



# DASAR BIOPROSES

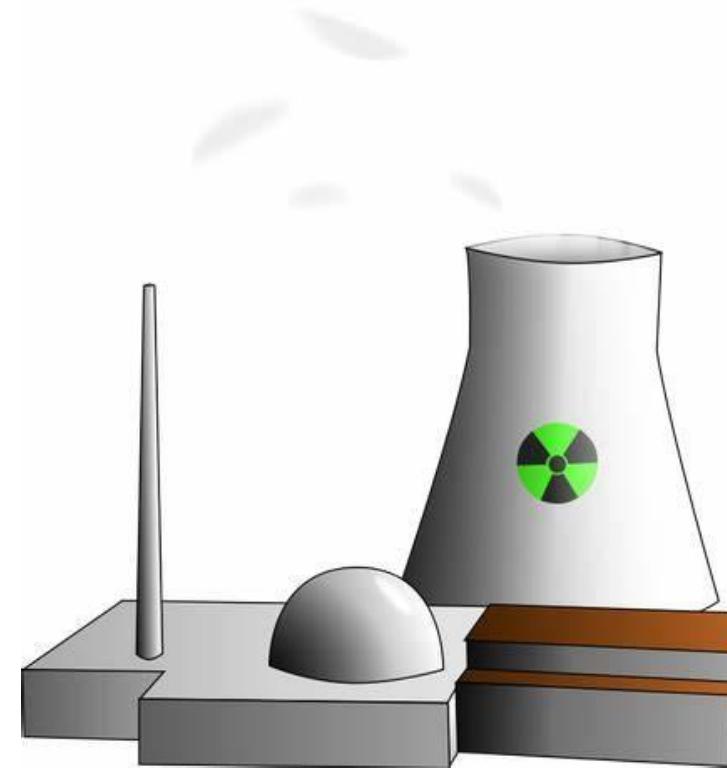
“BIOREAKTOR”



DODY GUNTAMA, S.T.,M.ENG

# MATERI

- JENIS – JENIS REACTOR
- PRINSIP KERJA  
REAKTOR
- APLIKASI BIOREAKTOR





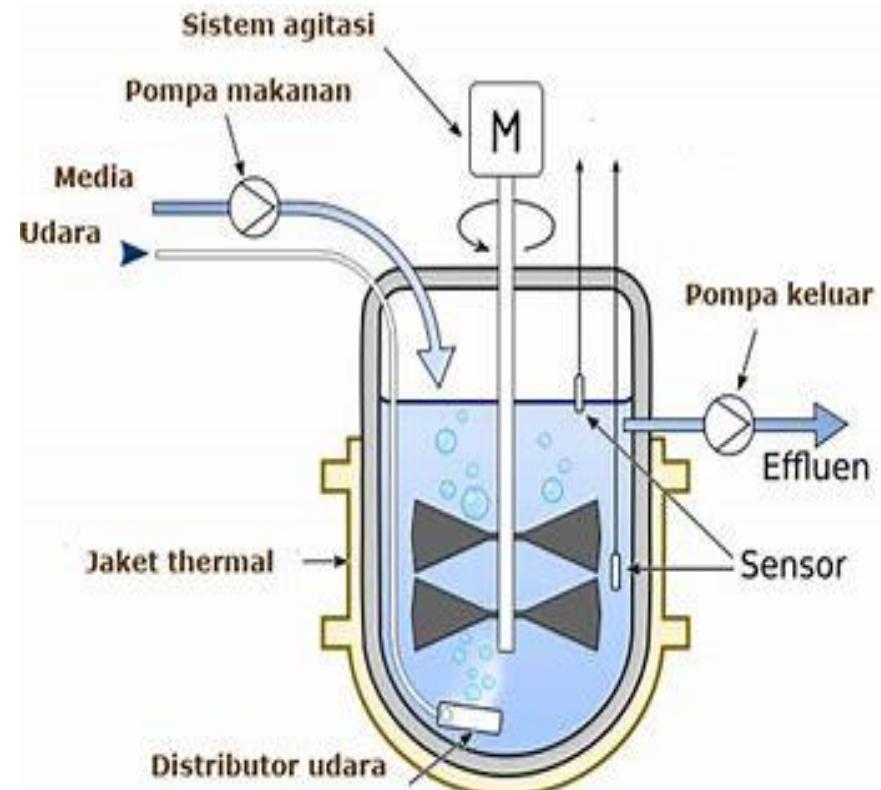
# **APA ITU REAKTOR?**

---

Bioreaktor adalah suatu unit alat yang digunakan untuk melangsungkan proses biokimia dari suatu bahan baku menjadi produk yang diinginkan, dimana prosesnya dilakukan dengan menggunakan sel mikroorganisme, sel tanaman, sel hewan atau dengan menggunakan agen biologi lainnya, seperti enzim, dan lainnya). Bioreaktor untuk proses fermentasi disebut juga dengan fermentor.

Fungsi bioreaktor :

1. Memberikan lingkungan yang dapat dikontrol untuk pertumbuhan mikroorganisme dan aktivitas metabolisme yang optimal dalam menghasilkan suatu produk yang diinginkan
2. Mencegah terjadinya kontaminasi selama proses fermentasi dari lingkungan ke kultur serta mencegah keluarnya kultur ke lingkungan.



---

## PARAMETER YANG DIKONTROL PADA BIOREAKTOR

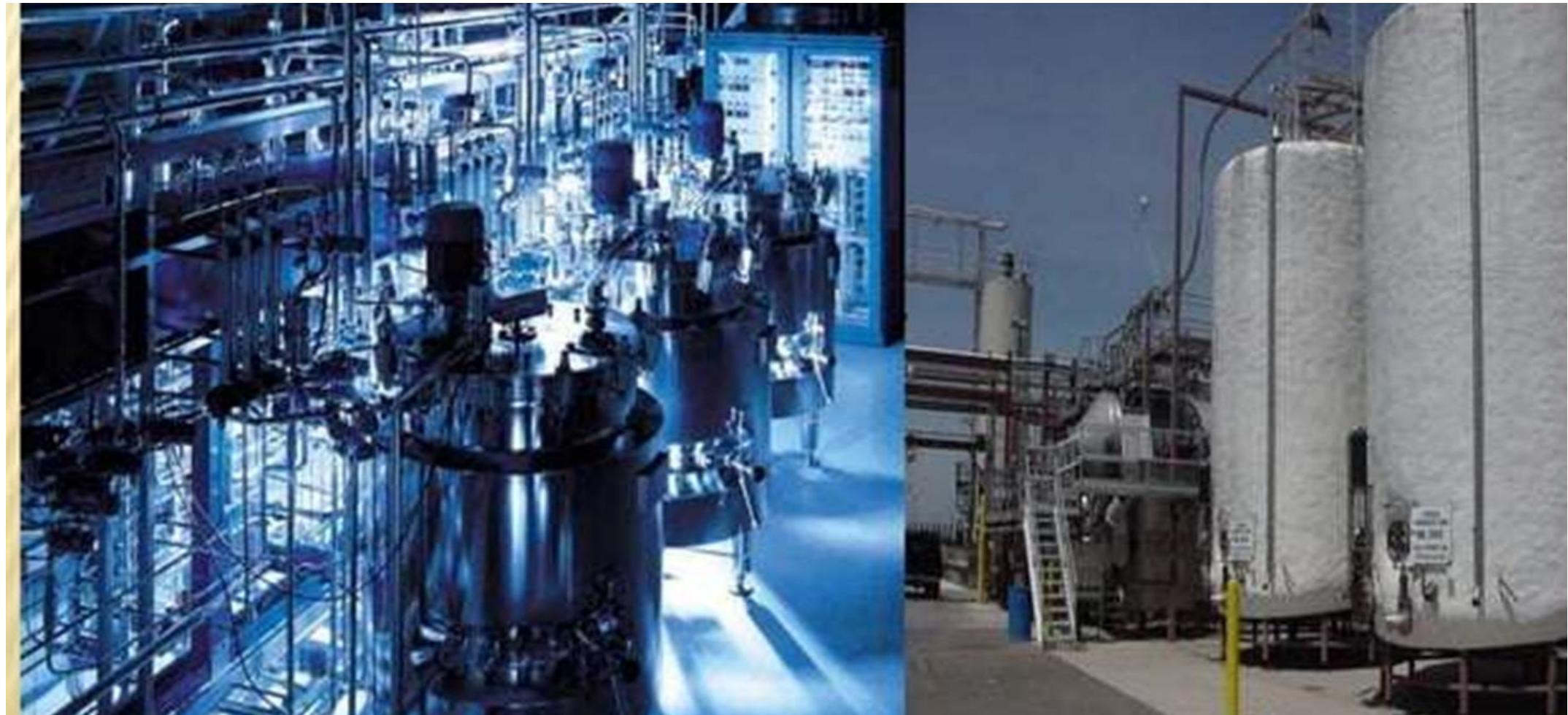
- Suhu
- pH
- Oksien terlarut
- Bahan baku dan Nutrisi

# FERMENTOR SKALA LAB DAN PILOT



---

# FERMENTOR SKALA INDUTRI



---

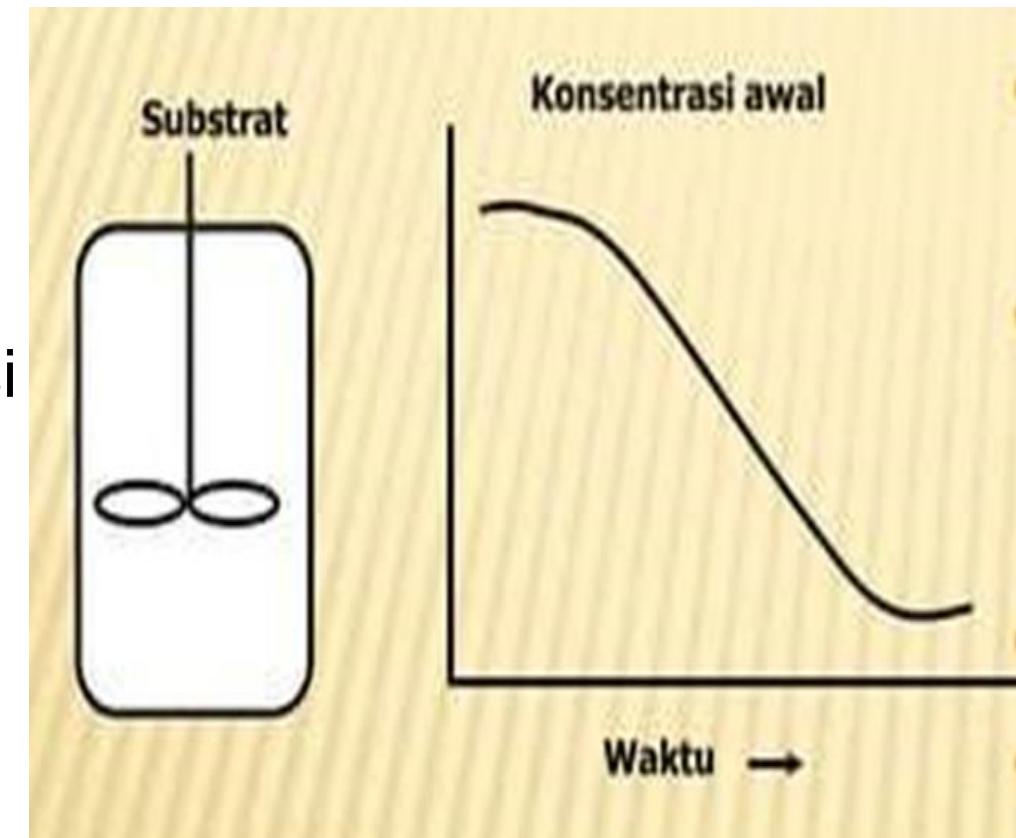
## HAL-HAL YANG PERLU DIPERHATIKAN DALAM PENENTUAN MODEL BIOREAKTOR

- Pemilihan sistem fermentasi (batch, continuous, feed batch)
- Tipe bioreaktor dan cara operasinya
- Sifat-sifat mikroba yang digunakan
- Melakukan penelitian pendahuluan untuk menentukan kondisi optimum suatu mikroba pada skala laboratorium, lalu di scale up hingga layak untuk diproduksi skala industri

