

**BAB IV**  
**PROSES DENGAN SISTEM ALIRAN KOMPLEKS**

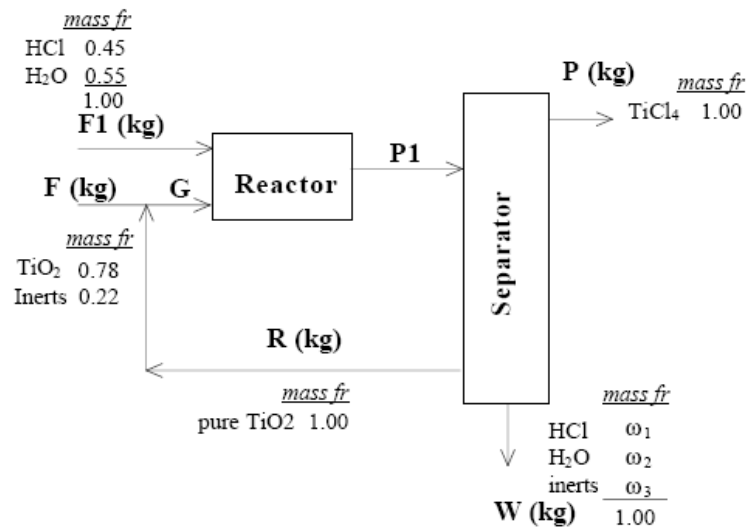
Dalam industri kimia beberapa macam sistem aliran bahan dilakukan dengan tujuan antara lain:

1. menaikkan yield.
2. mempertinggi konsentrasi hasil.
3. menghemat energi yang dipakai/bahan kimia yang dipakai.
4. memperbaiki sistem pengendalian proses.

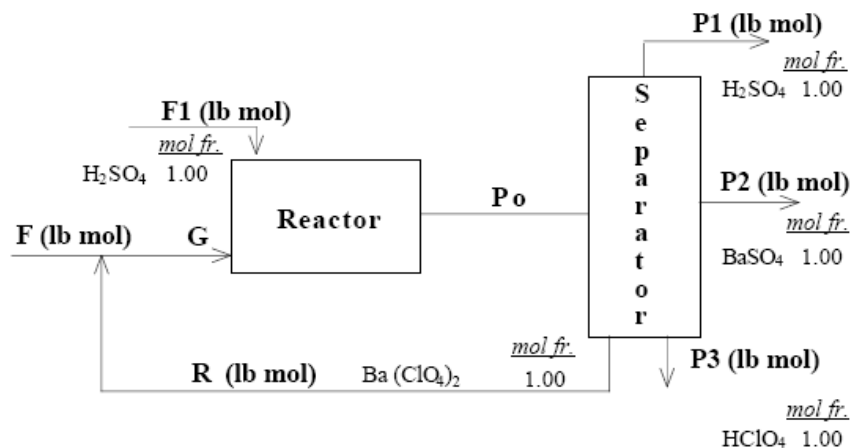
Proses dengan aliran kompleks dijalankan pada proses kontinyu. Beberapa macam sistem aliran bahan yang dipakai antara lain:

**1. ALIRAN RECYCLE**

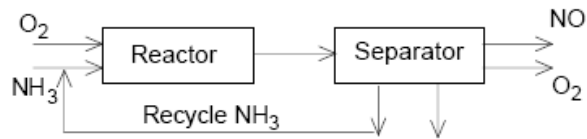
Contoh a: Produksi  $\text{TiCl}_4$  dari HCl dan  $\text{TiO}_2$ .



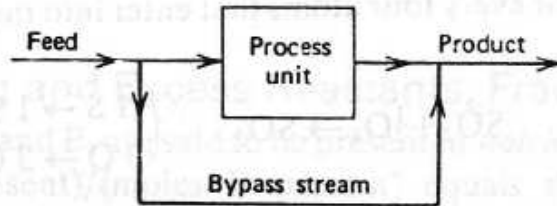
Contoh b: Pembentukan  $\text{BaSO}_4$  dari  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{HClO}_4$



