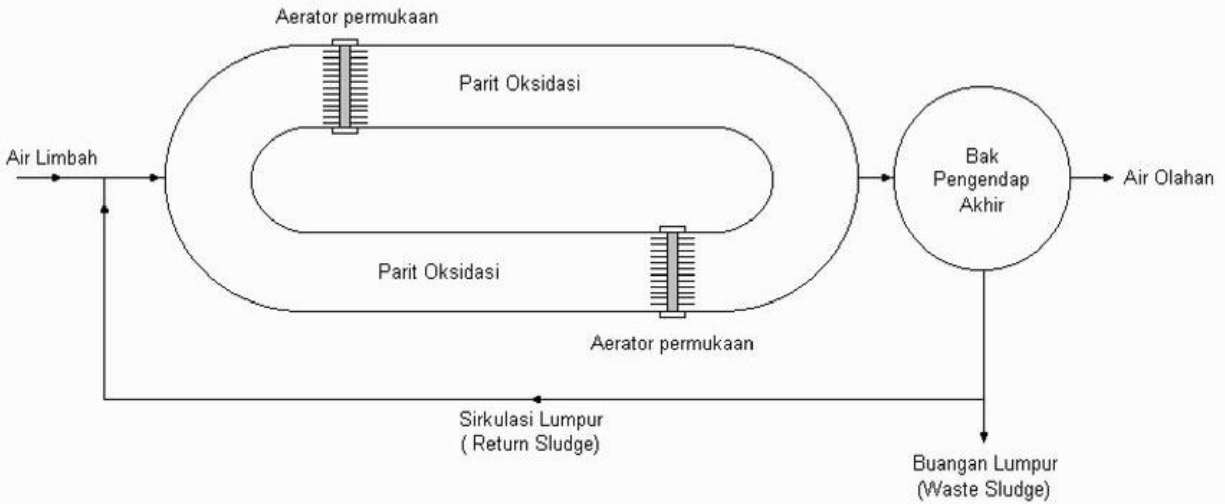
#### Klasifikasi Pengolahan Secara Biologi



- Selokan Oksidasi (*Oxidation Ditch*)
- Aerasi Berjenjang (Step Aeration)
- Aerasi Oksigen Murni
- Extended Aeration
- Stabilisasi Kontak
- DII

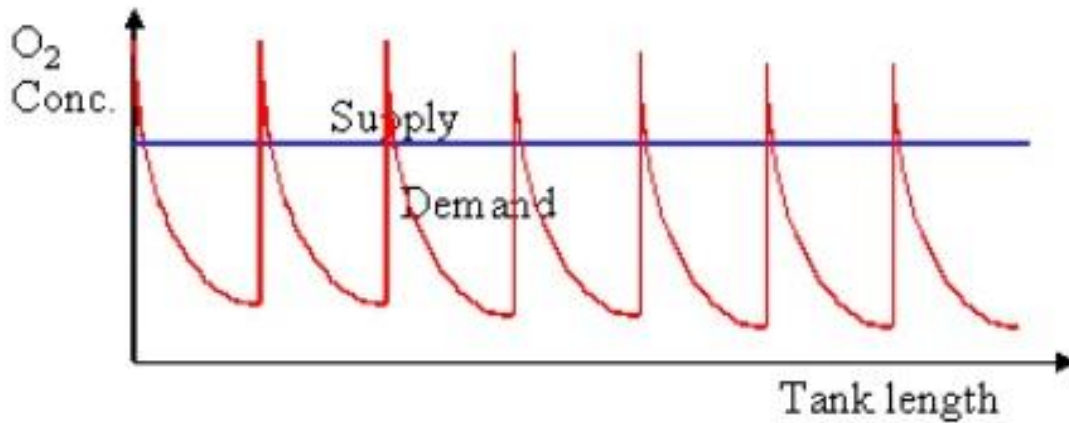
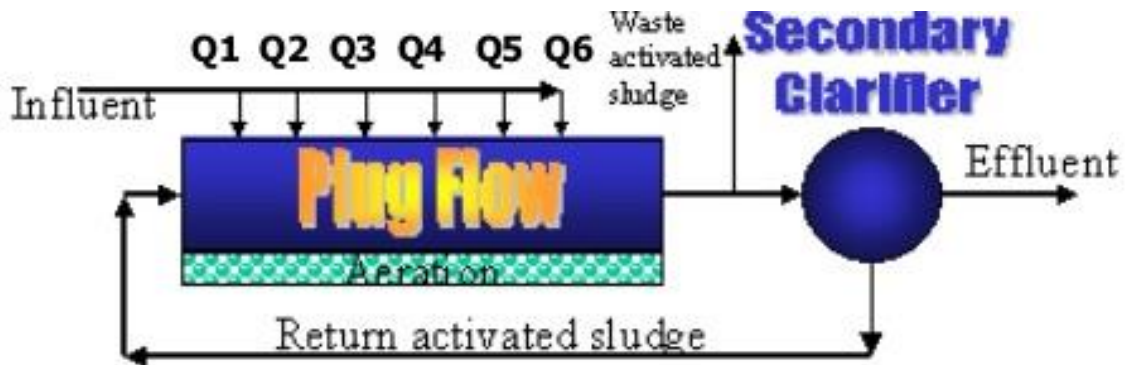
#### Selokan Oksidasi (*Oxidation Ditch*)

Selokan oksidasi terdiri dari saluran aerasi yang berbentuk oval yang dilengkapi dengan satu atau lebih rotor rotasi untuk aerasi limbah. Saluran ini menerima limbah yang telah disaring dan mempunyai waktu tinggal hidraulik (*hydraulic retention time*) mendekati 24 jam.



