

Perancangan Reaktor

Lec. 9

Fundamentals

- Reaktor kimia adalah sebuah alat industri kimia, dimana terjadi reaksi bahan mentah menjadi hasil jadi yang lebih berharga.
- Reaktor kimia adalah bagian terpenting dari setiap pabrik

Tujuan utamanya adalah untuk menghasilkan produk yang diinginkan pada laju reaksi tertentu dari suatu reaktan

How to proceed:

- 1- Tipe reaktor dan metode operasinya
- 2- Kondisi fisik dari reaktan yang dimasukkan

DASAR PEMILIHAN REAKTOR

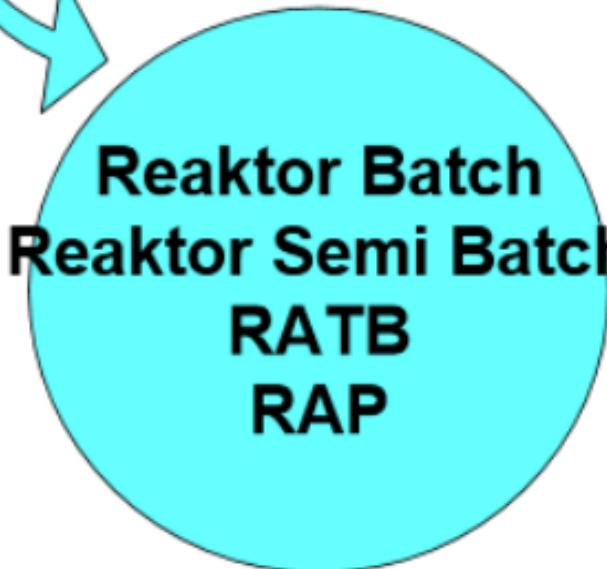
- Mendapat keuntungan yang besar
- Biaya produksi rendah
- Modal kecil/volume reaktor minimum
- Operasinya sederhana dan murah
- Keselamatan kerja terjamin
- Polusi terhadap sekelilingnya (lingkungan) dijaga sekecil-kecilnya

Pemilihan Jenis Reaktor Dipengaruhi oleh

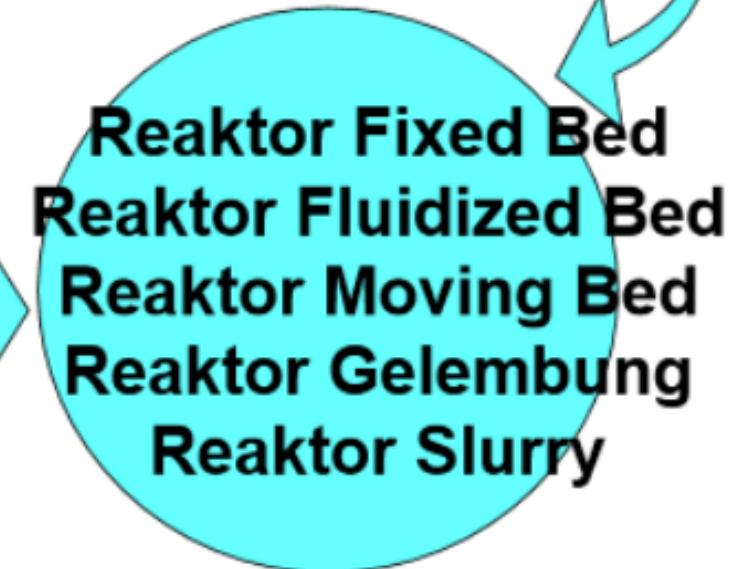
1. Ukuran Reaktor : volume dan dimensi penting lainnya
2. Fase zat pereaksi dan hasil reaksi
3. Tipe reaksi dan persamaan kecepatan reaksi, serta ada tidaknya reaksi samping
4. Suhu di dalam reaktor
5. Tekanan operasi dan keberadaan pressure drop pada inlet atau outlet campuran
6. Komposisi dan kondisi fisik produk
7. Kapasitas produksi
8. Harga alat (reaktor) dan biaya instalasinya
9. Kemampuan reaktor untuk menyediakan luas permukaan yang cukup untuk perpindahan panas