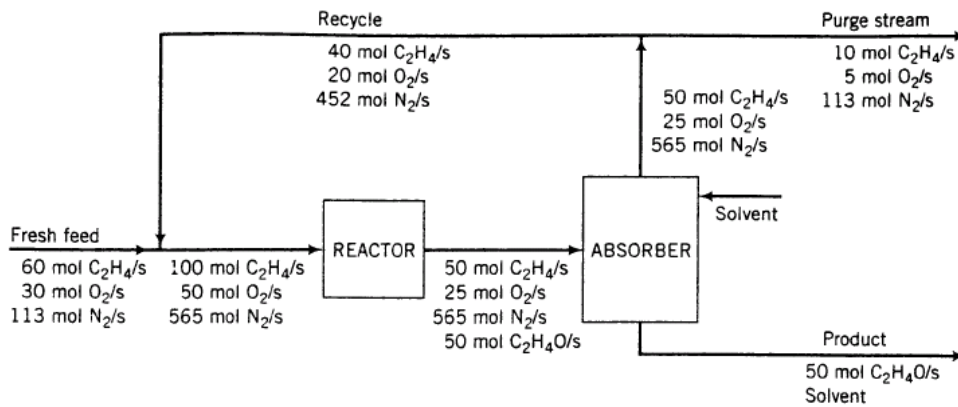
Contoh c: Pembentukan NO dari O<sub>2</sub> dan NH<sub>3</sub>



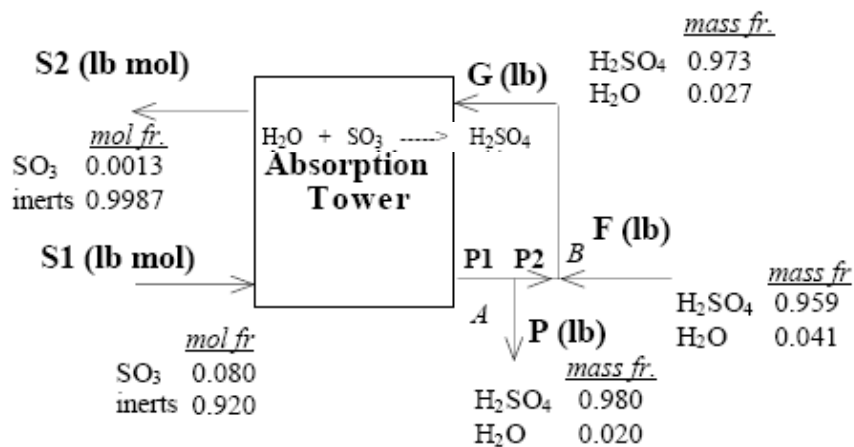
## 2. ALIRAN BY-PASS



## 3. ALIRAN RECYCLE DENGAN PURGING



## 4. ALIRAN RECYCLE DENGAN MAKE-UP.



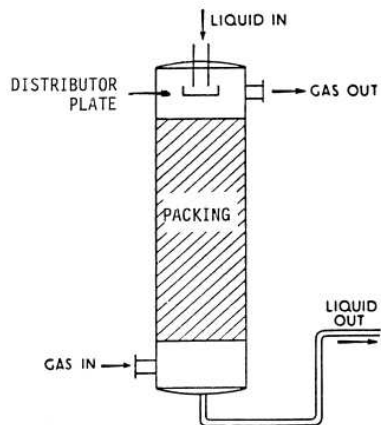


Fig. 14a. Packed column

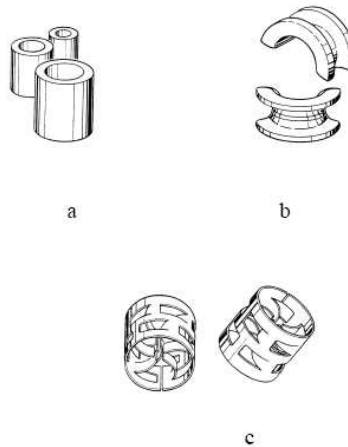
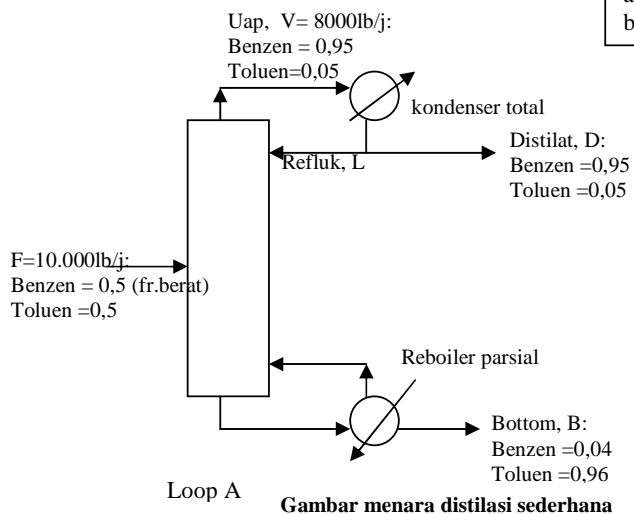


Fig. 14b. Various kinds of packing: (a) Raschig rings, (b) Intalox saddles, (c) Pall rings

**Contoh :** Kolom distilasi memisahkan 10.000 lb/jam campuran benzen dan 50% toluen. Arus uap masuk kondenser dari bagian atas menara mempunyai kecepatan 8000 lb/jam. Distilat yang diperoleh berisi 95% benzen dan hasil bawah menara berisi 96% toluene. Sejumlah distilat dikembalikan (recycle) ke bagian atas menara sebagai arus refluk. Tentukan rasio arus refluk terhadap arus Distilat.