### Aerasi Berjenjang (Step Aeration)

Limbah hasil dari pengolahan primer (pengendapan) masuk dalam tangki aerasi melalui beberapa lubang atau saluran, sehingga meningkatkan distribusi dalam tangki aerasi dan membuat lebih efisien dalam penggunaan oksigen. Proses ini dapat meningkatkan kapasitas sistem pengolahan.



## Aerasi Oksigen Murni

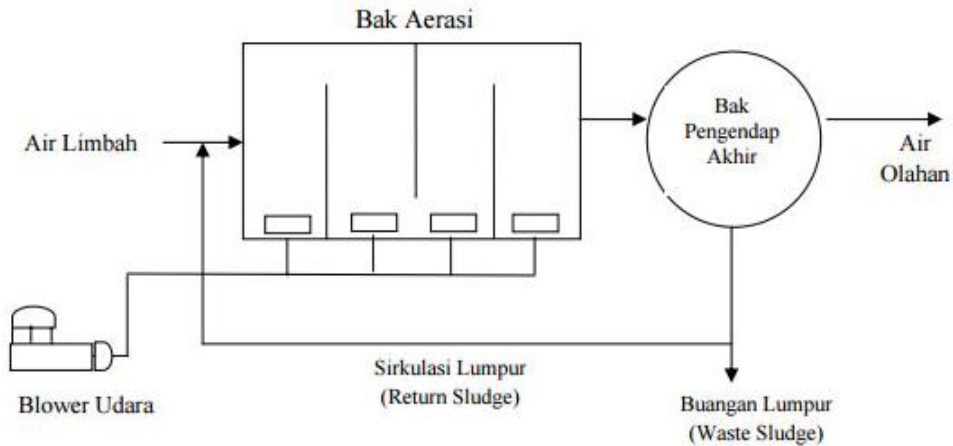
Sistem aerasi dengan oksigen murni didasarkan pada prinsip bahwa laju tranfer oksigen lebih tinggi pada oksigen murni dari pada oksigen atmosfer. Proses ini menghasilkan kemampuan oksigen terlarut menjadi lebih tinggi, sehingga meningkatkan efisiensi pengolahan dan mengurangi produksi lumpur.



## Extended Aeration

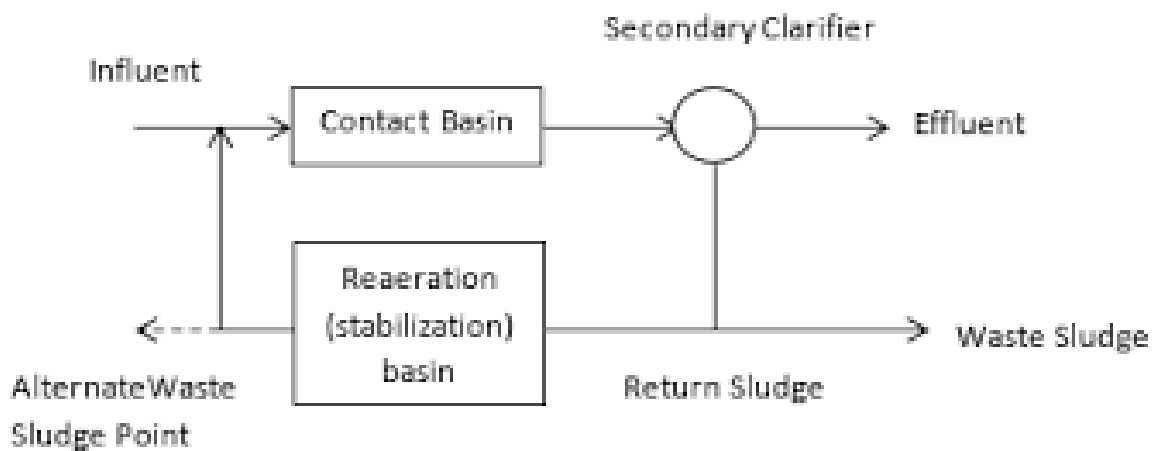
Proses ini biasanya dipakai untuk pengolahan air limbah dengan sistem paket (package treatment) dengan beberapa ketentuan antara lain :

1. Waktu aerasi lebih lama (sekitar 30 jam) dibandingkan sistem konvensional. Usia lumpur juga lebih lama dan dapat diperpanjang sampai 15 hari.
2. Limbah yang masuk dalam tangki aerasi tidak diolah dulu dalam pengendapan primer
3. Sistem beroperasi dengan F/M ratio yang lebih rendah (umumnya  $< 0,1$  kg BOD/ per kg MLSS per hari) dibandingkan dengan sistem lumpur aktif konvensional (0,2 - 0,5 kg BOD per kg MLSS per hari).
4. Sistem ini membutuhkan sedikit aerasi dibandingkan dengan pengolahan konvensional dan terutama cocok untuk komunitas yang kecil yang menggunakan paket pengolahan