# JENIS-JENIS FERMENTOR BERDASARKAN PEMBERIAN SUBTRAT

## 1. BATCH BIOREAKTOR

- Sistem tertutup
- Fermentor di isi oleh nutrisi/medium, suhu dan pH diset
- Inokulum dimasukan proses fermentasi hingga waktu yang ditentukan
- Proses sampai dengan fase akhir log/stasioner
- Proses selanjutnya diulang
- Tidak ada nutrisi yang ditambahkan

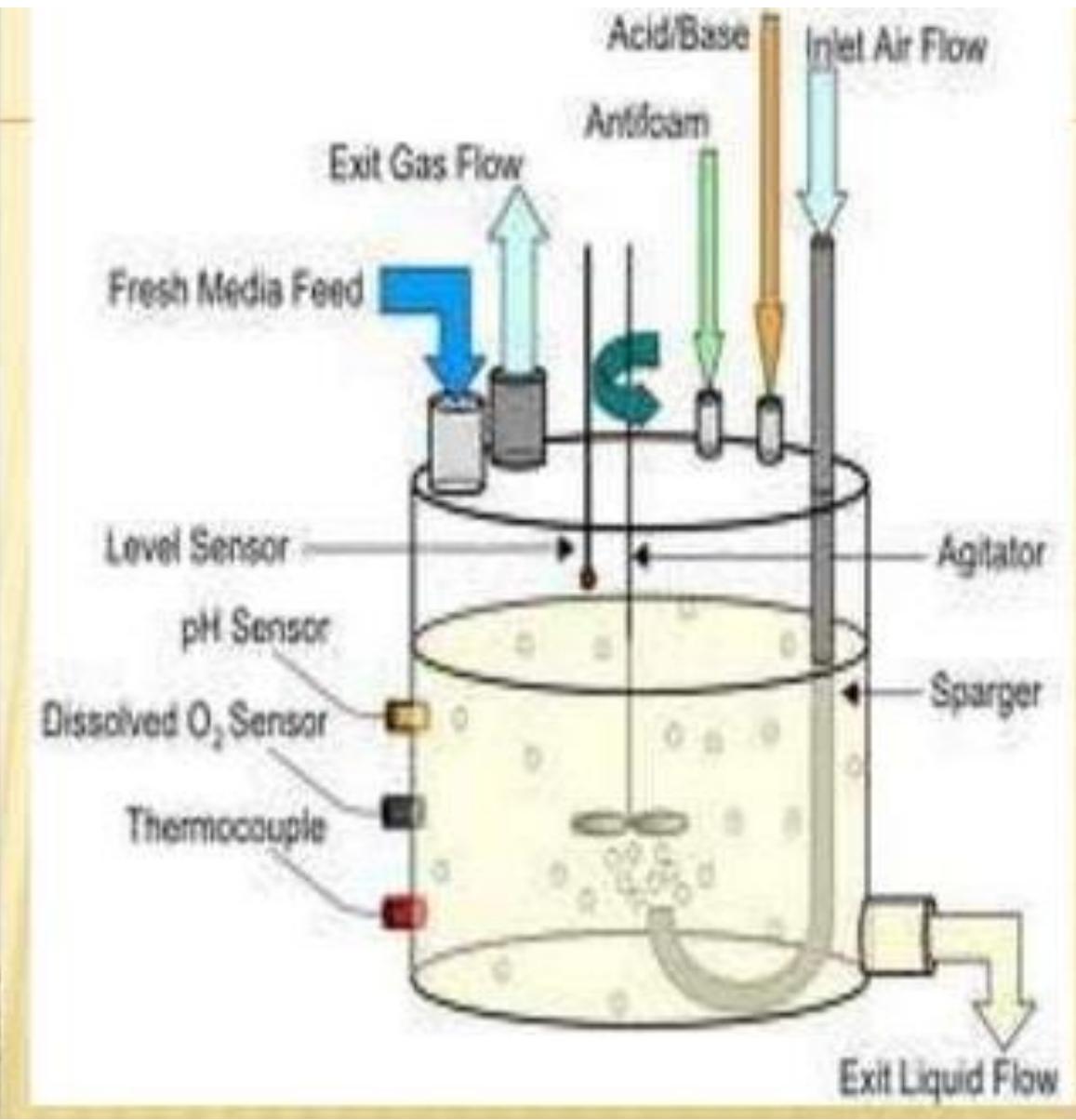


## 2. CONTINUOUS BIOREAKTOR

- Pemberian nutrisi secara kontinu/berkala dalam jangka waktu tertentu
- Volume nutrisi di dalam reaktor harus tepat antara nutrisi yang dikeluarkan dan dimasukkan harus ekivalen
- Proses fermentasi bersifat sensitif terhadap kontaminasi, biomasa berkurnag karena ikut terbuang

### --- **3. FEED BATCH BIOREAKTOR**

- Intermediary bioreactor
- Nutrasi ditambahkan pada saat fase yang dibutuhkan
- Selama proses fermentasi kecepatan pertumbuhan  $\mu$  dan kosentrasi biomasa dapat dikontrol dengan penambahan nutrisi saat fase tertentu



# KEUNGULAN MASING-MASING TIPE PROSES

- BATCH
  - Mikroorganisme tidak hilang selama proses fermentasi
  - MO. Memiliki waktu untuk beradaptasi dengan kecepatan pembelahan maksimum
  - Biotransformasi MO berjalan dengan baik dengan parameter lingkungan yang terkontrol
  - Mo dapat lebih cepat/lambat masuk fase staioner dan terakumulasi toksin saat nutrisi terbatas
- KONTINU
  - Mo, nutrisi dan calran dapat ikut terbuang
  - Mo membutuhkan waktu untuk beradaptasi lagi setiap penambahan nutrisi
  - Rentan terhadap MO kontaminan

---

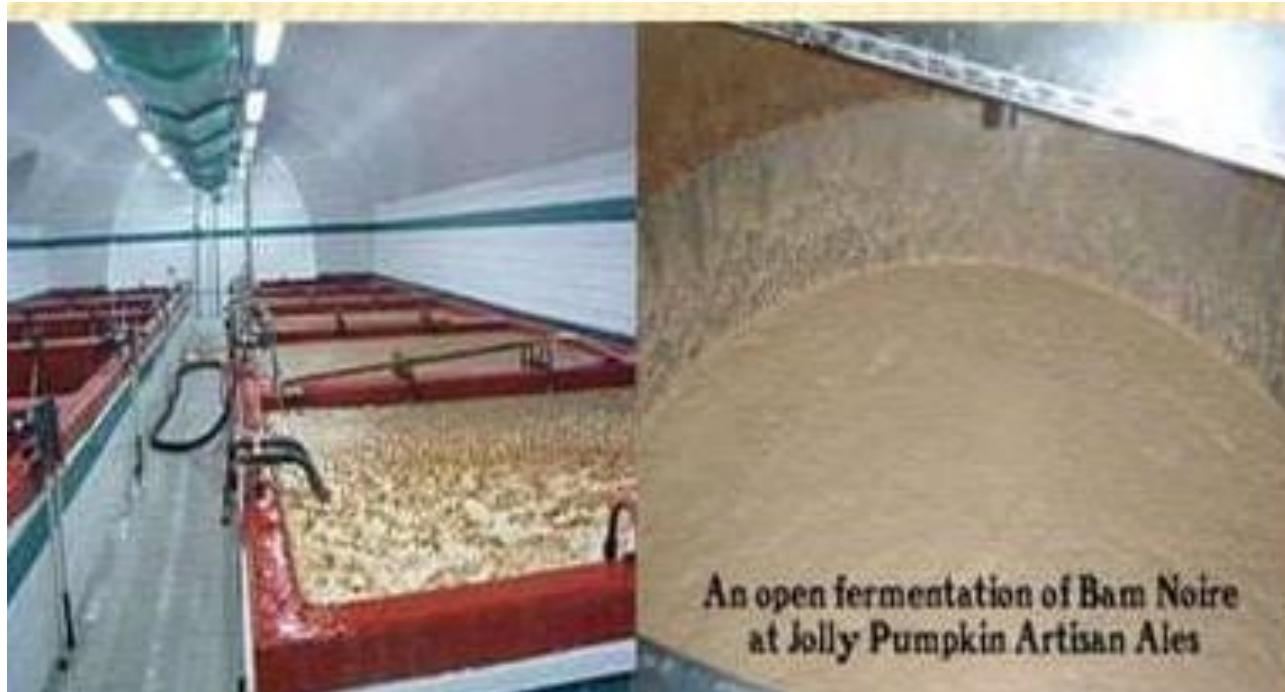
## KEUNGULAN MASING-MASING TIPE PROSES

- FEED BATC PERMENTOR
- Pemberian nutrisi secara berselang
- Mikroorganisme lebih sehat karena nutrisi dapat terpenuhi

---

# FERMENTOR BERDASARKAN TINGKAT ASEPTIS

- Fermentor aseptis
- Fermentor non aseptis

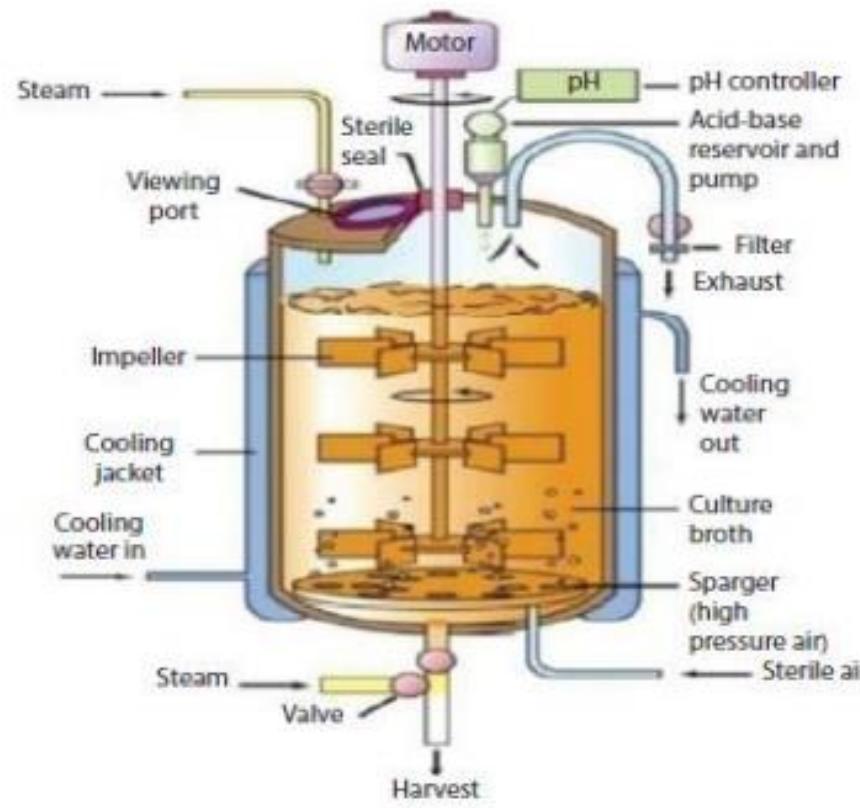




# JENIS – JENIS BIOREAKTOR

- Berdasarkan Desainnya, Bioreaktor Dapat Dikelompokkan Menjadi Beberapa Jenis:
  - 1) Bioreaktor Tangki Berpengaduk (Stirred Tank Reactor)
  - 2) Bioreaktor Kolom Bergelembung (Bubble Column Bioreactor)
  - 3) Bioreaktor Airlift
  - 4) Bioreaktor Unggun Tetap (Packed Bed Bioreactor)
  - 5) Bioreaktor Unggun Terfluidisasi (Fluidized Bed Bioreactor)
  - 6) Bioreaktor Trikile Bed
  - 7) Fotobioreaktor (Photobioreactor)
  - 8) Bioreaktor Membran