Dasar-Dasar Perancangan Reaktor

Reaksi Homogen



Reaksi Heterogen



Memilih Tipe Reaktor dan Menentukan Kondisi Operasi

Menghitung Ukuran Reaktor

Rancangan Reaktor

Jenis Reaktor Berdasarkan Keadaan Operasinya

1. Reaktor Isothermal

Jika umpan yang masuk, campuran dalam reaktor, aliran yang keluar dari reaktor selalu seragam dan bersuhu sama

2. Reaktor Adiabatis

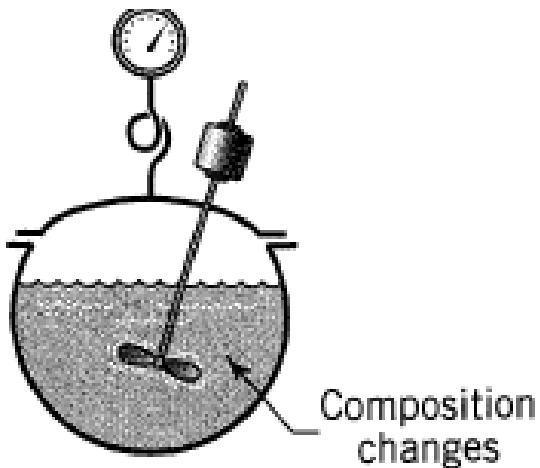
Jika tidak ada perpindahan panas antara reaktor dan sekelilingnya. Bila reaksinya eksotermis, maka panas yang terjadi karena reaksi dapat dipakai untuk menaikkan suhu campuran di reaktor (K naik dan $-r_A$ besar sehingga waktu reaksi menjadi lebih pendek)

3. Reaktor Non-Adiabatis

Ada perpindahan panas antara reaktor dan sekelilingnya

Reaktor Batch

tempat terjadinya reaksi kimia tunggal dengan hanya satu persamaan laju reaksi.



- Reaktan mula-mula dimasukkan ke dalam reaktor, kemudian akan bercampur dengan sempurna dan akan bereaksi selama waktu tertentu. Produk yang dihasilkan kemudian akan dikeluarkan dari reaktor.
- Keadaannya unsteady, dimana komposisi akan berubah setiap waktu namun seragam di setiap titik reaktor pada waktu yang sama.

Penggunaan : sangat cocok digunakan untuk produksi berkapasitas kecil misal dalam proses pelarutan padatan, pencampuran produk, kristalisasi, distilasi batch, ekstraksi cair-cair, polimerisasi, farmasi dan fermentasi

Reaktor Batch



Fermentation Reactor

Image Copyright PSE @ USYD

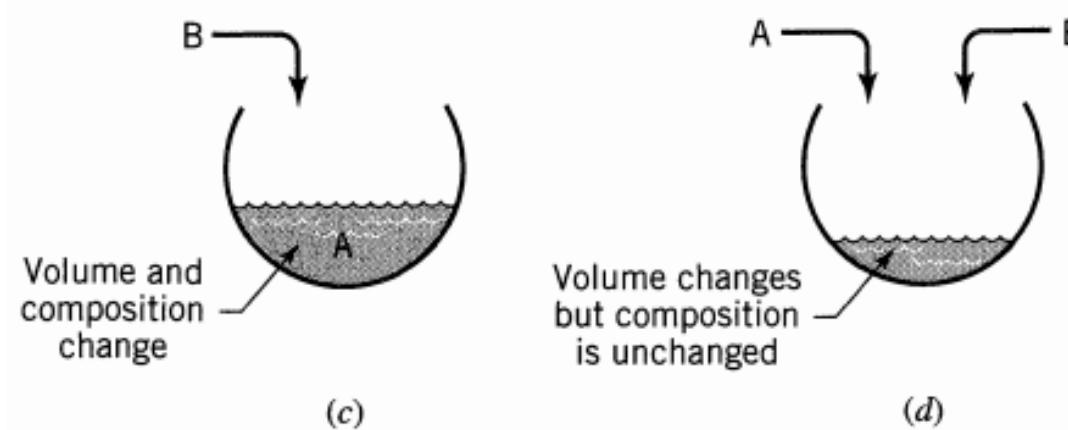
+

- Sederhana, biaya atau harga instrumentasi rendah
- Fleksibel, artinya dapat dihentikan secara mudah dan cepat, kapan saja diinginkan.
- Penggunaan yang multifungsi, reaktor ini dapat digunakan untuk reaksi yang menggunakan campuran kuat dan beracun, serta bersifat radioaktif.
- Mudah dibersihkan.
- Dapat menangani reaksi dalam fase gas, cair dan cair-padat.