### Stabilisasi Kontak

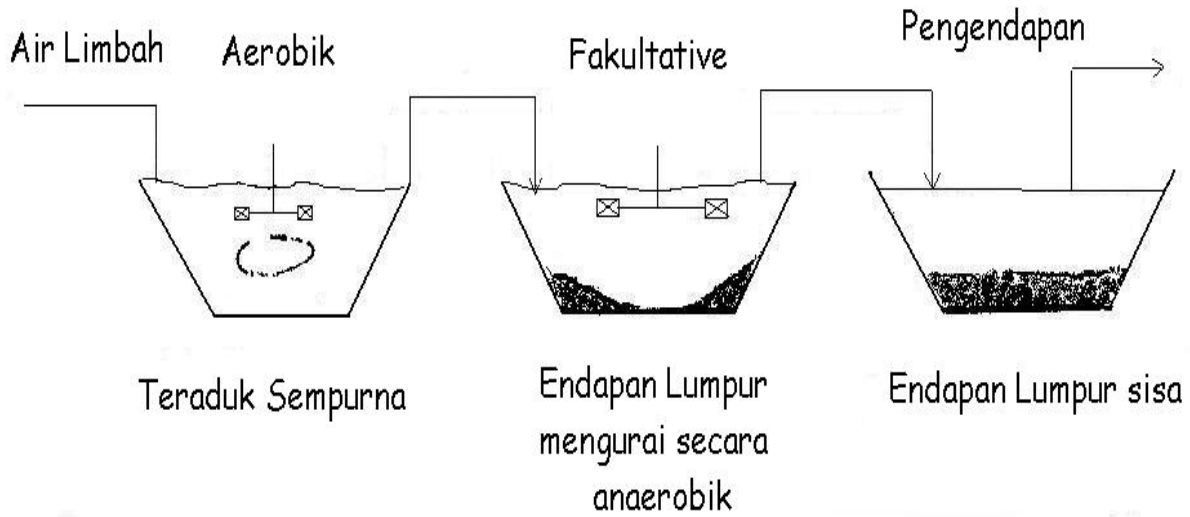
Setelah limbah dan lumpur bercampur dalam tangki reaktor kecil untuk waktu yang singkat (20-40 menit), aliran campuran tersebut dialirkan ke tangki penjernih dan lumpur dikembalikan ke tangki stabilisasi dengan waktu tinggal 4 - 8 jam. Sistem ini menghasilkan sedikit lumpur.



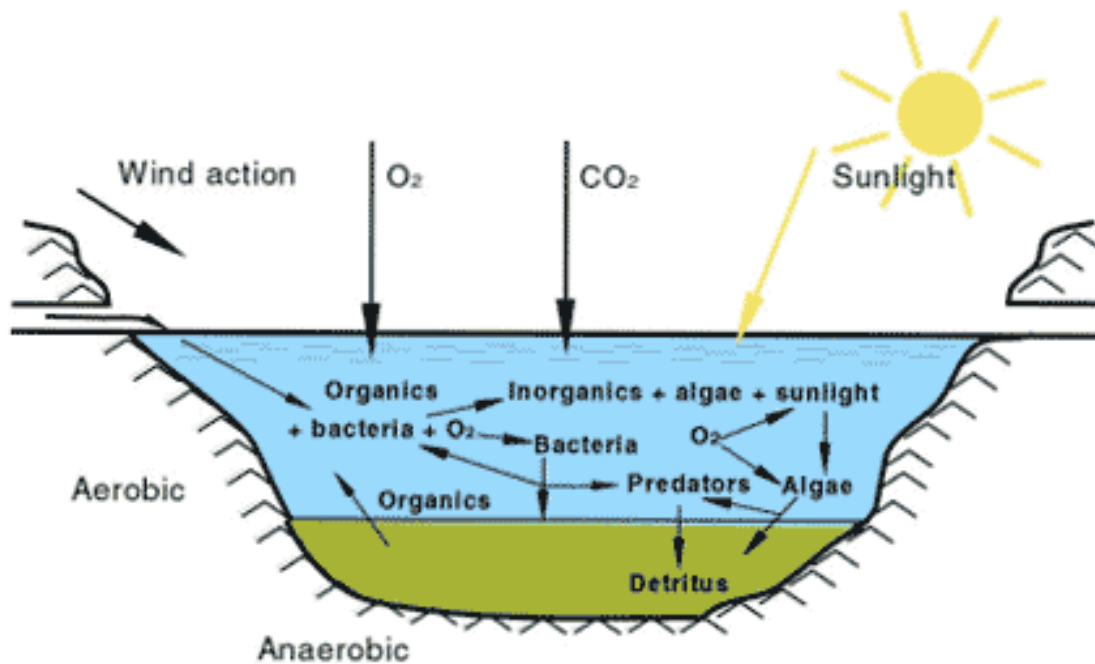
### Aerated Lagoon

Aerated lagoon adalah bak dengan kedalaman 2,5 - 5 m, dan luas permukaan beberapa ratus meter persegi serta diaerasi secara mekanis atau difusi udara, sehingga organik dalam air limbah dapat terurai.

1. Aerobik lagoon, DO dan suspended solid dijaga uniform dalam bak
2. Fakultatif lagoon, DO dijaga tetap hadir dibagian lapisan air dalam bak, sebagian suspended solid dipertahankan. Lapisan bawah adalah anaerobic.