# **BIOREAKTOR TANGKI BERPENGADUK**

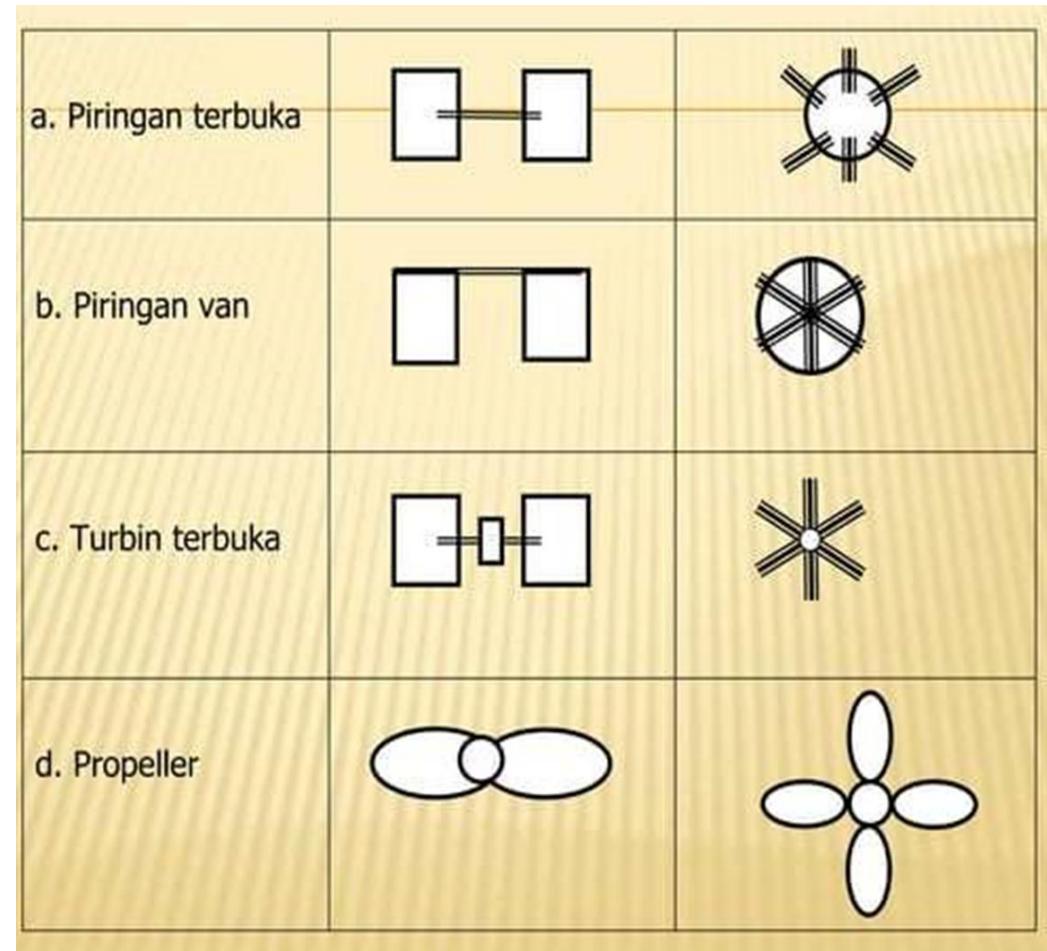


# BIOREAKTOR TANGKI BERPENGADUK

1. Pencampuran dilakukan dengan cara agitasi secara mekanis, oleh karena itu membutuhkan biaya operasional yang relatif tinggi untuk energi per satuan volumenya.
2. Baffle dalam reaktor diperlukan untuk mengurangi efek pusaran aliran (vortexing). Berbagai macam ukuran dan bentuk impeller tersedia untuk menghasilkan pola aliran yang berbeda di dalam fermentor.
3. Pada fermentor yang tinggi, dibutuhkan pemasangan beberapa impeler untuk meningkatkan pencampuran.
4. Jenis bioreaktor ini banyak digunakan untuk produksi antibiotik, enzim, MSG dan lain-lain.
5. Pada umumnya volume cairan dalam fermentor hanya sekitar 70 hingga 80% volume reaktor. Hal ini untuk memberikan ruang di atas cairan yang cukup untuk terjadinya kondensasi dari cairan yang terbawa dalam gas buang serta untuk mengantisipasi terjadinya busa yang terbentuk selama proses fermentasi.
6. Jika busa yang terbentuk menjadi masalah yang serius maka perlu dilengkapi dengan impeler yang berfungsi sebagai pemecah busa, dapat juga dilakukan dengan mengatur posisi impeller paling atas
7. Bahan kimia antibusa sering kali juga digunakan, namun perlu diingat bahwa penggunaan antibusa dapat menurunkan laju transfer oksigen.

# KOMPONEN FERMENTOR

- IMPELLER
- Berfungsi untuk memperkecil ukuran gelembung udara sehingga area interface untuk transfer oksigen menjadi besar dan menurunkan jarak difusi
- Mempertahankan keseragaman kultur diseluruh bagian fermentor

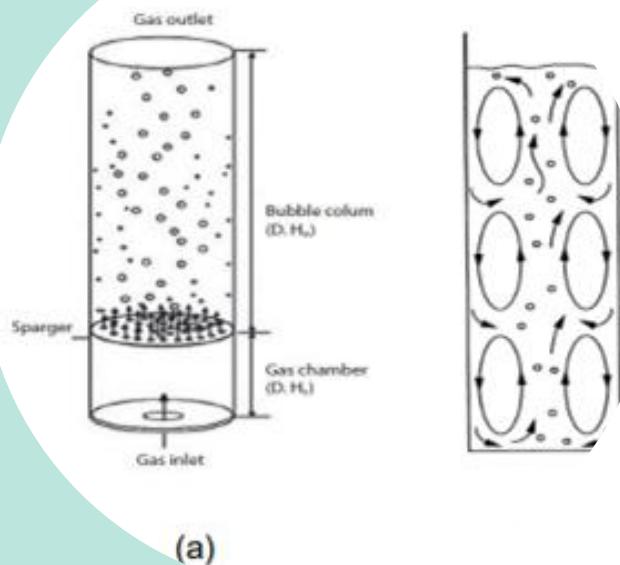


# BIOREAKTOR TANGKI BERPENGADUK

- Kontrol suhu dan perpindahan panas dalam tangki berpengaduk dapat dilakukan dengan menggunakan jaket pendingin
- Reaktor tangki berpengaduk seringkali digunakan untuk reaksi enzimatis dengan enzim bebas maupun terimobilisasi serta untuk proses fermentasi dengan kultur sel tersuspensi maupun terimobilisasi.
- Perlu diperhatikan enzim terimobilisasi dapat rusak atau hancur oleh putaran impeler dengan kecepatan tinggi.
- Aspek rasio tangki berpengaduk (yaitu, rasio tinggi terhadap diameter) dapat bervariasi.
- jika aerasi merupakan faktor yang penting dalam proses, maka aspek rasio yang digunakan harus lebih besar. Hal ini untuk memberikan waktu kontak antara gelembung dengan cairan yang lebih lama serta menghasilkan tekanan hidrostatis yang lebih besar di dasar bejana untuk meningkatkan kelarutan oksigen.

# **BIOREAKTOR KOLOM BERGELEMBUNG (BUBBLE COLUMN BIOREACTOR)**

# BIOREAKTOR KOLOM BERGELEMBUNG (BUBBLE COLUMN BIOREACTOR)



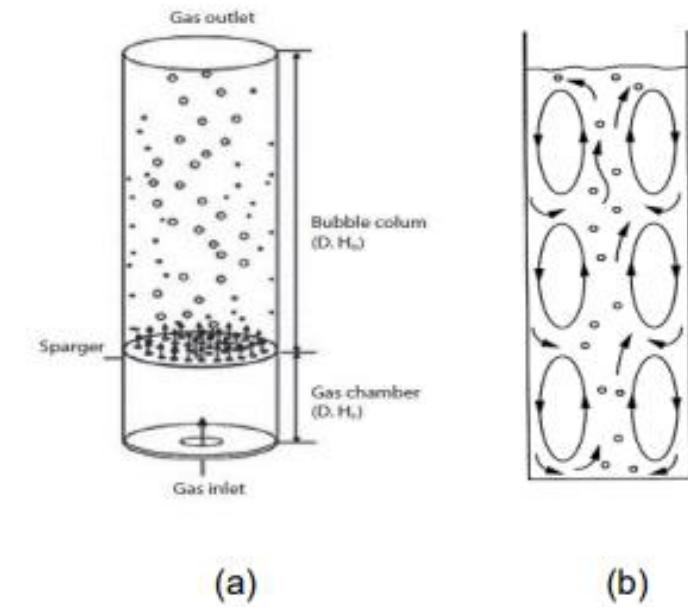
Bioreaktor kolom bergelembung merupakan reaktor tanpa pengadukan mekanis. Aerasi dan pencampuran dalam reaktor dilakukan dengan menyemburkan gelembung ke dalam cairan di dalam reaktor sehingga membutuhkan energi yang lebih kecil dibanding dengan pengadukan mekanis. Reaktor kolom bergelembung banyak digunakan di industri untuk produksi ragi roti, bir, dan cuka, serta untuk pengolahan air limbah.

Reaktor dilengkapi dengan sparger untuk masuknya udara bertekanan. Rasio tinggi : diameter sekitar 3: 1 banyak digunakan dalam produksi ragi roti, namun untuk aplikasi lain ada juga desain dengan rasio 6: 1. Plat berlubang (seperti tray) yang dipasang secara horizontal dapat ditambahkan untuk reaktor yang tinggi, guna memecah dan mendistribusikan kembali gelembung yang menyatu.

Keuntungan dari bioreaktor kolom bergelembung adalah biaya investasi rendah, sedikit bagian yang bergerak, serta perpindahan massa dan panas yang baik. Seperti pada tangki berpengaduk, timbulnya busa sering kali menjadi masalah, sehingga diperlukan pendispersi mekanis atau penambahan antibusa ke medium.

# BIOREAKTOR KOLOM BERGELEMBUNG (BUBBLE COLUMN BIOREACTOR)

Hidrodinamika kolom gelembung dan karakteristik perpindahan massa bergantung sepenuhnya pada perilaku gelembung yang keluar dari sparger. Rezim aliran yang berbeda dapat terjadi tergantung pada laju alir gas, desain sparger, diameter kolom, dan sifat-sifat medium seperti viskositas. Aliran homogen hanya terjadi pada laju aliran gas rendah dan jika gelembung yang keluar dari sparger dapat didistribusikan secara merata di seluruh penampang kolom. Dalam aliran homogen, semua gelembung naik dengan kecepatan yang sama ke atas dan hanya sedikit atau tidak ada gas balik. Pencampuran cairan yang baik dalam rezim aliran ini terbatas, hanya terjadi di sekitar keluarnya gelembung. Sebaliknya, pada kondisi operasi normal dimana laju alir gas tinggi, sel akan teraduk secara turbulen sehingga aliran heterogen terjadi seperti yang diilustrasikan pada Gambar 7.2(b). Dalam rezim ini, gelembung dan cairan cenderung naik ke tengah kolom sedangkan cairan yang bergerak ke bawah terjadi di dekat dinding.