Kelemahan penggunaan reaktor batch :

- Biaya buruh dan *handling tinggi*.
- Kadang-kadang waktu *shut downnya besar*, yaitu waktu untuk mengosongkan, membersihkan dan mengisi kembali.
- Pengendalian kualitas dari produk jelek atau susah.
- Skala produksi yang kecil.
- Tidak begitu baik untuk reaksi fase gas (mudah terjadi kebocoran pada lubang pengaduk)

Reaktor Semi-batch

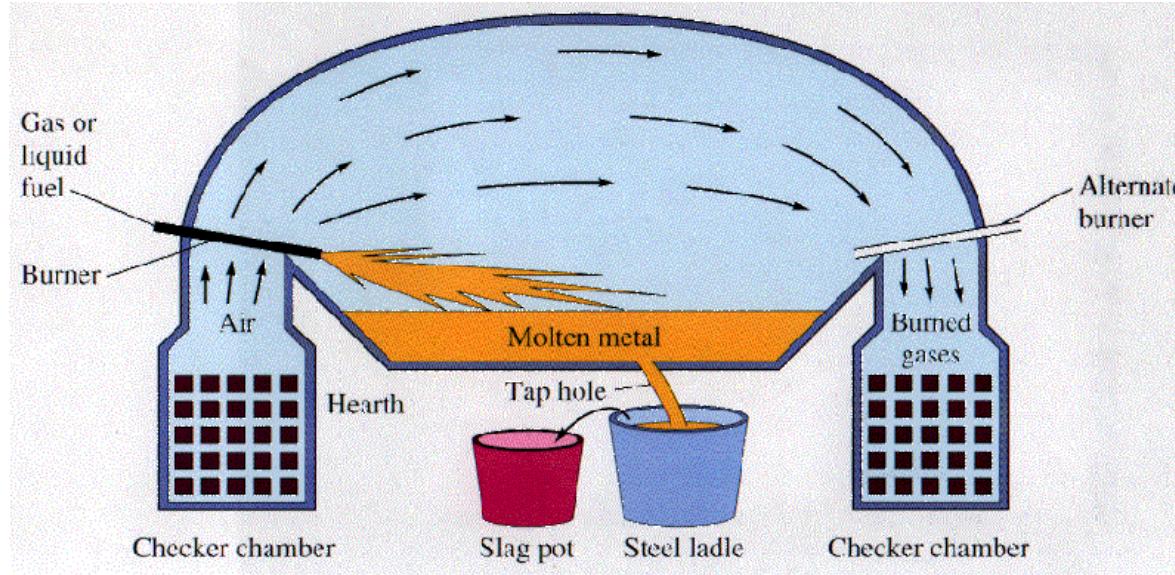


Perbedaan utama dari reaktor batch adalah salah satu atau kedua reaktan ditambahkan perlahan selama reaksi terjadi.

Reaktan masuk ke dalam reaktor secara kontinyu dan bereaksi di dalamnya.

Selama reaksi ini berlangsung tidak ada campuran reaksi (reaktan dan produk) yang meninggalkan reaktor tersebut

Penggunaan : dapat digunakan untuk reaksi homogen maupun heterogen, terlebih untuk reaksi eksotermik, sistem titrasi kalorimetri, *open hearth furnace* pada industri baja, dll.