#### Fakultatif Lagoon





Rangkuman

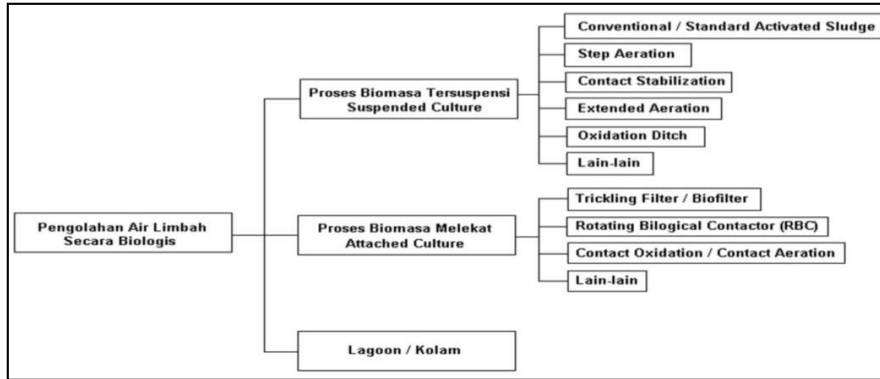
Tugas

Tes Formatif

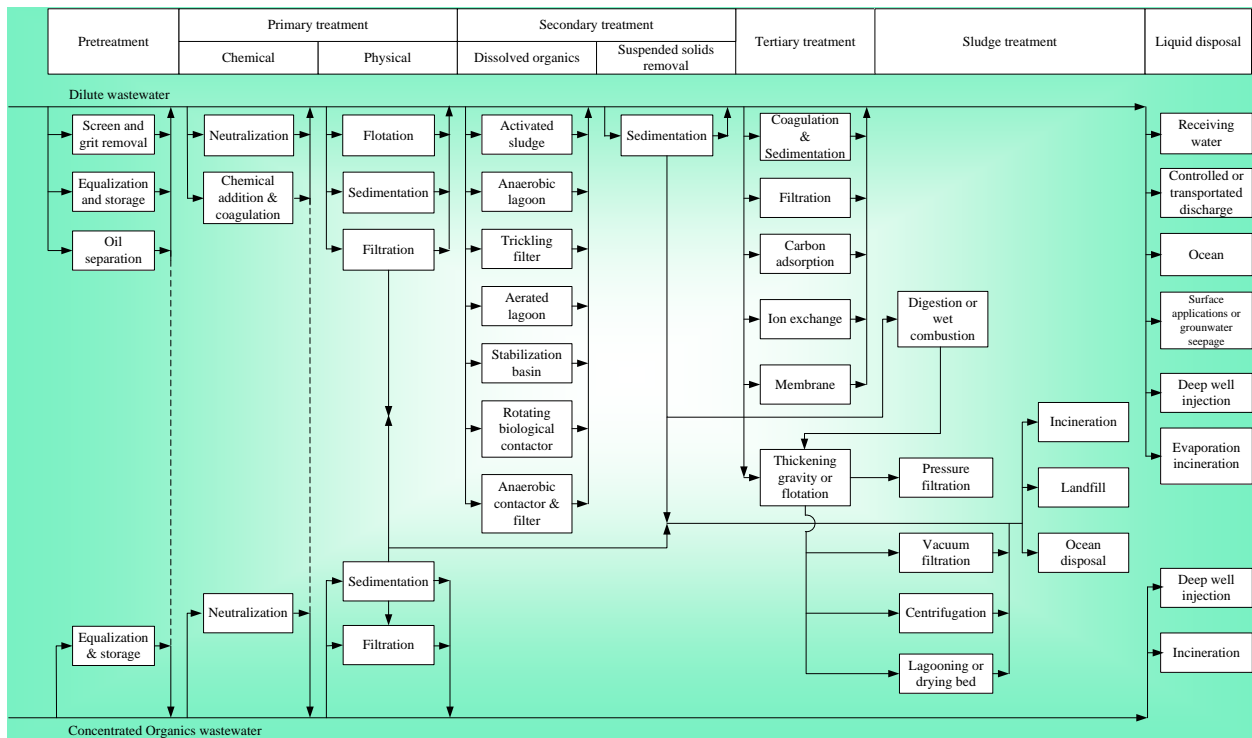
Kunci Jawaban

# Proses Pertumbuhan Melekat Trickling Filter dan Rotary Biological Contactor

## Uraian Materi

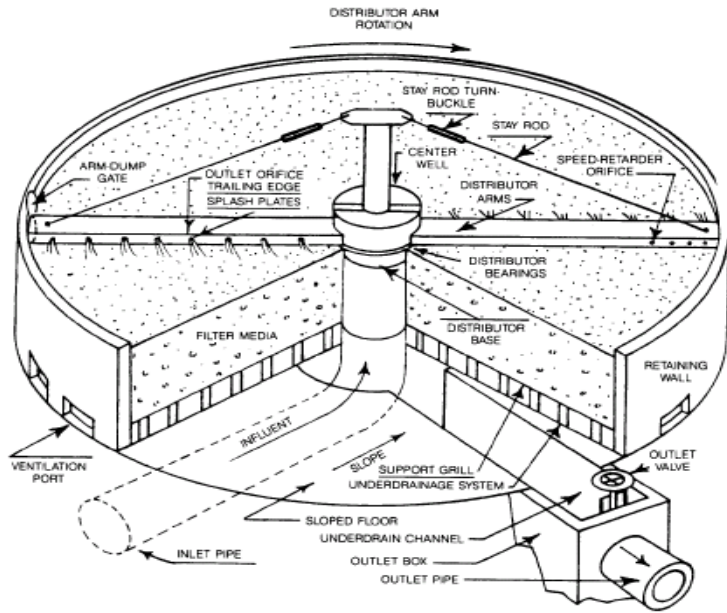


## Proses Pengolahan Limbah Industri Yang Dapat Dipilih

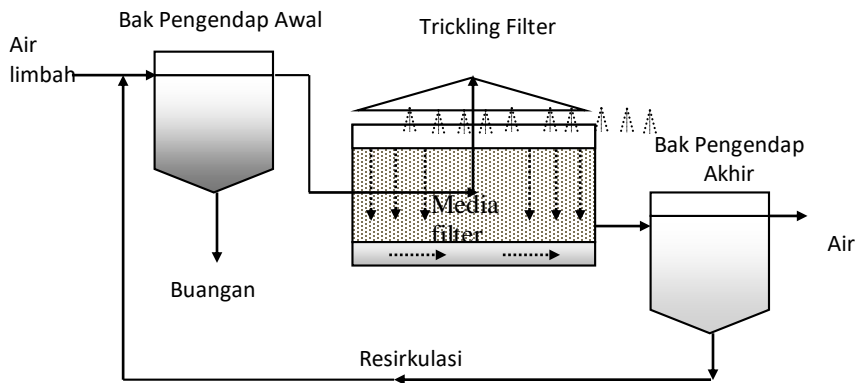


## Trickling Filter

Proses pengolahan Trickling Filter adalah proses pengolahan dengan **cara menyebarkan air limbah ke dalam** suatu tumpukan atau unggun media yang terdiri dari bahan batu pecah, bahan keramik, sisa tanur, medium dari bahan plastik atau lainnya.



Secara garis besar, diagram pengolahan air limbah dengan sistem trickling filter dapat dilihat pada gambar :



### Proses Pengolahan Trickling Filter



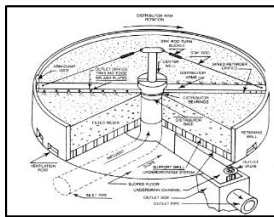
pada permukaan medium akan muncul lapisan biologis (biofilm) seperti lendir