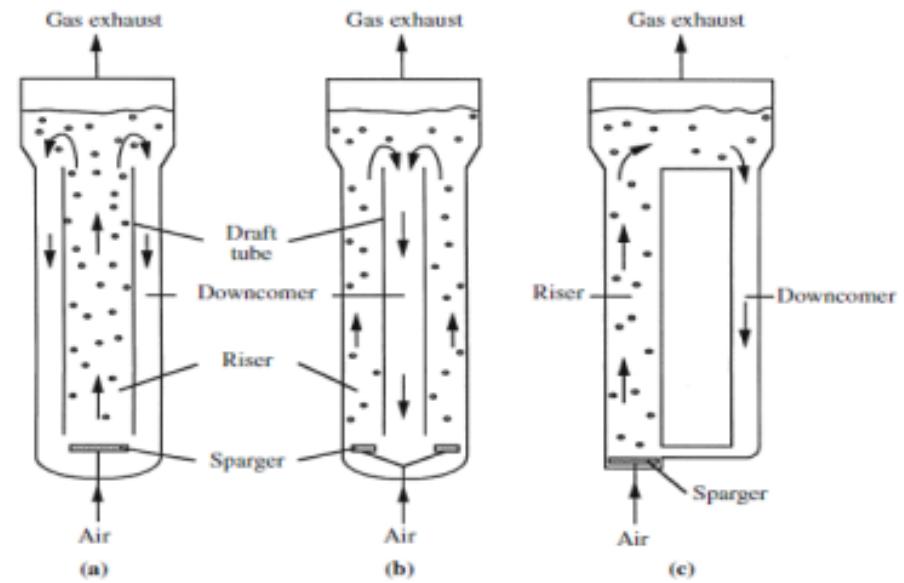


**Gambar 7.2.** (a) Bioreaktor kolom bergelembung (Singhal et al., 2018) dan (b)  
Aliran heterogen dalam kolom gelembung (Doran, 2016)

# BIOREAKTOR AIRLIFT

# BIOREAKTOR AIRLIFT

- Seperti pada bioreaktor kolom bergelembung, pencampuran dalam reaktor airlift dilakukan tanpa menggunakan pengadukan mekanis.
- Hal yang membedakan dengan reaktor kolom bergelembung terletak pada pola aliran cairan yang lebih spesifik, dengan adanya pembatas fisik antara aliran yang naik dan yang turun seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.3.
- Gas disemburkan pada bagian tertentu dari tangki, yang disebut dengan riser. Adanya gelembung gas dan penurunan densitas cairan menyebabkan cairan di riser bergerak ke atas.
- Ketika gelembung gas dilepas ke udara dari cairan pada bagian atas tangki, cairan yang bebas gelembung akan mengalir ke bawah melalui downcomer. Sirkulasi cairan ini timbul karena perbedaan densitas antara di bagian riser dan downcomer.

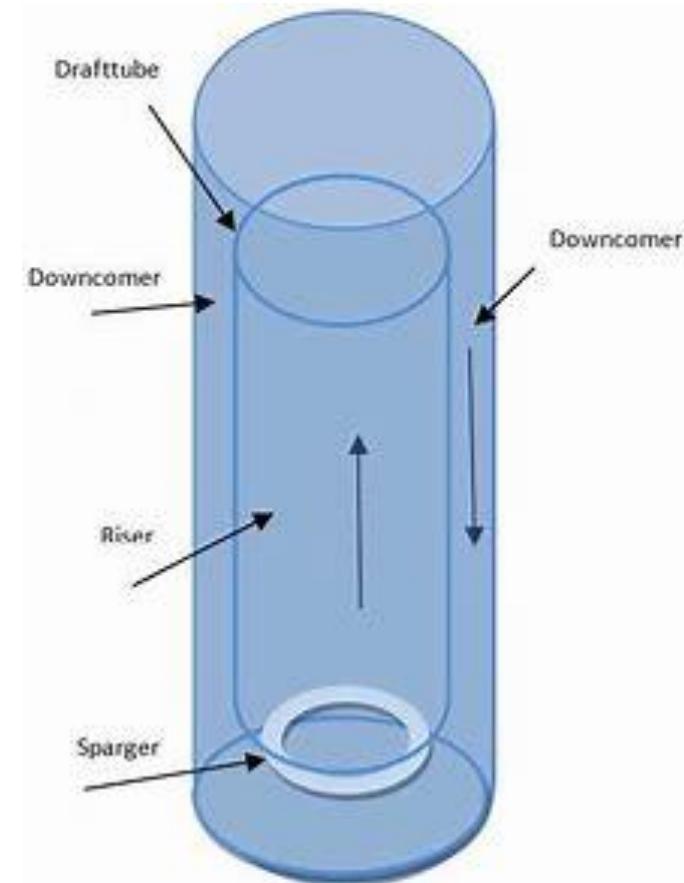


Gambar 7.3. Konfigurasi reaktor airlift: (a) dan (b) reaktor dengan loop internal; (b) loop eksternal (Doran, 2016)

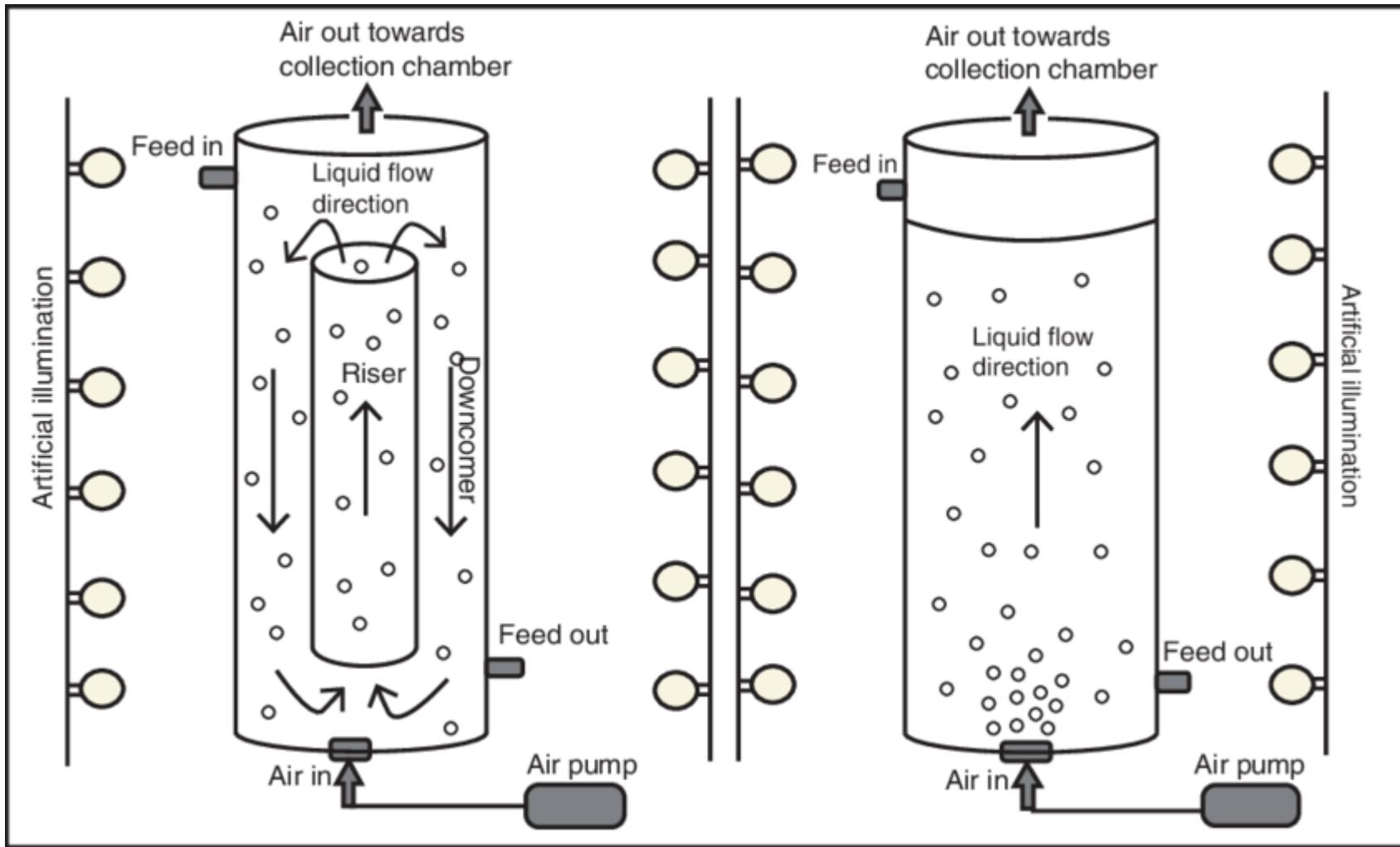
# BIOREAKTOR AIRLIFT

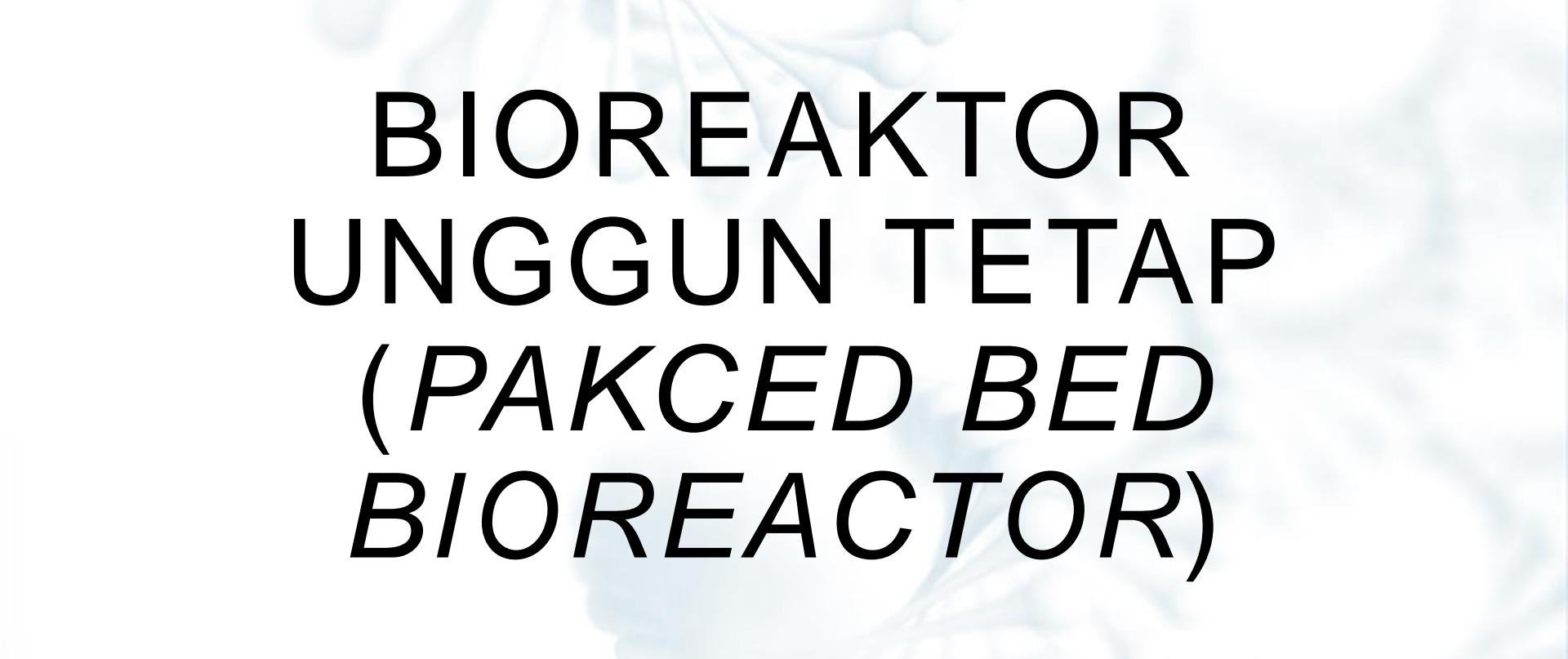
- Reaktor airlift pada umumnya memberikan efek pencampuran yang lebih baik dari pada reaktor kolom bergelembung, kecuali jika dioperasionalkan dengan kecepatan cairan yang rendah.
- Pola aliran cairan juga lebih stabil, penerapan laju aliran gas yang lebih tinggi dapat digunakan tanpa menimbulkan masalah seperti cairan yang mengalir perlahan ataupun percikan cairan.
- Reaktor airlift telah digunakan untuk berbagai aplikasi, seperti: produksi protein sel tunggal dari substrat methanol dan minyak bumi, pengolahan limbah kota dan industri, dan untuk kultivasi sel tumbuhan dan hewan. Reaktor airlift juga telah dibangun dengan kapasitas hingga ribuan meter kubik.
- Gas hold-up dan laju perpindahan massa cairan gas di loop internal airlifts serupa dengan yang ada di kolom gelembung. Namun, pada loop eksternal, hampir seluruh gelembung terlepas di bagian atas tangki sehingga menurunkan gas hold up. Perpindahan massa lebih rendah pada laju alir gas yang sama dengan kolom gelembung. Oleh karena itu, identic dengan Persamaan. (7.3), maka perpindahan massa udara di reactor airlift dengan loop eksternal:

$$k_{La} < 0,32 U_G^{0,7}$$



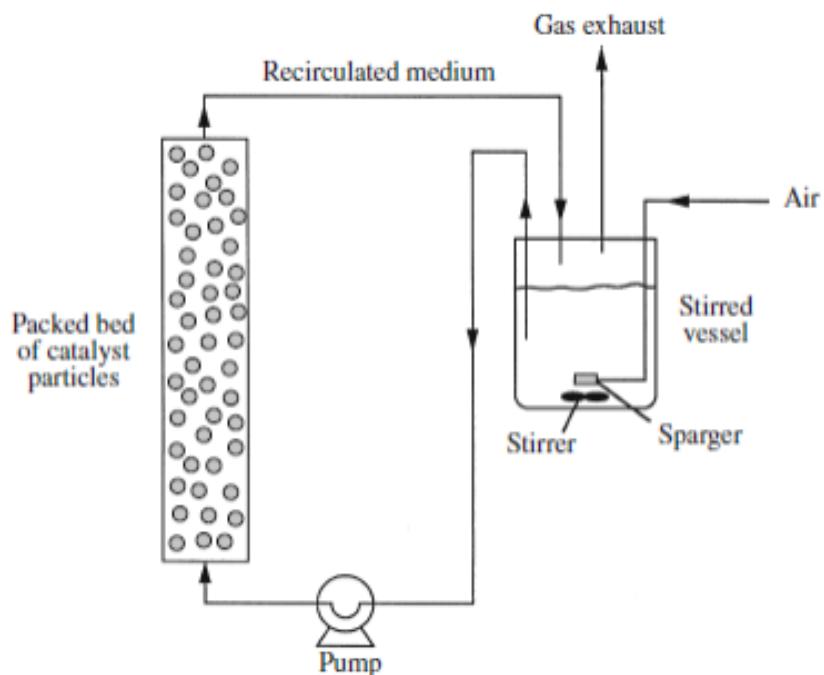
# BIOREAKTOR AIRLIFT





# **BIOREAKTOR UNGGUN TETAP *(PAKCED BED BIOREACTOR)***

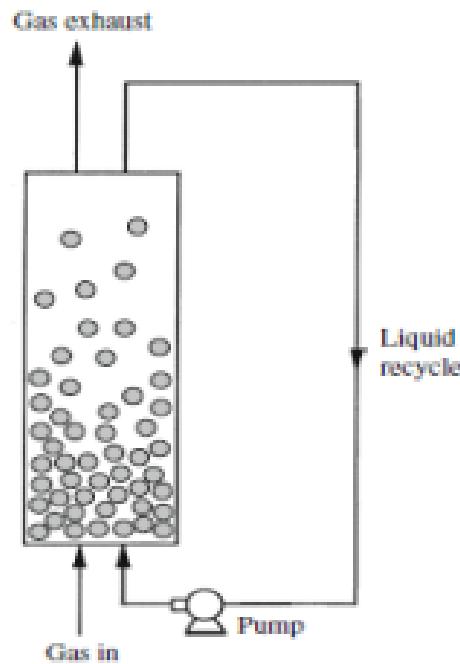
# BIOREAKTOR UNGGUN TETAP (PAKCED BED BIOREACTOR)



- Reaktor unggun terdiri dari sebuah kolom yang diisi dengan biokatalis terimobilisasi. Substrat dapat diumpulkan baik melalui bagian atas atau bawah kolom. Kerusakan biokatalis akibat gesekan antar partikel dapat diminimalkan dalam reaktor unggun tetap dibandingkan dengan reaktor dengan pengadukan mekanik. Reaktor unggun tetap telah diaplikasikan secara komersial dengan menggunakan sel ataupun enzim terimobilisasi untuk produksi berbagai produk seperti aspartat dan fumarat, konversi penisilin menjadi asam 6-aminopenicillanic acid, dan isomer asam amino
- Perpindahan massa dari substrat cair ke biokatalis padat dan sebaliknya terjadi oleh adanya laju aliran cairan yang melalui unggun. Untuk tujuan tertentu, reaktor unggun tetap sering dioperasikan dengan mensirkulasi substrat cair seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.4. Biokatalis ditahan dengan penyaring sehingga tidak keluar dari kolom. Media yang disirkulasi harus bersih dan bebas dari kotoran yang dapat menganggu kerja unggun biokatalis. Jika diperlukan aerasi maka pada umumnya dilakukan di tangki yang terpisah. Jika aerasi dilakukan dalam kolom yang berisi unggun tetap maka akan terjadi penyatuhan gelembung udara sehingga menghasilkan kantong gas diantara partikel serta distribusi gas/substart yang tidak baik.

**BIOREAKTOR  
UNGGUN  
TERFLUIDISASI  
(*FLUIDIZED BED  
BIOREACTOR*)**

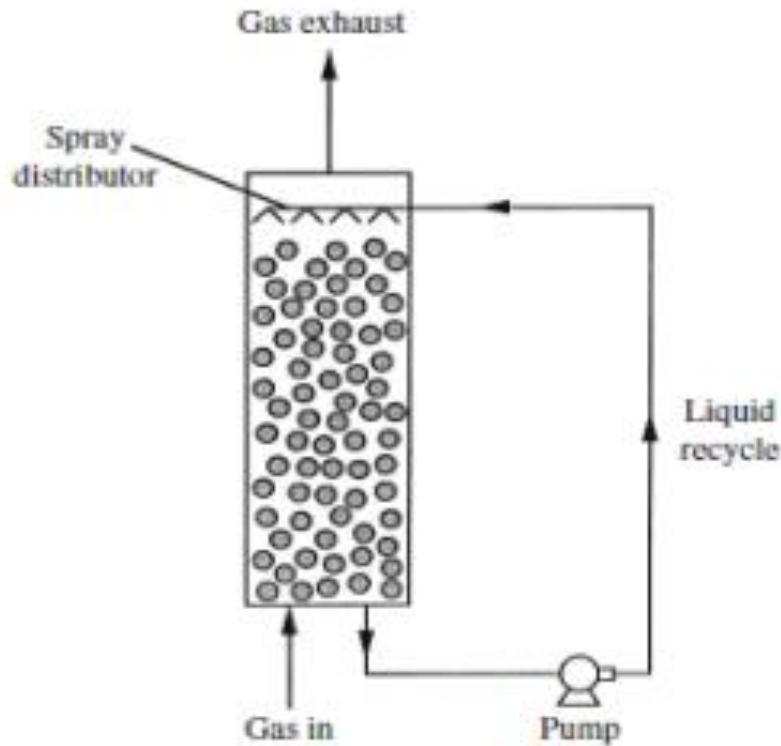
# BIOREAKTOR UNGGUN TERFLUIDISASI (*FLUIDIZED BED BIOREACTOR*)



- Jika bioreaktor unggun tetap dioperasikan dengan aliran cairan ke atas maka partikel biokatalis terimobilisasi akan mengembang dan terangkat hingga tinggi tertentu mengikuti aliran cairan. Bioreaktor ini dikenal dengan bioreaktor unggun terfluidisasi, seperti ditampilkan pada Gambar 7.5. Karena partikel dalam unggun terfluidisasi bergerak konstan, maka penyumbatan unggun dan flow channeling dapat dihindari. Reaktor unggun terfluidisasi banyak digunakan dalam pengolahan limbah yang berisi campuran lumpur atau bahan pendukung lainnya untuk melekatnya populasi mikroba. Bioreaktor ini juga digunakan untuk organisme dalam bentuk terflokulasi untuk pembuatan bir dan produksi cuka.

# **BIOREAKTOR TRICKLE BED**

# BIOREAKTOR TRICKLE BED



- Bioreaktor trickle bed merupakan variasi dari reaktor unggun tetap seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 7.6. Cairan disemprotkan ke bagian atas unggun tetap dan mengalir ke bawah melalui unggun dalam bentuk aliran-aliran kecil. Udara dapat diumpankan dari bagian bawah kolom karena cairan tidak menutupi di seluruh area di dalam kolom. Udara atau gas lainnya yang diumpankan ke kolom dapat bergerak dengan mudah di sekitar unggun. Bioreaktor trickle bed banyak digunakan untuk pengolahan air limbah secara aerobik.

# **FOTOBIOREAKTOR (PHOTOBIOREACTOR)**

# FOTOBIOREAKTOR (PHOTOBIOREACTOR)



(a)



(b)

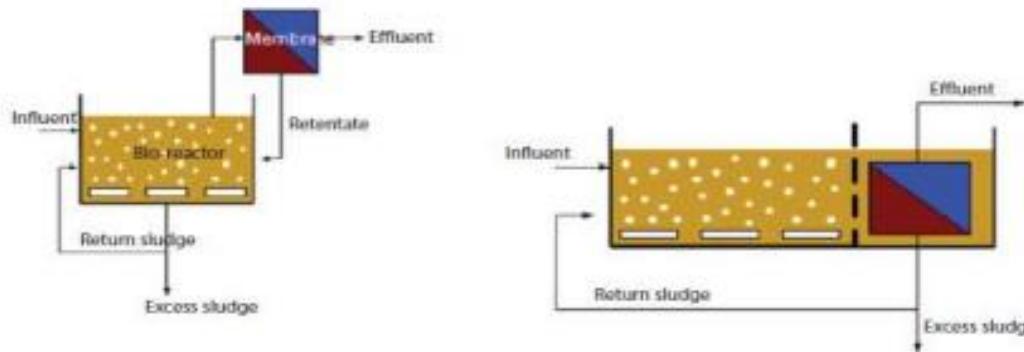
APAKAH PERBEDAAN KEDUA  
GAMBAR TERSEBUT?

# FOTOBIOREAKTOR (PHOTOBIOREACTOR)

- **Fotobioreaktor** adalah sebuah sistem bioreaktor yang digunakan untuk tempat kultivasi mikroalga secara monokultur. Sistem ini menjamin tersedianya cahaya dan nutrisi yang masuk ke dalam bioreaktor untuk mendorong pertumbuhan mikroalga yang ada di dalam fotobioreaktor. Fotobioreaktor dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu :
- **Fotobioreaktor sistem tertutup (Gambar B)** Fotobioreaktor sistem tertutup menggunakan bioreaktor yang dirancang khusus untuk menumbuhkan alga. Sumber cahaya yang digunakan pada fotobioreaktor sistem tertutup dapat berasal dari sumber cahaya alami (matahari) ataupun sumber cahaya buatan seperti lampu LED. Fotobioreaktor sistem tertutup memiliki beberapa keunggulan daripada sistem terbuka.
- **Fotobioreaktor sistem terbuka (Gambar A).** Pada kultivasi mikroalga menggunakan sistem terbuka, dilakukan dengan menggunakan kolam-kolam. Sumber cahaya yang digunakan berasal dari sumber cahaya alami (matahari).

# **BIOREAKTOR MEMBRAN**

# BIOREAKTOR MEMBRAN



**Gambar 7.8.** Diagram bioreaktor membran (Singhal *et al.*, 2018)

- Bioreaktor membran (Membrane Bioreactor; MBR) telah digunakan sejak tahun 90-an. Bioreaktor ini menggabungkan sistem pengolahan konvensional dengan sistem filtrasi melalui membran untuk pemisahan bahan organik dan padatan tersuspensi ataupun nutrisi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.8. Membran dalam sistem MBR terendam dalam reaktor biologis yang diaerasi. Ukuran pori membran berkisar dari 0,035 mikron hingga 0,4 mikron. Setelah pertengahan 90-an, dengan berkembangnya sistem MBR aplikasinya meluas dan berkembang pesat baik dalam penelitian maupun aplikasi secara komersial diantaranya digunakan dalam pengolahan air limbah dari beberapa sumber.