open hearth furnace pada industri baja

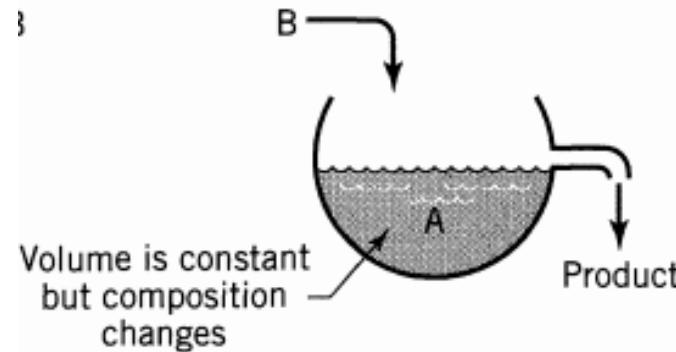
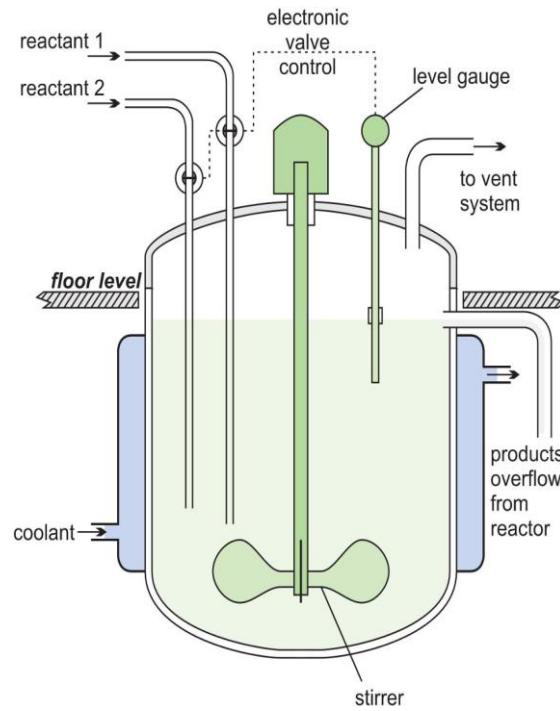
+

- Fleksibel
- Dapat mengontrol kecepatan reaksi dengan mudah dengan mengatur laju input reaktan

-

- Sistem lebih sulit untuk dianalisa

Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB)



Reaktor 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

Beberapa aspek penting dalam CSTR :

1. Dalam keadaan *steady-state*, fluida yang masuk harus sama dengan fluida yang keluar
2. Semua kalkulasi yang dilakukan CSTR diasumsikan sebagai pencampuran sempurna
3. Untuk mendapatkan hasil yang lebih banyak dalam waktu yang sama, dapat dilakukan dengan memparalelkan CSTR ini

Penggunaan : digunakan pada reaksi homogen di mana semua bahan baku dan katalisnya berfase cair, atau reaksi antara cair dan gas dengan katalis cair.

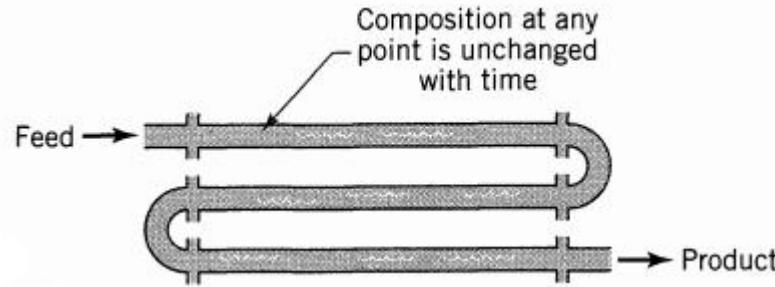
+

- Operasi dalam keadaan tetap menyebabkan peralatan produksi lebih stabil
- Penggunaan energi yang kualitasnya meningkat
- Produktivitas yang lebih tinggi
- Campuran lebih rata karena penggunaan teknik pengadukan

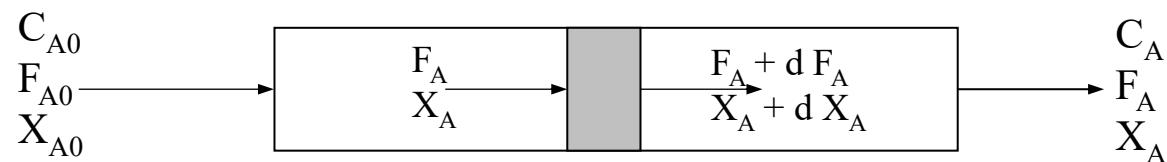
-

- Rata-rata reaksi volumetrik yang lebih rendah akan menghasilkan produktivitas rendah.
- Timbul endapan di dasar akibat gaya sentrifugal CSTR
- Tidak dapat merubah grade dari RTD profile sesering mungkin karena dapat mengurangi fleksibilitas reaktor
- Biaya tinggi, semakin besar CSTR yang digunakan atau semakin banyak CSTR kecil yang digunakan semakin besar biaya yang dikeluarkan
- Waktu menunggu (proses) yang lebih lama

Reaktor Alir Steady-State (PFR)



Dalam reaktor PFR, pencampuran hanya terjadi pada bidang lateral. Syarat utama dari sistem reaktor PFR adalah residence time (waktu tinggal) untuk setiap elemen fluida harus sama.