kemudian akan kontak dengan air limbah

lendir tersebut akan menguraikan senyawa polutan yang ada di dalam air limbah

### Trickling filter yang digunakan untuk:

- Pengolahan limbah perumahan atau pedesaan kecil individu
- sistem terpusat untuk pengolahan limbah kota
- sistem diterapkan pada pengolahan limbah industri.

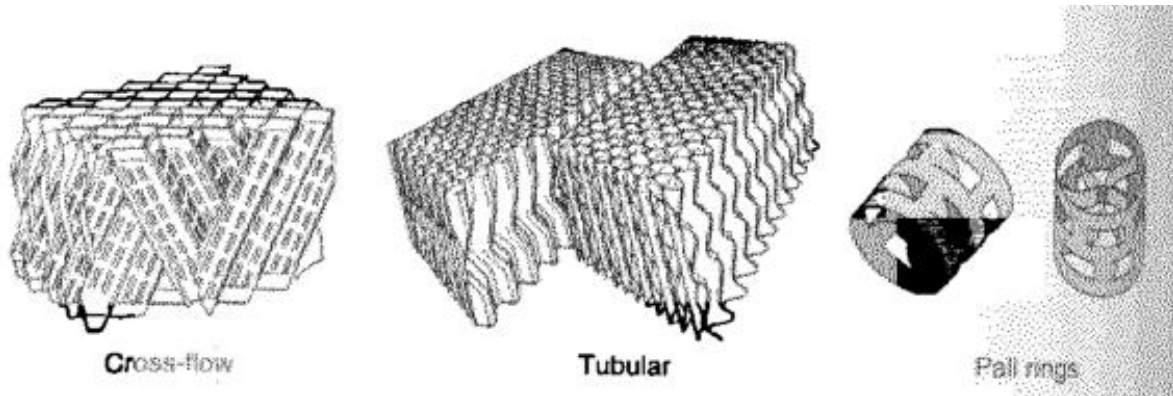


### Parameter

PARAMETER	TRICKLING FILTER STANDAR	TRICKLING FILTER (HIGH RATE)
Beban Hidrolik $m^3/m^2 \cdot \text{hari}$	0,5 - 4	8 - 40
Beban BOD $kg/m^2 \cdot \text{hari}$	0,08 - 0,4	0,4 - 4,7
Jumlah Mikroorganisme $(kg/m^3 \cdot \text{media})$	4,75 - 7,1	3,3 - 6,5
Stabilitas Porses	Stabil	Kurang Stabil
BOD Air Olahan	$\leq 20$	Fluktuasi
Nitrat dalam Air Olahan	Tinggi	Rendah
Efisiensi Pengolahan	90 -95	$\pm 80$

Sumber : Gesuidou Shisetsu Sekkei Shishin to Kaisetsu, Nihon Gesuidou Kyoukai (Japan Sewage Work Assosiation),1984.