**Penyelesaian:**

**a. skema diagram alir:**



Catatan: Di sini digunakan kondenser total, berarti :

- semua uap V akan terembunkan.
- Komposisi uap = komposisi distilat.

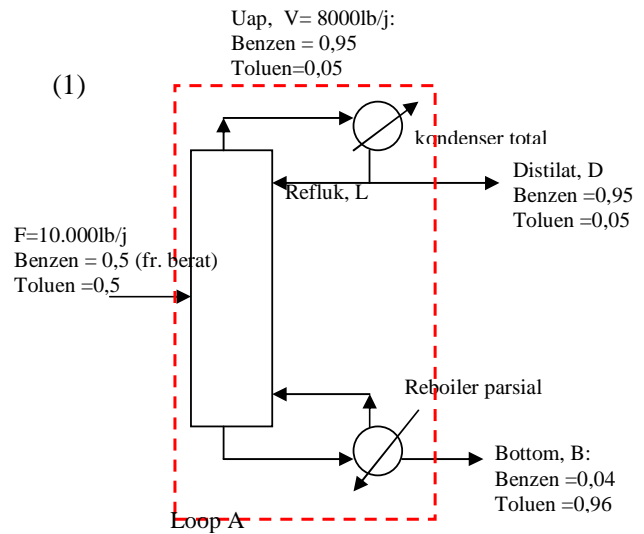
Dicari:  $R=L/D$

a. **Penyusunan persamaan:**

NM Total di sekitar MD (loop A):

$$\begin{aligned} \text{Input} &= \text{output} \\ F &= D + B \\ 10.000 &= D + B \end{aligned}$$

$\uparrow$  Lb campuran input/jam       $\downarrow$  Lb campuran output/jam



NM benzen di sekitar MD (loop A):

$$\begin{aligned} \text{Benzen input} &= \text{benzen output} \\ 10.000 \cdot 0,5 &= D \cdot 0,95 + B \cdot 0,04 \end{aligned} \quad (2)$$

jika ditulis satuannya:

$$\frac{\text{lb umpan}}{\text{jam}} \cdot \frac{\text{lb benzen}}{\text{lb umpan}} = \frac{\text{lb distilat}}{\text{jam}} \cdot \frac{\text{lb benzen}}{\text{lb distilat}} + \frac{\text{lb Bottom}}{\text{jam}} \cdot \frac{\text{lb benzen}}{\text{lb bottom}}$$

Karena menyusun NM **benzen**, maka setiap suku harus mempunyai satuan yang sama, yaitu **lb benzen/jam**.

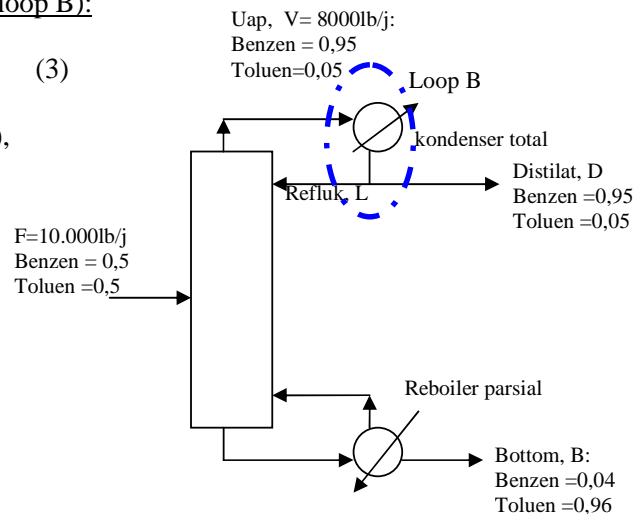
Dari persamaan (1) dan (2) nilai D dan B dapat ditentukan.

NM Total di sekitar kondenser (loop B):

$$\begin{aligned} \text{Input} &= \text{output} \\ V &= L + D \end{aligned} \quad (3)$$

$$8000 = L + D$$

Nilai D disubstitusi ke pers (3), sehingga L dapat ditentukan.