Konsentrasi di dalam reaktor bervariasi sepanjang reaktor
Waktu tinggal (τ) = Waktu yang dibutuhkan reaktan
melalui reaktor

Penggunaan : biasanya untuk reaksi fase gas, namun juga baik untuk reaksi fase cair, industri minyak dan gas bumi.

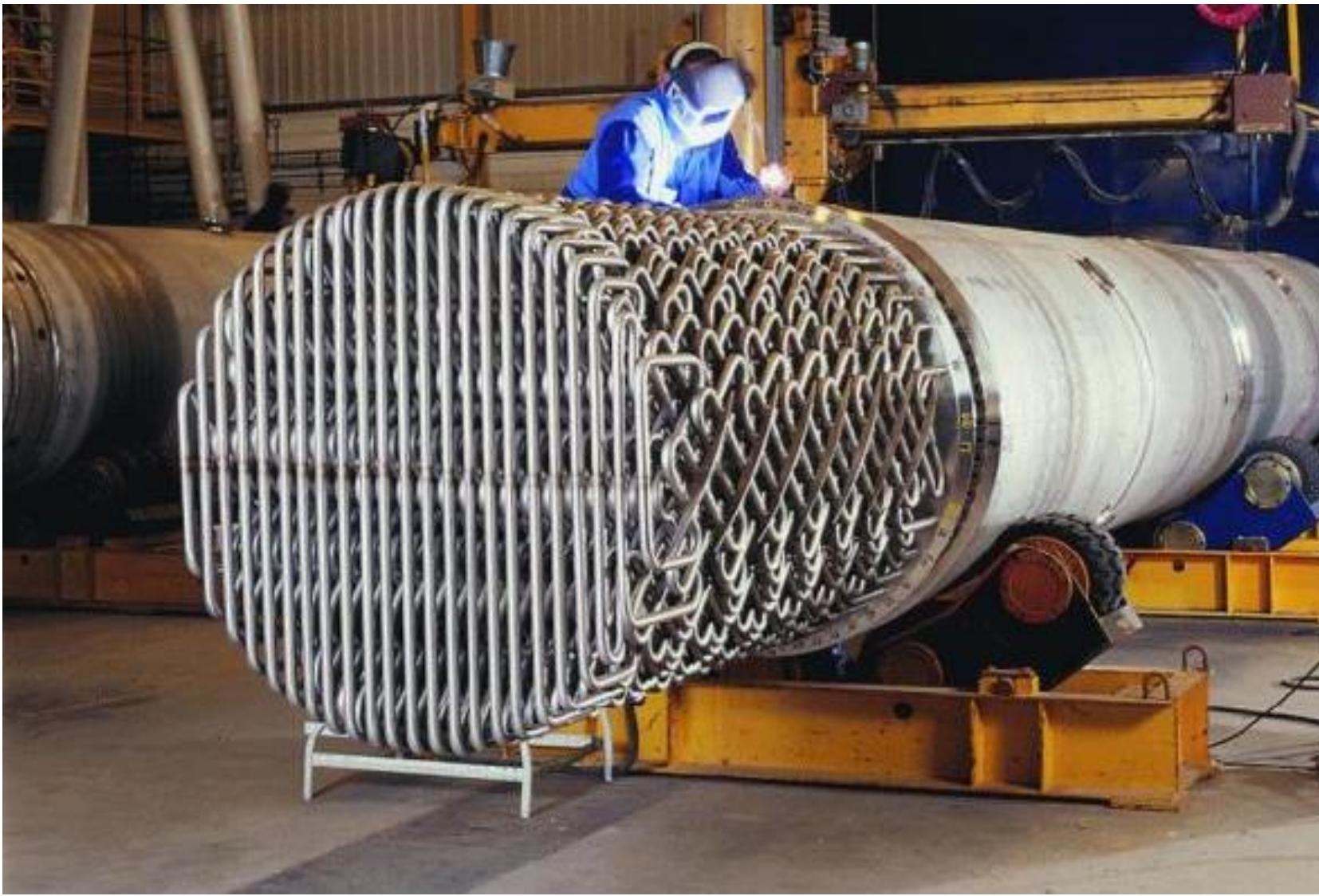
+

- Sangat cocok digunakan dalam skala industri yang besar dan kecepatan reaksi yang tinggi
- Quality control mudah dilakukan, sehingga produk yang dihasilkan lebih terjamin

-

- Harga alat dan biaya instalasi tinggi.