### Filter Media

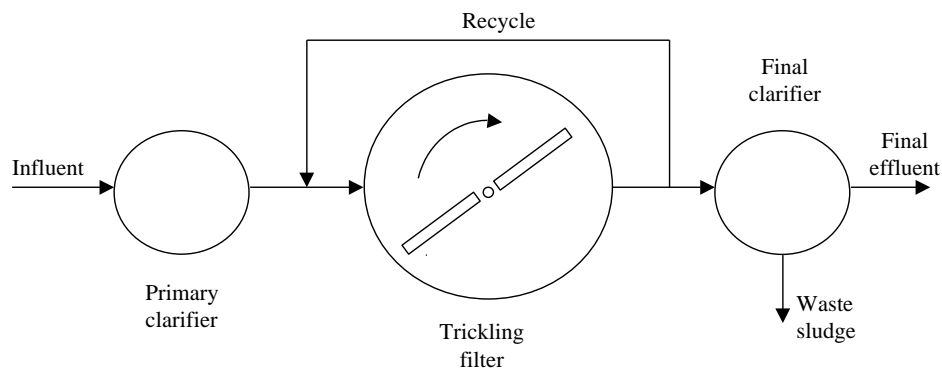


- Crushed rock
  - Durable & insoluble
  - Locally available
  - But, reduce the void spaces for passage of air
  - Less surface area per volume for biological growth
- Plastic media
  - Random packing media
  - Modular packing media

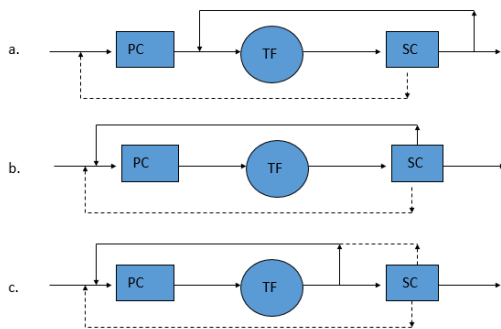
**Diagram Alir pada Tricking Filters**

**Recirculation**= A portion of the TF effluent recycled through the filter

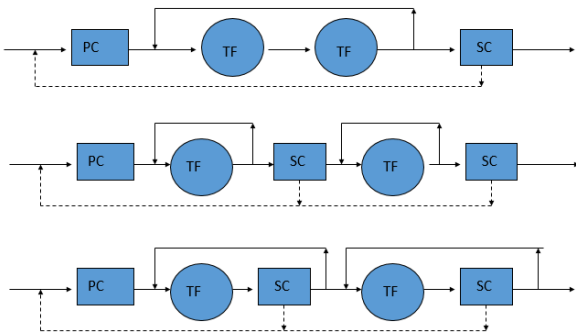
**Recirculation ratio (R)** = returned flow ( $Q_r$ )/ influent flow ( $Q$ )



## Single Stage



## Two Stage



## Stone media filter



## Stone media TF design

- Organic (BOD) loading rate:
  - Expressed as  $\text{kg}/\text{m}^3/\text{d}$
  - Typically,  $0.320\text{-}0.640 \text{ kg}/\text{m}^3/\text{d}$  for single-stage filters
  - Typically,  $0.640\text{-}0.960 \text{ kg}/\text{m}^3/\text{d}$  for two-stage filters
    - Ex) Influent BOD =  $200\text{mg}/\text{L}$ , influent flow =  $1.8 \text{ ML}/\text{d}$ , diameter of the filter is  $16 \text{ m}$  & the depth of the filter is  $2\text{ m}$ . Calculate the organic loading rate.

## Stone media TF design

- Hydraulic loading rate:
  - $\text{m}^3 \text{ wastewater}/\text{m}^2 \text{ filter} \cdot \text{d}$
  - the rate of total influent flow is applied to the surface of the filter media
  - Total influent flow = the raw WW + recirculated flow
  - Typically,  $9.4 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$
  - Maximum,  $28 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ 
    - Ex) Influent flow = 8.5ML/d, the recirculation ratio is 2:1. Diameter of the filter is 16 m & the depth of the filter is 2m. Calculate the hydraulic loading rate.
- NRC (national research council) formula