Maka rasio  $R = L/D = \dots\dots\dots$

## Soal latihan NERACA MASSA proses fisis DENGAN aliran KOMPLEK

1. Akan dibuat konsentrat jeruk yang berisi 42 % padatan dari larutan jeruk 12% padatan. Mula-mula, larutan jeruk 12% padatan diumpankan ke evaporator, sehingga sebagian airnya teruapkan. Larutan yang dihasilkan evaporator ini berisi 58% padatan. Untuk mengganti aroma yang ikut teruapkan dalam evaporator, maka larutan jeruk 58% padatan ini dicampur dengan larutan jeruk 12% padatan, sehingga dihasilkan konsentrat jeruk 42 % padatan yang masih beraroma jeruk. Jika diinginkan **100 Kg/hari** konsentrat jeruk, tentukan semua kecepatan arus lainnya.
2. Larutan gula 25% dipekatkan dalam evaporator sehingga dihasilkan larutan gula 50%. Hasil evaporator ini diumpankan ke kristaliser, sehingga diperoleh kristal gula 95% dan arus larutan gula 37,5%. Larutan gula 37,5% ini dikembalikan (didaur ulang/recycle) ke evaporator lagi. Jika diproduksi kristal gula 100 Kg/jam, tentukan semua kecepatan arus yang belum diketahui.
3. **Empat ribu lima ratus** Kg/jam larutan 33,3%  $K_2CrO_4$  digabung dengan arus recycle yang berisi 36,36%  $K_2CrO_4$ , dan campuran kedua arus ini diumpankan ke evaporator. Larutan pekat hasil evaporator berisi 49,4%  $K_2CrO_4$  dan arus ini diumpankan ke kristaliser. Karena pendinginan di dalam kristaliser ini, terbentuklah kristal basah  $K_2CrO_4$  dan arus larutan induk berisi 36,36%  $K_2CrO_4$  yang direcycle ke evaporator. Kristal basah berisi 95% kristal  $K_2CrO_4$  dan 5% cairan yang berisi 36,36%  $K_2CrO_4$ . Rasio kristal yang terbentuk : cairan induk = 90 : 10 Tentukan kecepatan:
  - a. air yang teruapkan di evaporator.
  - b. Kristal yang terbentuk.
  - c. Umpan evaporator.
  - d. Recycle.

Comment: 2 dijit terakhir NIM

Comment: 2 dijit NIM terakhir

### Contoh Neraca Massa proses kimia dengan aliran komplek :

**Kasus :**  $TiCl_4$  dihasilkan dengan mereaksikan Titanium dioksid dengan asam klorid di dalam reaktor.  $TiO_2$  disuplai dari bijih yang mengandung 78%  $TiO_2$ . HCl yang tersedia terdapat dalam larutan HCl 45%. Konversi  $TiO_2$  adalah 75%. HCl yang diumpankan berlebihan 20%. Produk hasil reaktor diumpankan dalam separator. Dalam separator dapat dipisahkan  $TiO_2$  murni yang kemudian didaurulang diumpankan kembali ke reaktor. Jika dihasilkan  $TiCl_4$  sebanyak 189,7 Kg/jam, tentukan Kg/jam:

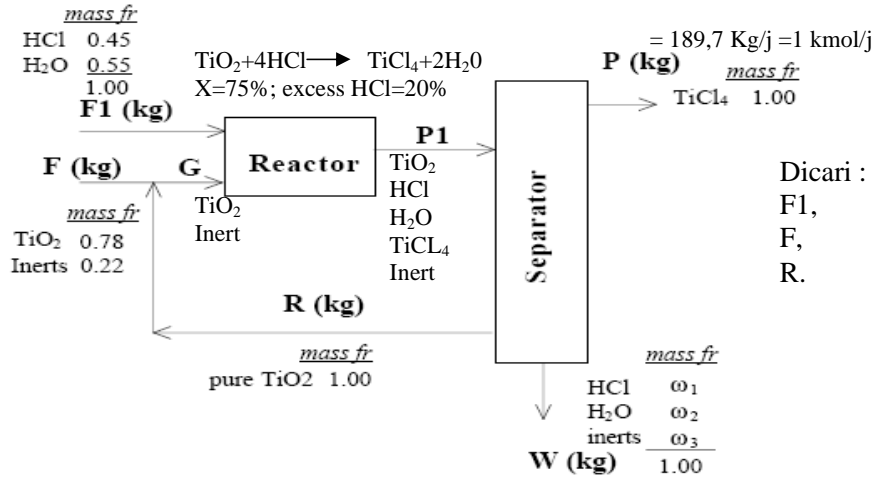
- a. bijih yang dibutuhkan.
  - b. larutan HCl yang dibutuhkan.
  - c.  $TiO_2$  yang didaurulang.
- (BM  $TiO_2=79,9$ ; HCl = 36,47;  $TiCl_4$  189,7). Lihat skema halaman 1.