- Perlu waktu untuk mencapai kondisi *steady state*.
- Untuk reaksi eksotermis kadang-kadang terjadi “hot spot” (bagian yang suhunya sangat tinggi) pada tempat pemasukan. Dapat menyebabkan kerusakan pada dinding reaktor.

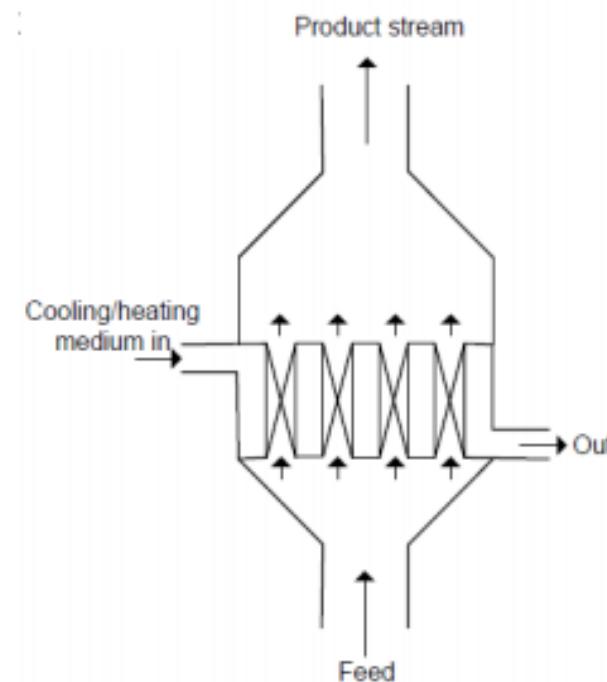




□ Reaktor Gas Cair dengan Katalis Padat

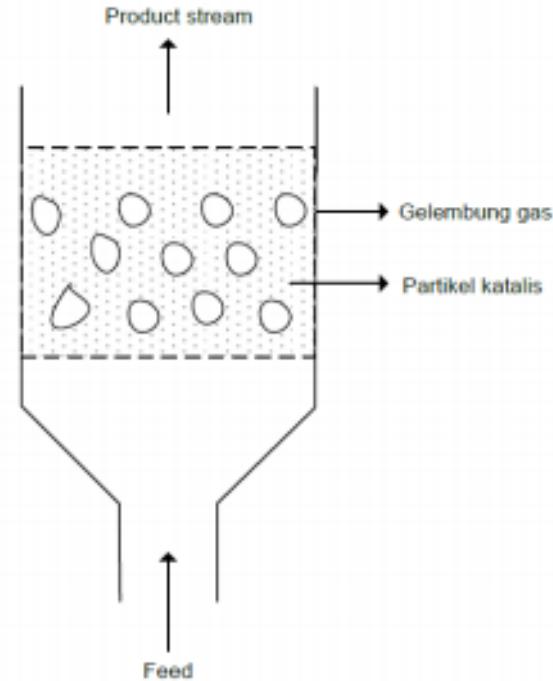
■ Packed/Fixed Bed Reactor (PBR)

Terdiri dari satu pipa/lebih berisi tumpukan katalis stasioner dan dioperasikan vertikal. Biasanya dioperasikan secara adiabatis.