# APLIKASI BIOREAKTOR

- **Ghasem (2007)** menyatakan jika ingin mendesain bioreaktor, maka perlu dilakukan beberapa pertimbangan seperti:
  - a. Konfigurasi reaktor : Apakah reaktor dalam bentuk berpengaduk? atau memiliki sparger? atau tanpa agitasi?
  - b. Ukuran reaktor : Seberapa besar ukuran yang diperlukan agar memperoleh kecepatan reaksi sesuai harapan?
  - c. Kondisi operasi : Seperti apa kondisi operasi saat terjadinya reaksi? bagaimana mengontrolnya? bagaimana kontaminan dapat dihilangkan?
  - d. Mode operasi : Apakah operasi dalam keadaan batch? feed batch? kontinyu? apakah reaktor dalam keadaan seri
- **Ghasem (2007)** juga menyatakan bahwa terdapat tiga grup bioreaktor yang biasa ditemui dalam bidang industri bioproses:
  1. Sistem tanpa aerasi dan tanpa pengadukan : terdapat sekitar 70%
  2. Sistem aerasi, tanpa pengadukan : terdapat sekitar 10%
  3. Sistem aerasi dan pengadukan : terdapat sekitar 30%

Vessel sistem aerasi tanpa pengadukan biasa digunakan dalam industri tradisional seperti industri keju, wine, dan beer. Sebagian besar teknologi bioproses modern saat ini membutuhkan pertumbuhan mikroba dalam kondisi aerasi dan pengadukan.

# IMOBILISASI SEL



Pemilihan media  
imobilisasi  
berdasarkan

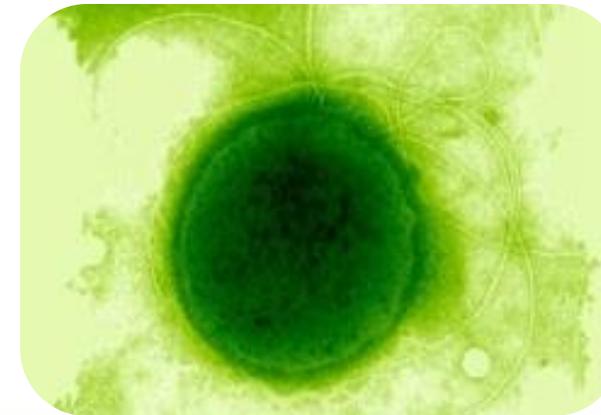


Luas area, sulit didegradasi,  
ketahanan mekanis, prosedur  
imobilisasi sederhana.

Faktor mempengaruhi  
pelekatan  
mikroorganisme pada  
media



Tekstur permukaan



Hidrofobisitas

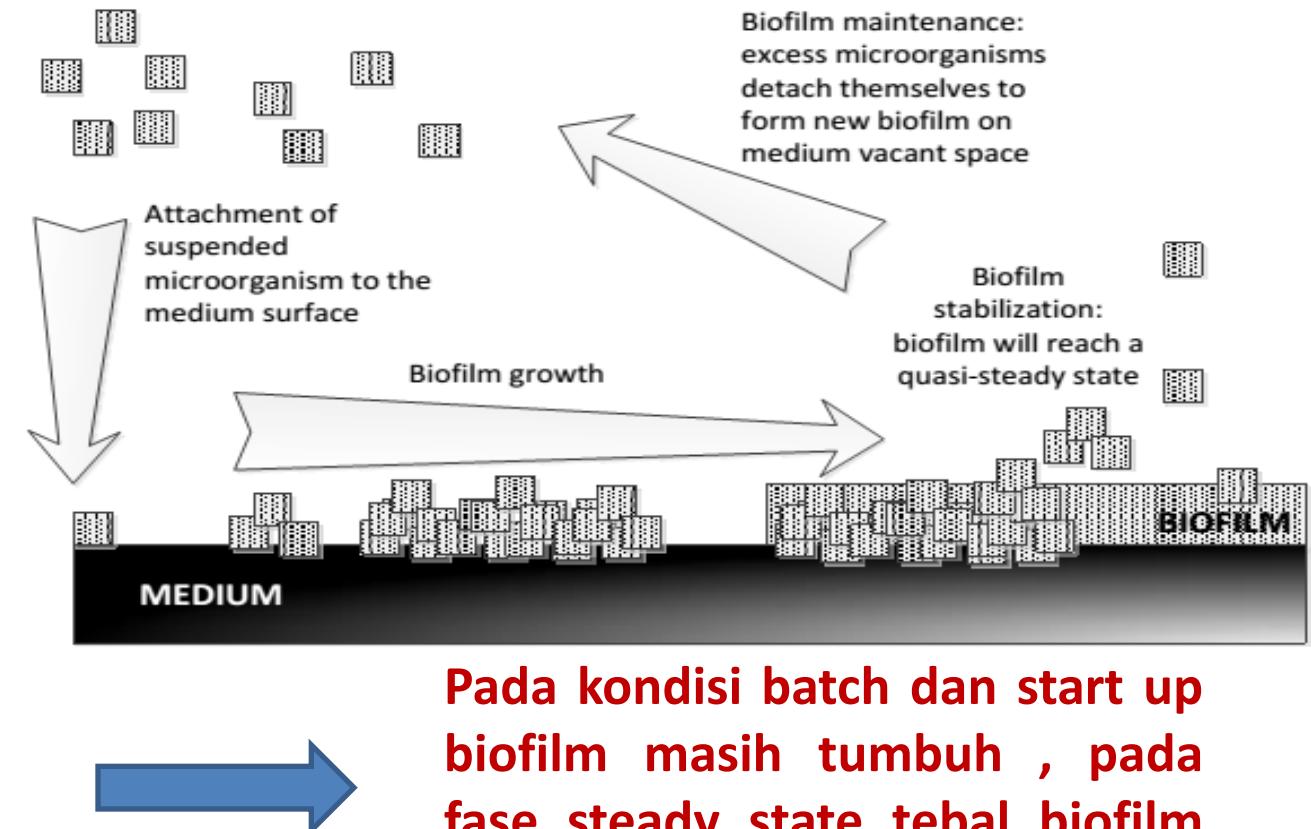




## Siklus Biofilm

Biofilm terdiri dari :

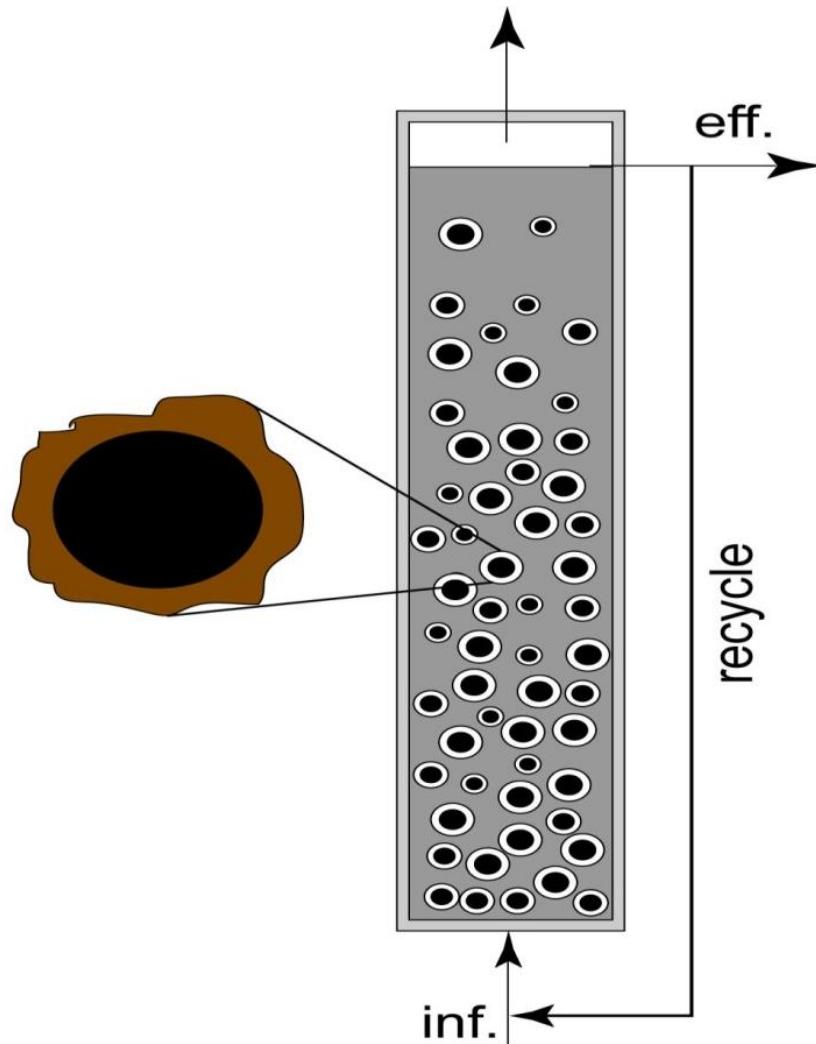
1. Static biofilm  
digunakan pada fixed bed reactor
2. Suspended carrier (partikulat biofilm)  
Digunakan pada Fluidized Bed Reactor,  
Expanded Bed Reactor



Pada kondisi batch dan start up  
biofilm masih tumbuh , pada  
fase steady state tebal biofilm  
sudah konstan



## FLUIDIZED REACTOR

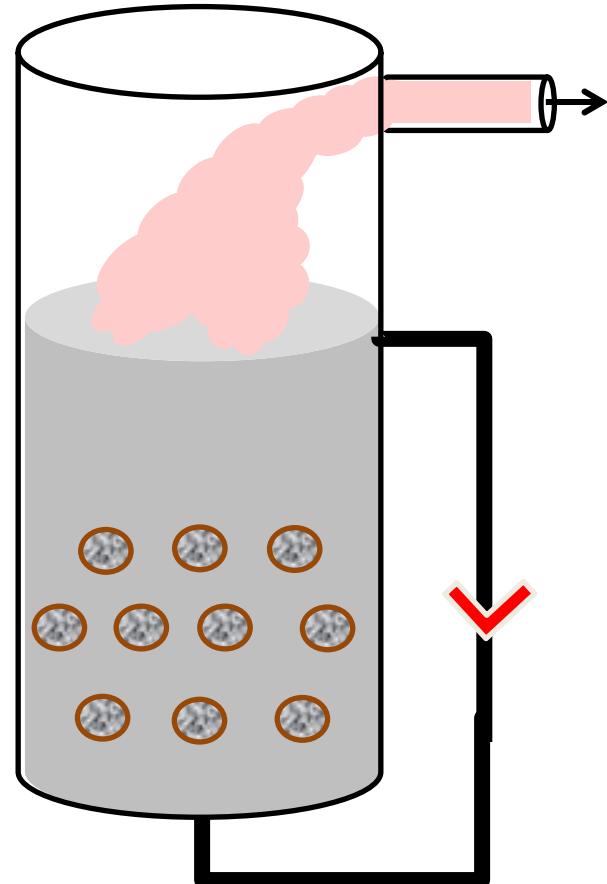


- Terdapat media yang terfluidisasi sebagai biofilm berbentuk partikulat
- Dapat dioperasikan pada laju alir tinggi
- Dapat mereduksi volume dan waktu tinggal
- Tahan terhadap beban organik tinggi
- Biomassa terfluidisasi dalam cairan sehingga memperbesar ruang kontak dengan substrat

### Kelemahan :

- Sulit mengontrol ketebalan biofilm
- Waktu start up yang relatif lama
- Dapat menimbulkan efek clogging jika fluidisasi media tidak merata
- Pengaturan upflow velocity harus tepat untuk menghindari wash out