### Penyelesaian:

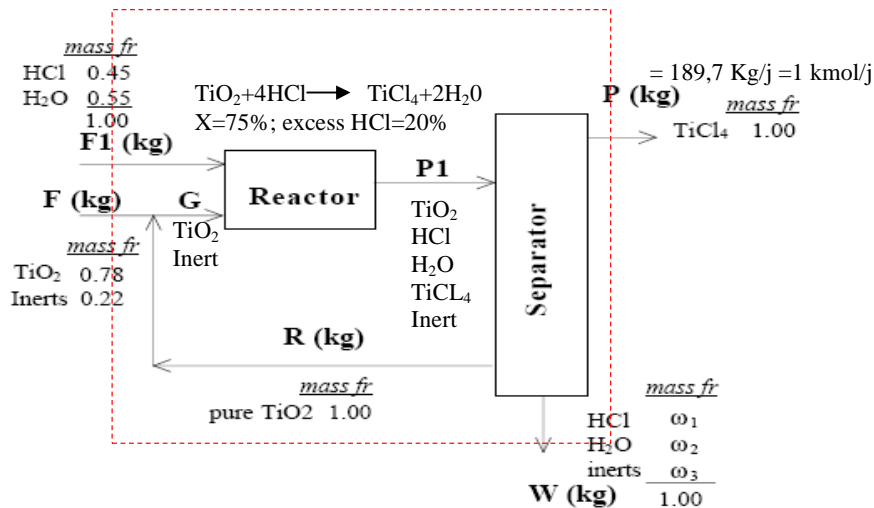
#### a. Skema diagram alir

1. Tulis reaksi,
2. Lengkapi data kualitatif P1 dan G.

**Ingat : untuk NM yang melibatkan reaksi kimia maka bekerjalah dengan satuan mol.**



**b. NM di sekitar keseluruhan alat:**



NM  $\text{TiCl}_4$ :

Input + reaksi = output

0 + reaksi = 1

jadi  $\text{TiCl}_4$  yang dihasilkan dari reaksi = 1 kmol/jam.

NM  $\text{TiO}_4$  :

Input - reaksi = output

$(F \cdot 0,78) / 79,9 - \text{reaksi} = 0$

Kmol  $\text{TiO}_4$ /j

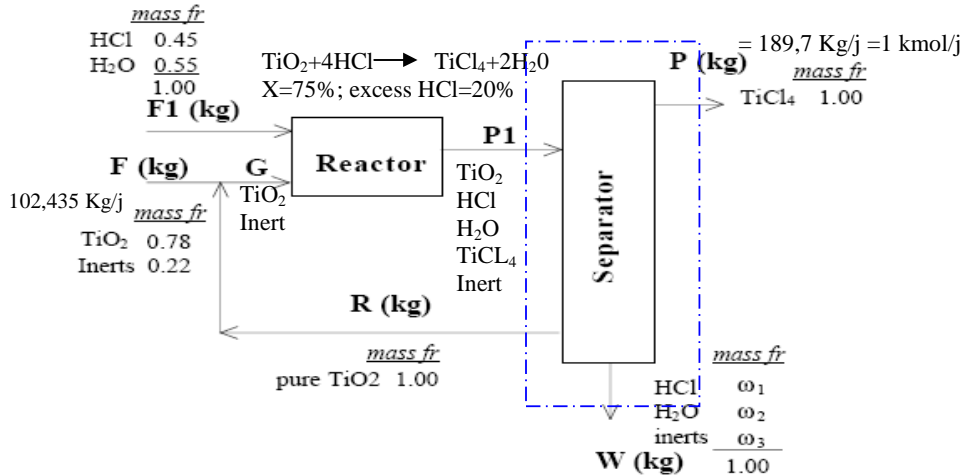
Tetapi F adalah Kg  $\text{TiO}_4$ /j.

Berdasarkan persamaan reaksi, jika  $\text{TiCl}_4$  yang dihasilkan dari reaksi = 1 kmol/jam, maka  $\text{TiO}_4$  yang bereaksi = 1 kmol/jam.