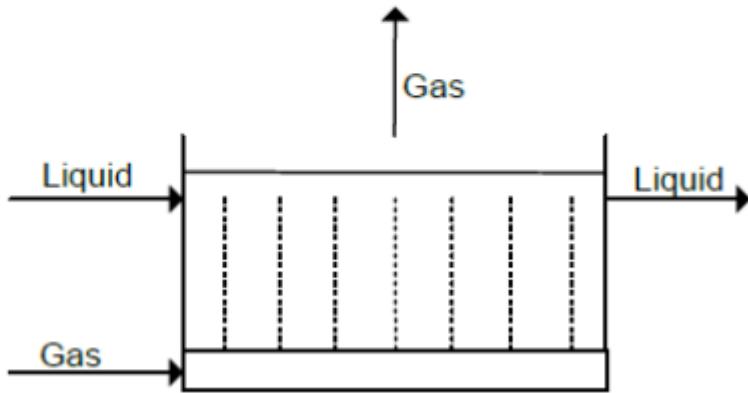
■ Fluidized Bed Reactor (FBR)

Reaktor dimana katalisnya terangkat oleh aliran gas reaktan. Operasinya: isotermal. Pada FBR jumlah katalis lebih sedikit, katalis bergerak sesuai kecepatan aliran gas masuk. FBR memberikan luas permukaan yang lebih besar dari PBR.



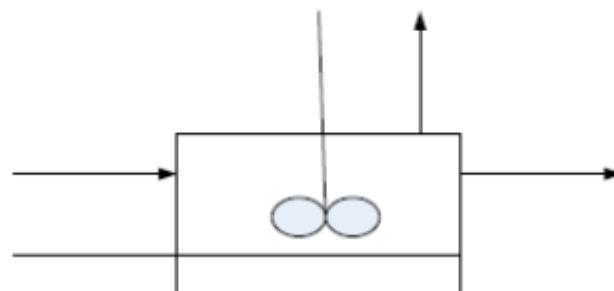
□ Fluid – Fluid Reaktor

■ Bubble Tank



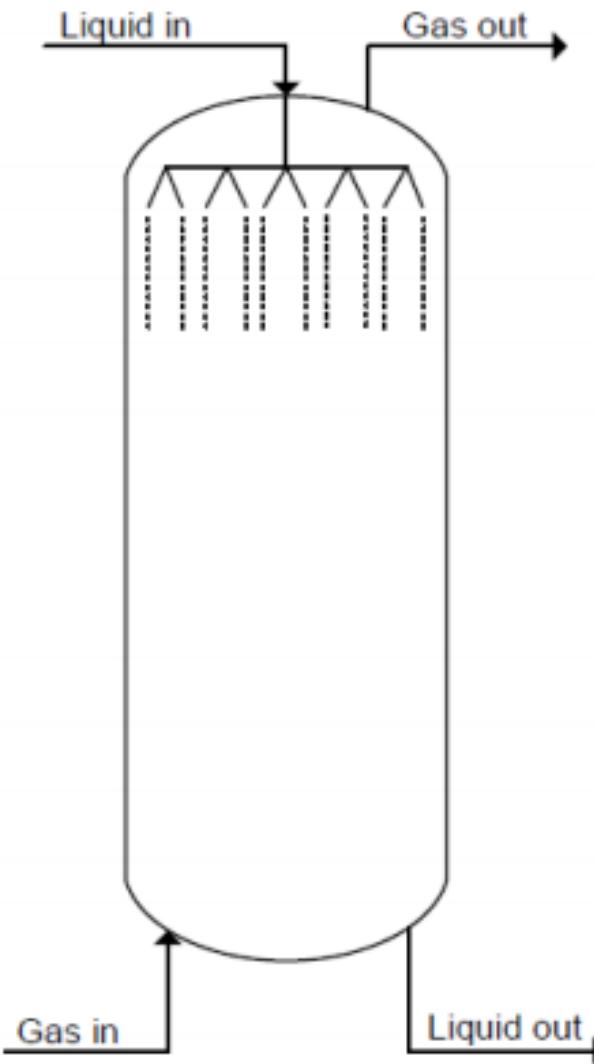
□ Fluid – Fluid Reaktor (Lanjutan)