### where:

$E_1$  = BOD removal efficiency for first-stage filter at 20°C, %

$w_1$  = BOD load applied, kg/day

$V$  = volume of filter media,  $\text{m}^3$

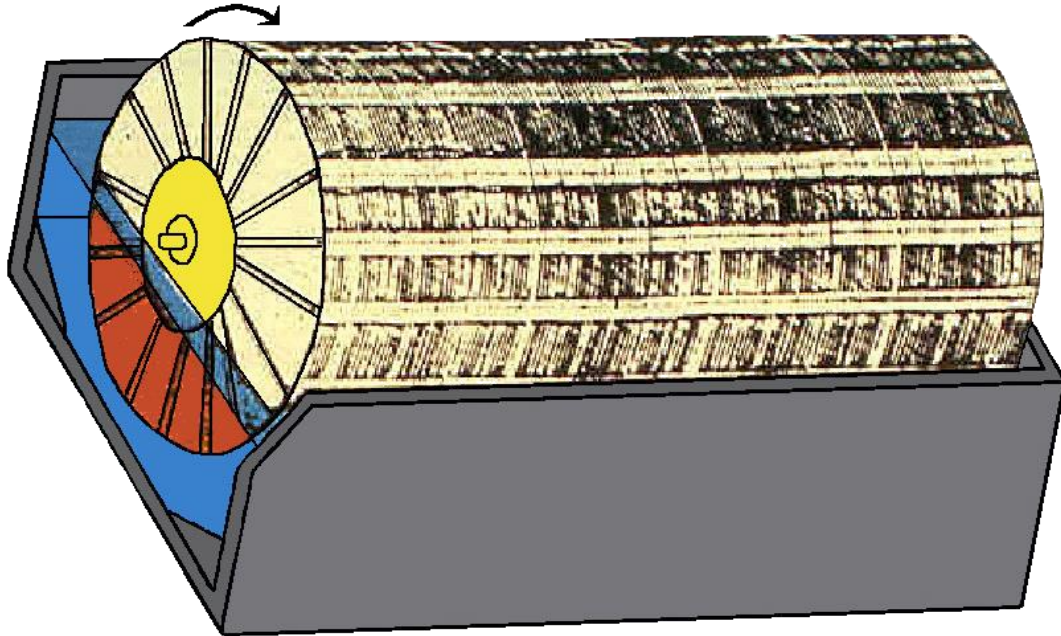
$F$  = recirculation factor

## **Rotating Biological Contactor (RBC)**

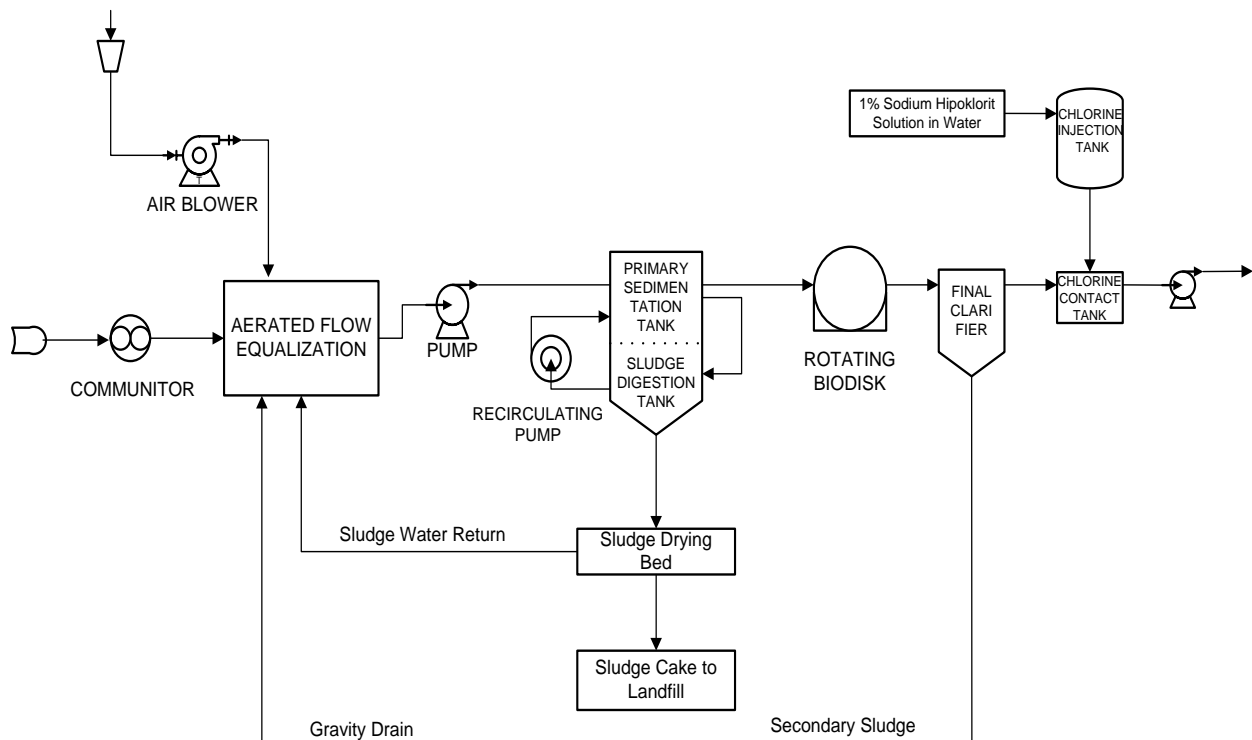
RBC (Rotating Biological Contactor) merupakan adaptasi pengolahan air limbah dengan biakan melekat (attached growth).

- Media yang digunakan piring (disk) tipis dari baja, dengan  $d=2-4 \text{ m}$ , tebal 0,8 mm
- Disk dilekatkan pada poros baja dengan  $P=8 \text{ m}$
- Poros kemudian diletakan dalam tangki/ bak reaktor RBC secara seri/ paralel sesuai tujuan menjadi satu modul
- Modul diputar, hingga permukaan media secara bergantian tercelup ke dalam air limbah dan berada di atas permukaan air limbah (udara)
- Mikroorganisme akan tumbuh dengan sendirinya. Mikroorganisme ini mengambil makanan dari air limbah dan oksigen dari udara
- Tebal biofilm pada permukaan media mencapai 2-4mm bergantung beban organik dalam reaktor dan kecepatan putaran

- Beban organik yang besar menyebabkan kondisi anaerob, untuk mencapai nitrifikasi sempurna, dalam bak dipasang injeksi udara
- RBC masih tergolong baru, umumnya digunakan untuk pengolahan limbah domestik atau perkotaan.