Maka,

$$F = (1 \cdot 79,9) / 0,78 = 102,435 \text{ kg/jam.}$$

**c. NM di sekitar separator :**



NM  $\text{TiCl}_4$  :

Input = output

Input = 1 kmol/j

Jadi  $\text{TiCl}_4$  input separator = 1 kmol/j.

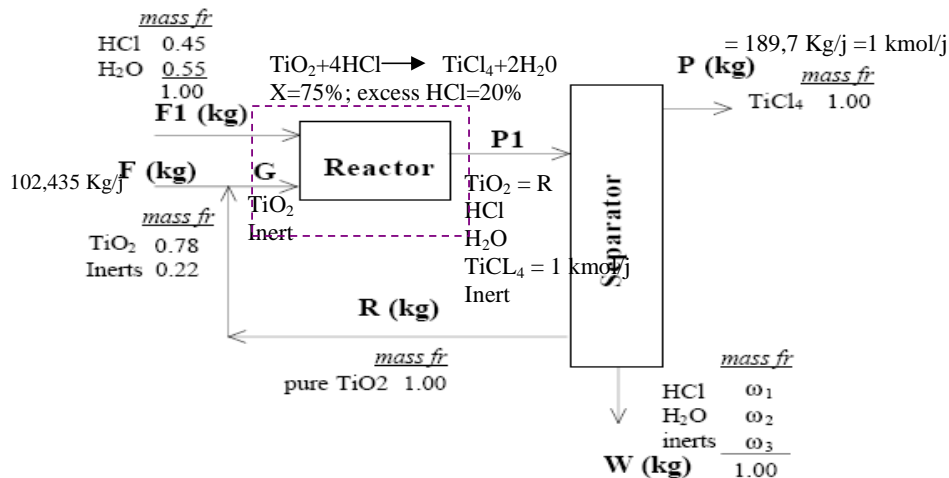
NM  $\text{TiO}_2$  :

Input = output

Input = R

R belum diketahui.

**d. NM di sekitar reaktor:**



NM  $\text{TiCl}_4$  :

Input + reaksi = output

0 + reaksi = 1 kmol/j

maka  $\text{TiCl}_4$  yang dihasilkan dari reaksi di reaktor = 1 kmol/jam.

NM  $\text{TiO}_2$  :

Input - reaksi = output

Input - reaksi = R

Jika  $\text{TiCl}_4$  yang dihasilkan dari reaksi di reaktor = 1 kmol/jam, maka  $\text{TiO}_2$  yang bereaksi = 1 kmol/j.

Dari definisi konversi :

$$75\% = (1 \text{ kmol/j}) / (\text{TiO}_2 \text{ umpan reaktor})$$

$$\begin{aligned} \text{TiO}_2 \text{ umpan reaktor} &= 1,333 \text{ kmol/j} \\ &= \text{TiO}_2 \text{ input} = \text{TiO}_2 \text{ dalam G} \end{aligned}$$

maka :

$$\begin{aligned} 1,333 - 1 &= R \\ R &= 0,333 \text{ kmol/j.} \end{aligned}$$

NM HCl:

$$\begin{aligned} \text{Input} - \text{reaksi} &= \text{output} \\ (0,45 \cdot F1 / 36,46) - \text{reaksi} &= \text{output} \end{aligned}$$

$$\text{HCl yang bereaksi} = 4 \times (\text{TiO}_2 \text{ yang bereaksi}) = 4 \cdot 1 = 4 \text{ kmol/j}$$

Dari definisi % excess :

20% = (kelebihan HCL jika TiO<sub>2</sub> habis bereaksi) dibagi (kebutuhan HCL jika TiO<sub>2</sub> habis bereaksi)

$$\begin{aligned} \text{kelebihan HCL} &= (0,45 \cdot F1 / 36,46) - (4 \cdot 1,333) \\ &= (0,0123 \cdot F1 - 5,332) \text{ kmol/j} \end{aligned}$$

$$\text{kebutuhan HCL teoritis} = 4 \cdot 1,333 = 5,332 \text{ kmol/j}$$

$$\text{maka,} \quad 20\% = \frac{0,0123 \cdot F1 - 5,332}{5,332}$$

$$F1 = 520,195 \text{ Kg/j}$$

maka NM HCL:

$$\text{Output} = (0,45 \cdot F1 / 36,46) - 4 = 2,420 \text{ kmol/j}$$

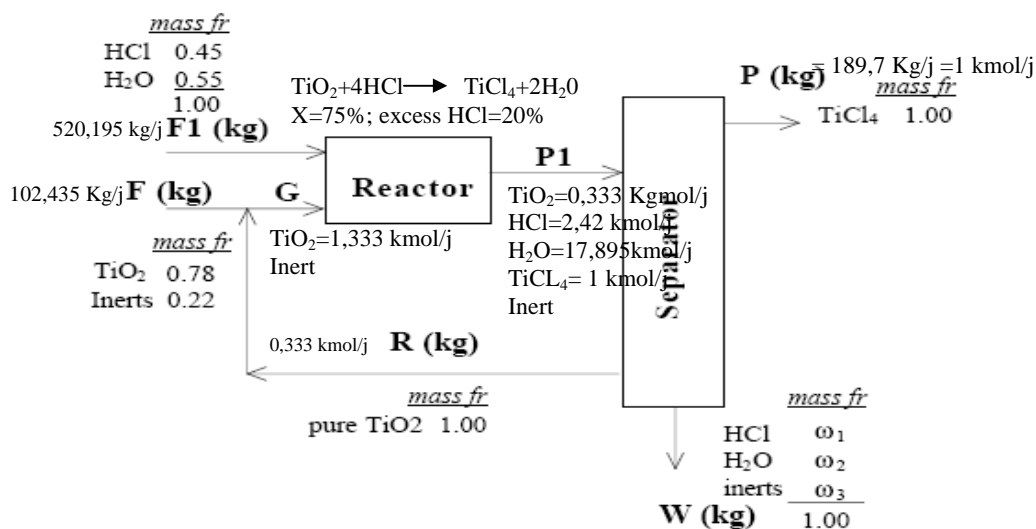
NM H<sub>2</sub>O

Input + reaksi = output

$$(0,55 \cdot F1 / 18) + 2 (\text{TiO}_2 \text{ yang bereaksi}) = \text{output}$$