■ Agitate Tank

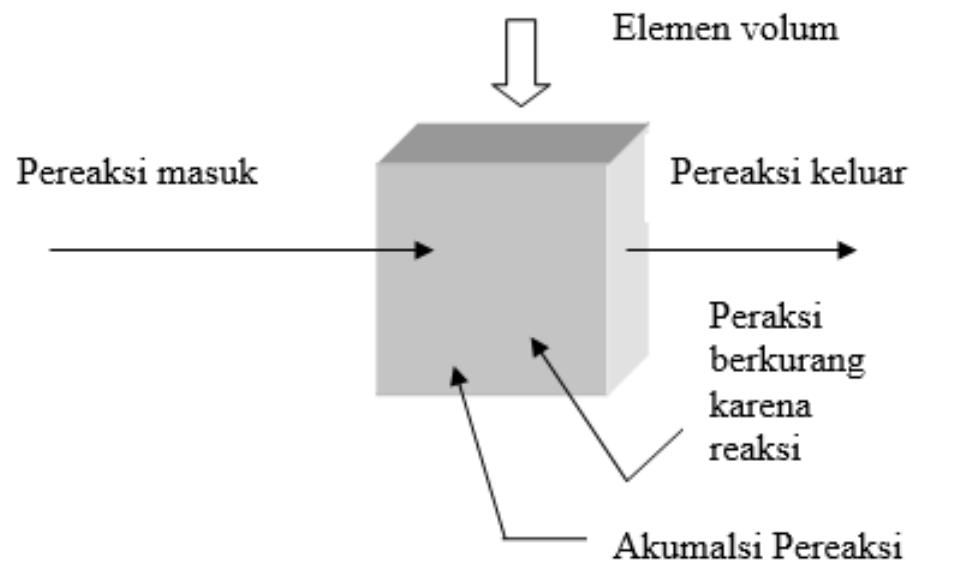


□ Fluid – Fluid Reaktor (Lanjutan)

■ Spray Tower



- Langkah pertama untuk merancang reaktor kimia adalah menyusun neraca massa sembarang pereaksi atau hasil, yang diilustrasikan dengan Gambar 4.1.



Jika komposisi di dalam reaktor seragam (tidak tergantung pada posisi), perhitungan berlaku untuk seluruh reaktor. Namun, jika komposisinya tidak seragam, harus diambil elemen volum yang dapat menggambarkan keadaan dalam reaktor.

Gambar 4.1. Garis Besar neraca massa pada elemen volum reaktor

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Kec alir} \\ \text{pereaksi} \\ \text{masuk ke} \\ \text{dalam} \\ \text{elemen} \\ \text{volum} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Kec. alir} \\ \text{pereaksi ke} \\ \text{luar dari} \\ \text{elemen} \\ \text{volum} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Kec. pe-} \\ \text{reaksi} \\ \text{hilang} \\ \text{akibat} \\ \text{reaksi} \\ \text{dalam} \\ \text{elemen} \\ \text{volum} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Kec.} \\ \text{Akumulasi} \\ \text{pereaksi} \\ \text{dalam} \\ \text{elemen} \\ \text{volum} \end{array} \right\}$$

Untuk reaktor nonisotermal, neraca panas harus digunakan bersama-sama dengan neraca massa.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Kec alir} \\ \text{panas} \\ \text{masuk ke} \\ \text{dalam} \\ \text{elemen} \\ \text{volum} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Kec. alir} \\ \text{panas ke} \\ \text{luar dari} \\ \text{elemen} \\ \text{volum} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Kec.panas} \\ \text{hilang} \\ \text{akibat} \\ \text{reaksi} \\ \text{dalam} \\ \text{elemen} \\ \text{volum} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Kec.} \\ \text{Akumulasi} \\ \text{panas} \\ \text{dalam} \\ \text{elemen} \\ \text{volum} \end{array} \right\}$$

Seperti pada neraca massa, perhitungan neraca energi dapat dilakukan terhadap volume keseluruhan maupun terhadap elemen volume yang kemudian diintegralkan terhadap volume reaktor.

Untuk jenis reaktor tertentu persamaan neraca massa ini dapat disederhanakan. Sebagai contoh, untuk reaktor batch kecepatan alir masuk dan keluar sama dengan nol; untuk reaktor alir pada keadaan steady kecepatan akumulasi sama dengan nol.

Dua komponen yang menjadi dasar dari pengamatan reaksi adalah C_A dan X_A , dimana hubungan keduanya dapat digambarkan melalui 3 kasus berikut.

Untuk reaksi $aA + bB \rightarrow rR$, dengan inert I

TERIMAKASIH