# FASE DALAM PENELITIAN INI



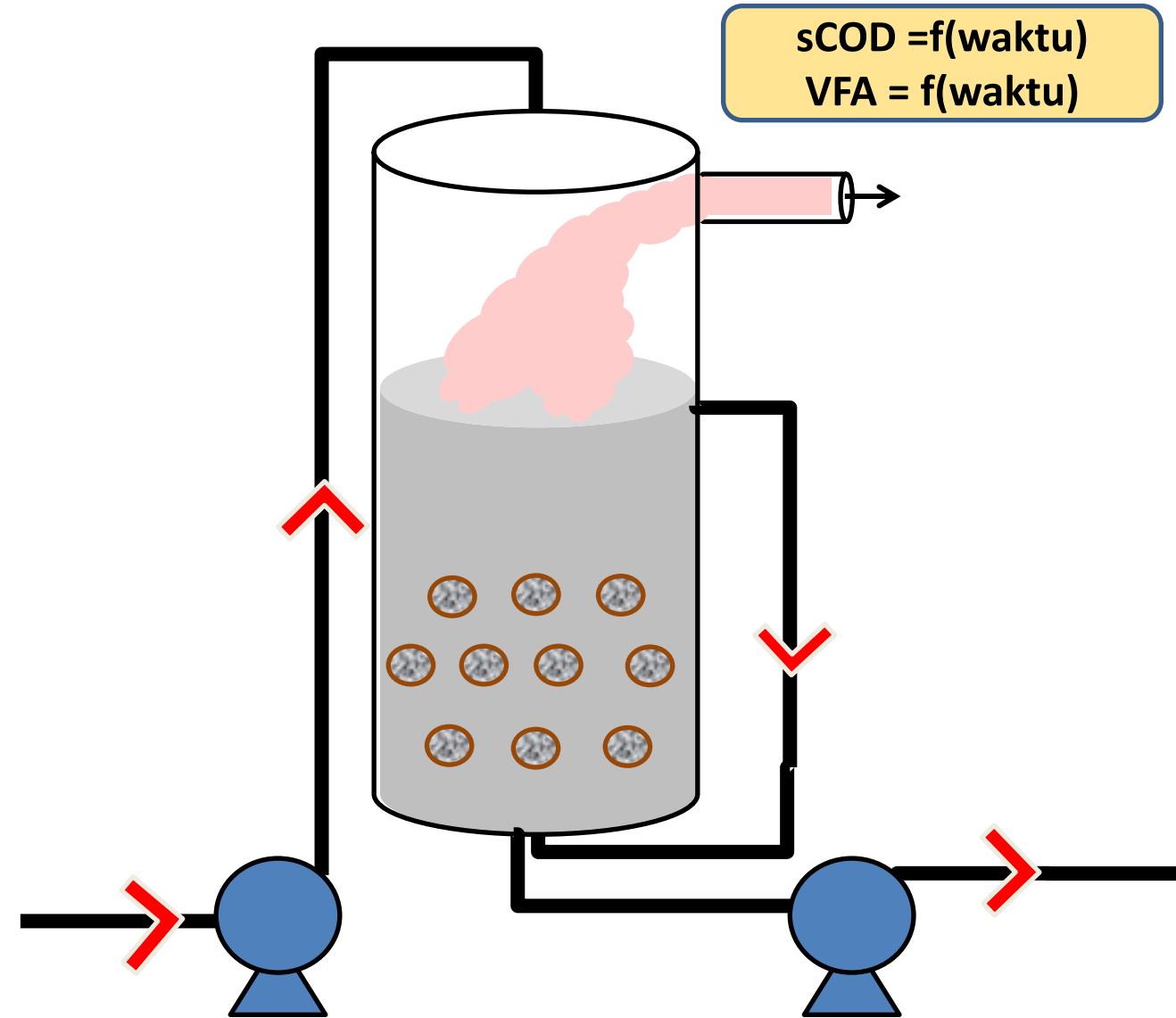
## Fase *Batch*

tahapan di mana reaktor  
dioperasikan sebagai reaktor batch  
tanpa input dan output



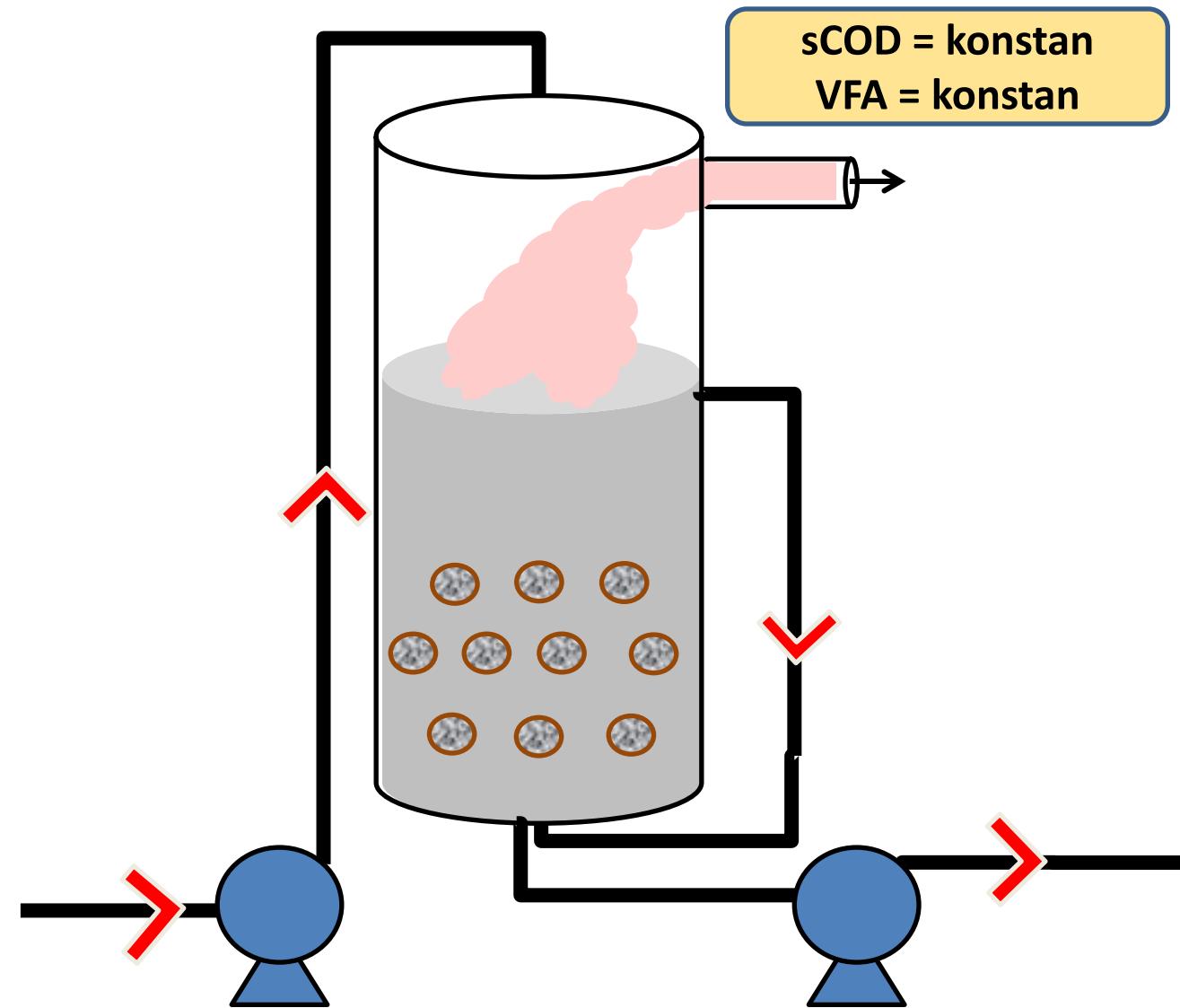
## Fase Start Up

Pada tahap *start up* ini, konsentrasi efluen reaktor (sCOD dan VFA), dan kecepatan produksi biogas masih merupakan fungsi waktu.





# Fase Steady State



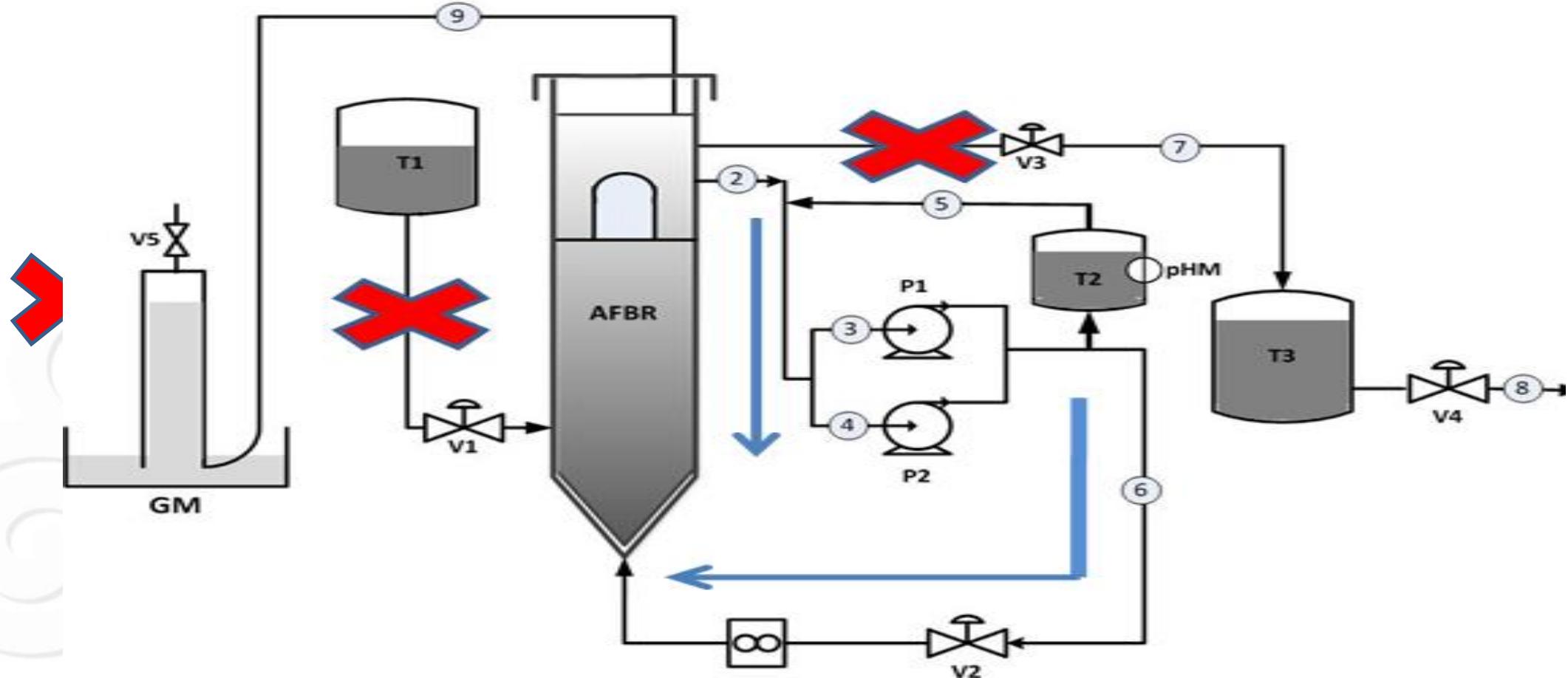
Pada tahap *steady state* ini, konsentrasi efluen reaktor (sCOD dan VFA), dan kecepatan produksi biogas tidak fungsi waktu.