$$\text{output} = (0,55 \cdot F1 / 18) + 2 \cdot 1 = 17,895 \text{ kmol/j}$$

**e. kesimpulan:**

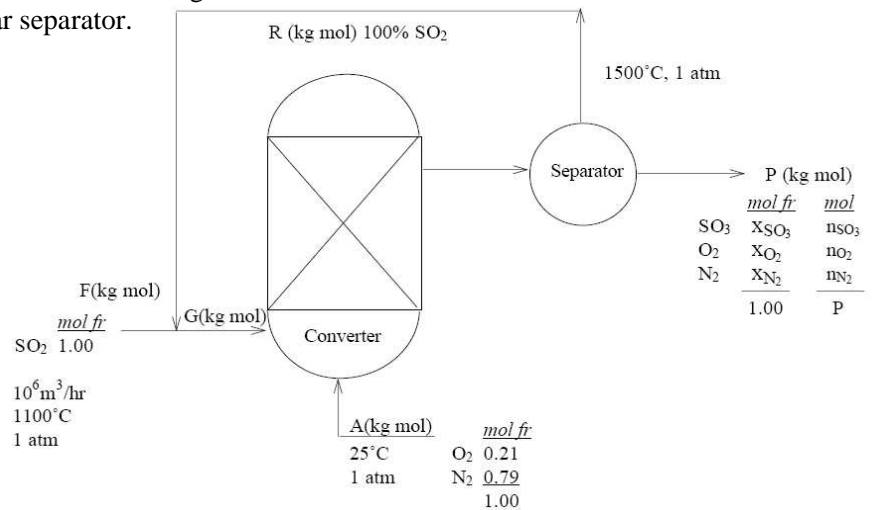




### Soal latihan Neraca Massa proses kimia dengan aliran kompleks

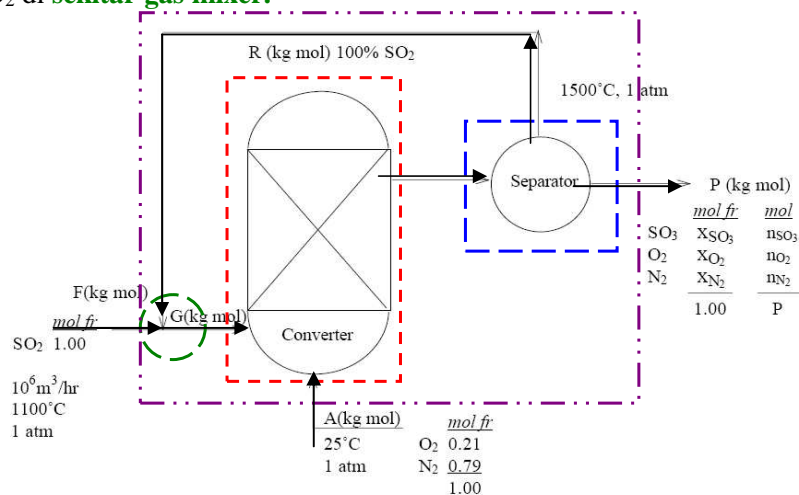
- Pada produksi amoniak dari gas  $H_2$  dan  $N_2$ . Bahan baku berisi gas  $H_2$ ,  $N_2$ , dan 0,2% Ar. Gas hasil reaktor mengalir ke kondenser sehingga amoniak dapat mengembun, sedangkan gas-gas yang lain tidak mengembun. Diinginkan gas  $H_2$  dan  $N_2$  yang belum bereaksi diumpankan lagi ke reaktor. Jika arus recycle ini hanya boleh berisi gas Ar sebanyak 5%. Berapa kecepatan purging?
- Di pabrik asam sulfat, sulfur dibakar menggunakan udara sehingga diperoleh gas sulfur dioksid. Gas  $SO_2$  ini diumpankan ke reaktor dan bereaksi dengan oksigen sehingga terbentuk gas sulfur trioksid. Udara dari lingkungan dengan 10% berlebihan diumpankan ke reaktor ini. Reaktor beroperasi pada  $1500^\circ C$  dan 1 atm. Konversi dalam reaktor ini 75%. Gas hasil reaktor dipisahkan dalam separator, sehingga gas  $SO_2$  yang belum bereaksi dapat didaurulang. Jika  $10^6 \text{ m}^3/\text{jam}$  gas  $SO_2$  pada  $1000^\circ C$  dan 1 atm diumpankan ke reaktor, hitung:

- kecepatan Produk keluar separator.
- Kecepatan Recycle.



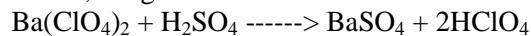
petunjuk tambahan:

- Lengkapi skema dengan persamaan reaksi, data kualitatif arus G dan arus keluar converter, gunakan  $SO_2$  dalam F sebagai basis perhitungan.
- Hitung F dalam Kgmol/hr.
- Susun NM  $SO_2$  dan NM  $SO_3$  di **keseluruhan alat**.
- Susun NM  $SO_3$  di **sekitar separator**.
- Susun NM  $SO_3$  dan  $SO_2$  di **sekitar reaktor**, gunakan data konversi.
- Susun NM  $SO_2$  di **sekitar gas mixer**.



3. Pabrik asam sulfat dengan proses kontak, yaitu penyerapan gas  $\text{SO}_3$  menggunakan larutan asam sulfat 97,3%. Gas yang berisi 8%  $\text{SO}_3$  dialirkan ke bagian bawah menara absorber dengan kecepatan 28 lbmol/jam dan  $\text{SO}_3$  yang terserap sebanyak 98,5% pada menara ini. Larutan asam sulfat 97,3% diumpangkan pada bagian atas menara. Proses ini menghasilkan larutan asam sulfat 98%. Asam sulfat 97,3% yang digunakan dihasilkan dengan mencampur sebagian asam sulfat 98% dengan asam sulfat 95,9%. Tentukan berapa lb/jam:
- larutan asam sulfat 95,9%.
  - larutan asam sulfat 97,3% yang diumpangkan ke dalam menara.
  - larutan asam sulfat 98% yang dihasilkan.

4. Asam perclorat dihasilkan dengan mereaksikan  $\text{Ba}(\text{ClO}_4)_2$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dalam suatu reaktor, dengan reaksi:



Asam sulfat 100% diumpangkan dengan 20% berlebihan, sedangkan umpan  $\text{Ba}(\text{ClO}_4)_2$  berasal dari arus yang berisi  $\text{Ba}(\text{ClO}_4)_2$  0,729% mol dan  $\text{HClO}_4$ . Hasil reaktor diumpangkan dalam separator untuk memurnikan hasil. Jika dihasilkan 17,400 lb/jam  $\text{HClO}_4$  dari separator, dan 6125 lb/jam  $\text{Ba}(\text{ClO}_4)_2$  didaurulang, tentukan :

- konversi  $\text{Ba}(\text{ClO}_4)_2$ .
  - lb/jam  $\text{H}_2\text{SO}_4$  yang dibutuhkan.
- ( BM:  $\text{Ba}(\text{ClO}_4)_2 = 336$ ;  $\text{BaSO}_4 = 233$ ;  $\text{H}_2\text{SO}_4 = 98$ ;  $\text{HClO}_4 = 100,5$  ) Lihat skema di halaman 1.