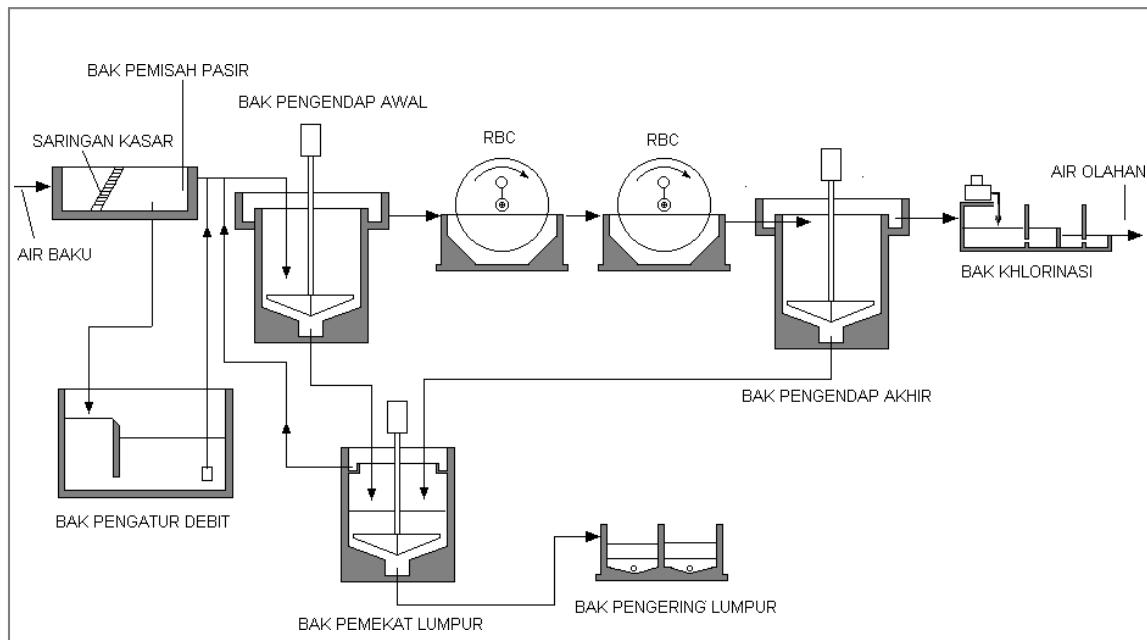


**Diagram Alir Unit Rotating Biological Contactor**



## Bagian-bagian RBC

- **Bak pemisah pasir**, Untuk mengendapkan kotoran berupa pasir atau lumpur kasar. Kotoran yang mengambang misalnya sampah, tertahan pada sarangan (screen) pemisah pasir tersebut.
- **Bak pengendap awal**, Lumpur atau padatan tersuspensi akan mengendap di bagian ini. Waktu tinggal di dalam bak pengendap awal adalah 24 jam, dan lumpur yang telah mengendap dikumpulkan dan dipompa ke bak pengendapan lumpur.
- **Bak kontrol aliran**, Untuk mengontrol debit air limbah, bila melebihi kapasitas, air limbah disimpan sementara dalam bak ini.
- **Reaktor (RBC)**, Alat untuk mengurangi senyawa organik dalam air limbah.
- **Bak pengendap akhir**, Untuk mengendapkan lumpur dari RBC. Air limpasan (over flow) dari bak pengendap akhir relatif sudah jernih. Lumpur yang mengendap di dasar bak dipompa ke bak pemekat lumpur bersama-sama dengan lumpur yang berasal dari bak pengendap awal.
- **Bak klorinasi**, Untuk membunuh mikro-organisme patogen, E. Coli dan virus yang ada dalam air. Air limbah sudah boleh dibuang ke badan air.
- **Unit pengolahan lumpur**, Mengumpulkan lumpur dari bak pengendap awal maupun bak pengendap akhir, kemudian di pekatkan dengan cara didiamkan sekitar 25 jam, lalu lumpur yang telah pekat dipompa ke bak pengering lumpur atau ditampung pada bak tersendiri dan secara periodik dikirim ke pusat pengolahan lumpur di tempat lain.



## Keunggulan dan Kelemahan RBC

### Keunggulan RBC

- Pengoperasian alat serta perawatannya mudah
- Konsumsi energi lebih rendah
- Dapat dipasang beberapa tahap (multi stage), sehingga tahan terhadap fluktuasi beban pengoalahan
- Reaksi nitrifikasi lebih mudah terjadi, sehingga efisiensi penghilangan ammonium lebih besar
- Tidak terjadi bulking ataupun buth (foam) seperti pada proses lumput aktif

### Kelemahan RBC

- Pengontrolan jumlah mikro-organisme sulit dilakukan
- Sensitif terhadap perubahan temperatur
- Kadang-kadang konsentrasi BOD air olahan masih tinggi
- Dapat menimbulkan pertumbuhan cacing rambut
- Kadang-kadang timbul bau yang kurang busuk.



### III. Evaluasi