Asumsi yang diambil dalam penyusunan model ini adalah :

1. Sistem merupakan perfect mixing
2. Pada fase batch dan start up merupakan masa pertumbuhan biofilm, fase steady ketebalan biofilm konstan

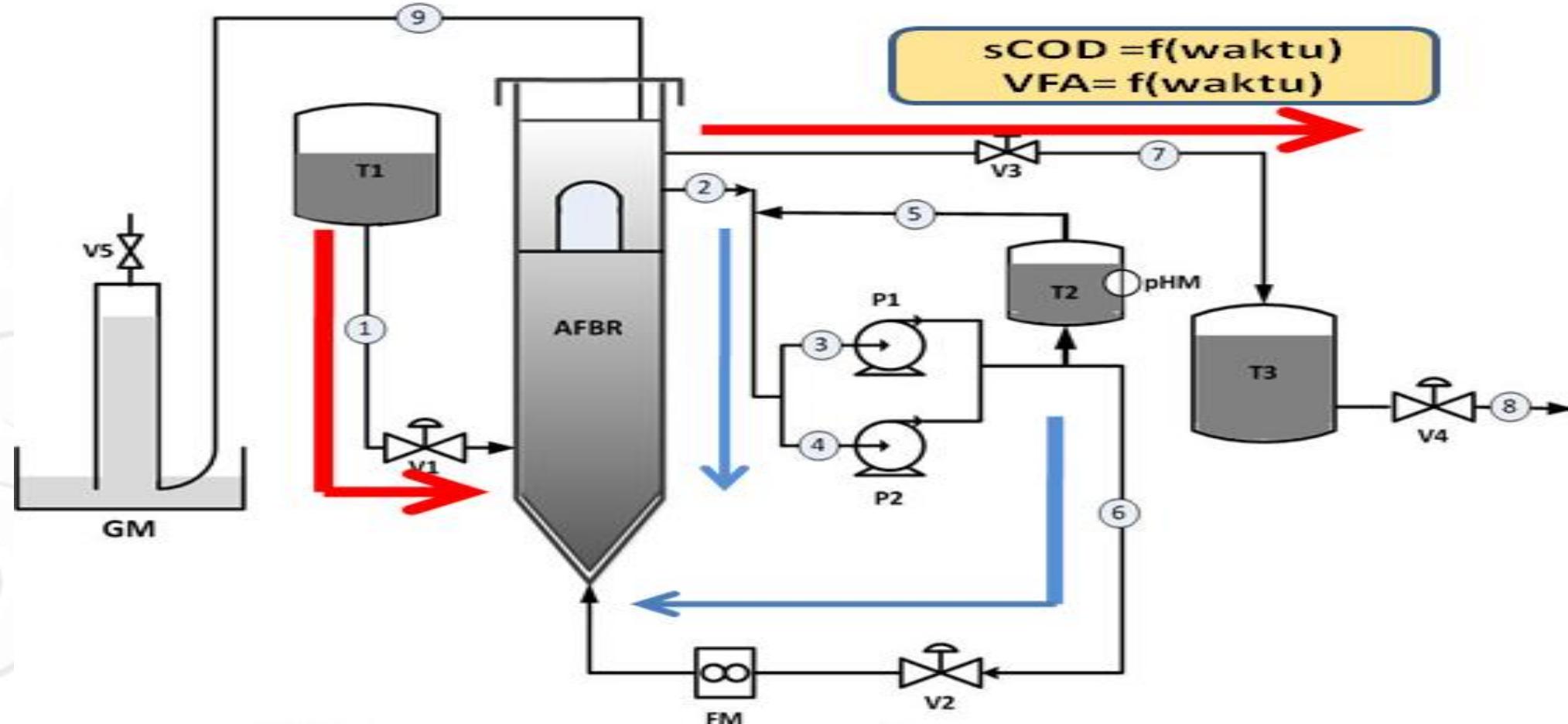


# FASE BATCH



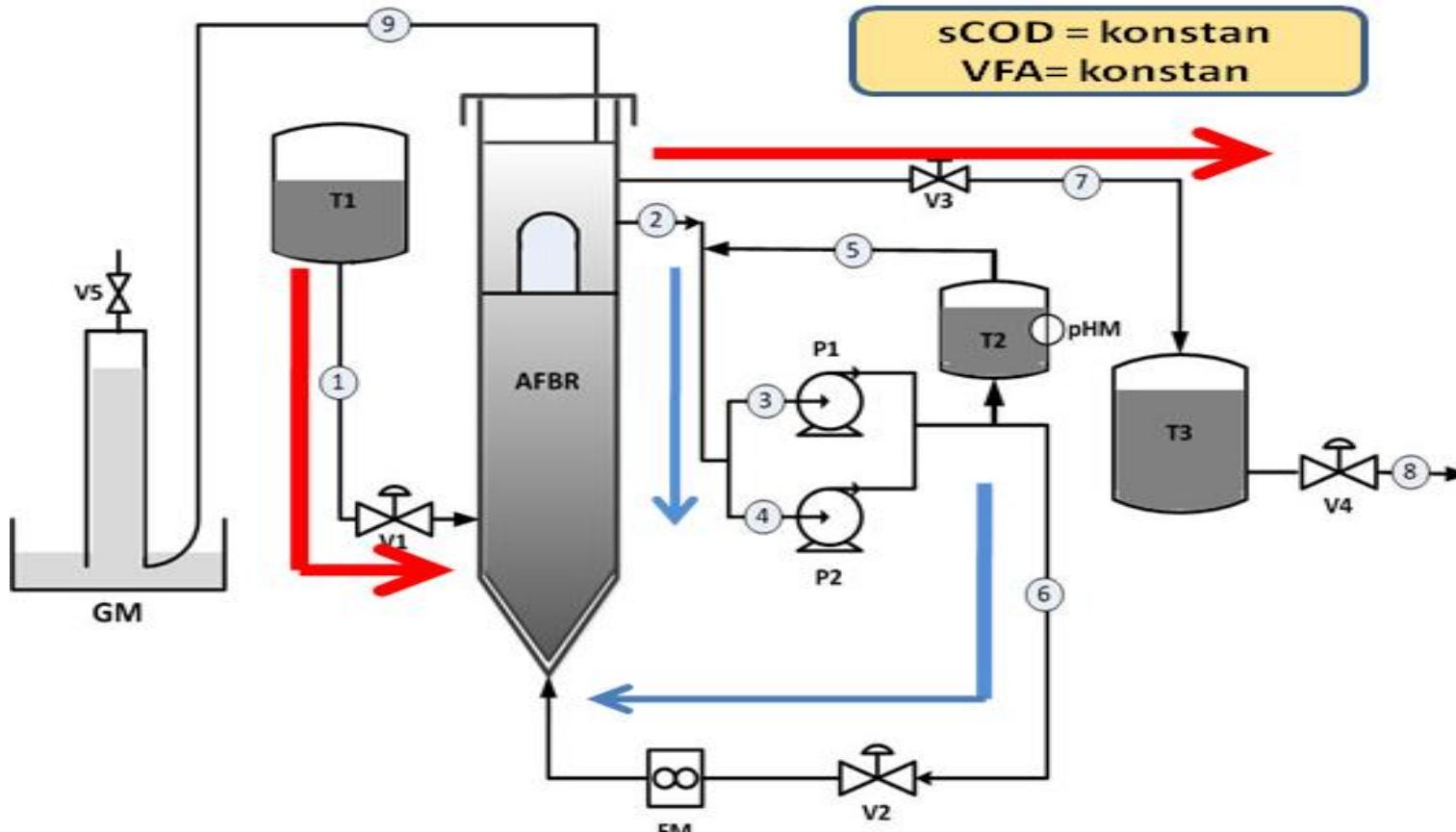


# FASE START UP



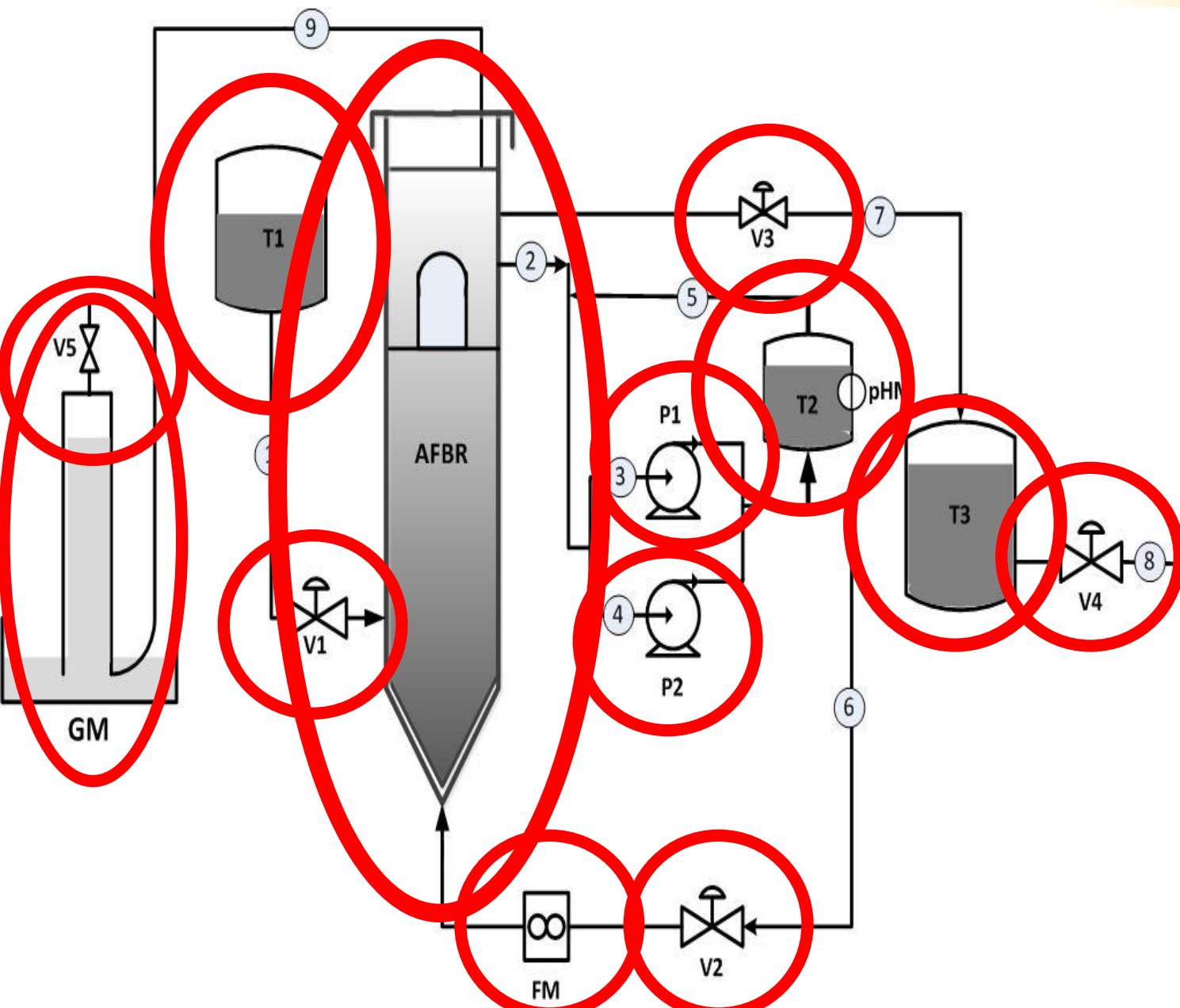


# FASE STEADY STATE



Kondisi steady state ditandai dengan nilai penurunan sCOD dan VFA serta kecepatan produksi biogas yang konstan hal ini disebabkan konsentrasi mikroorganisme sudah konstan dan biofilm sudah stabil

# RANGKAIAN REAKTOR

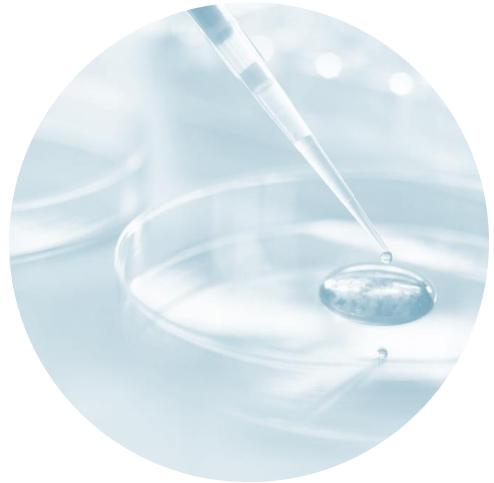


## Keterangan :

AFBR	: Anaerobic Fluidized Bed Reactor
T1	: Influent tank
T2	: Tangki sirkulasi
T3	: effluent tank
P1	: Pompa sirkulasi 1
P2	: Pompa Sirkulasi 2
V1	: Valve mengatur arus influent
V2	: Valve mengatur arus masuk ke reaktor
V3	: Valve mengatur arus menuju tangki effluent
V4	: Valve mengatur arus keluar dari tangki effluent
V5	: Valve penyumbat gas keluar pengukur gas
GM	: Gas Meter
FM	: Flow Meter

## Keterangan :

Arus 1	: Arus Influent dari tangki influent
Arus 2	: Arus hisap dari reaktor
Arus 3	: Arus masuk pompa sirkulasi 1
Arus 4	: Arus masuk pompa sirkulasi 2
Arus 5	: Arus masuk recycle ke reaktor
Arus 6	: Arus masuk ke reaktor
Arus 7	: Arus menuju ke tangki effluent
Arus 8	: Arus keluar dari tangki effluent
Arus 9	: Arus gas ke pengukur gas



THANK YOU

