

ALAT TRANSFER MASSA ABSORBER DAN STRIPPER

Silabi D3 Teknik Kimia:

1. Prinsip dasar alat transfer massa absorber dan stripper.
2. Variabel-variabel proses alat absorber dan stripper.
3. Hubungan arus-arus di sekitar alat.
4. Hubungan arus-arus di dalam alat menara plat.

Sumber Pustaka :

- Geankoplis, C.J., 1985, "Transport Processes and Unit Operation", Prentice Hall, Inc., Singapore.
- Wankat, P.C., 1988, "Equilibrium Staged Separation", Prentice Hall, New Jersey.
- Perry, R.H and Green, D., "Perry's Chemical Engineers' Handbook, 6th ed.", 1984, McGraw-Hill Book Co., Singapore.

PENGANTAR

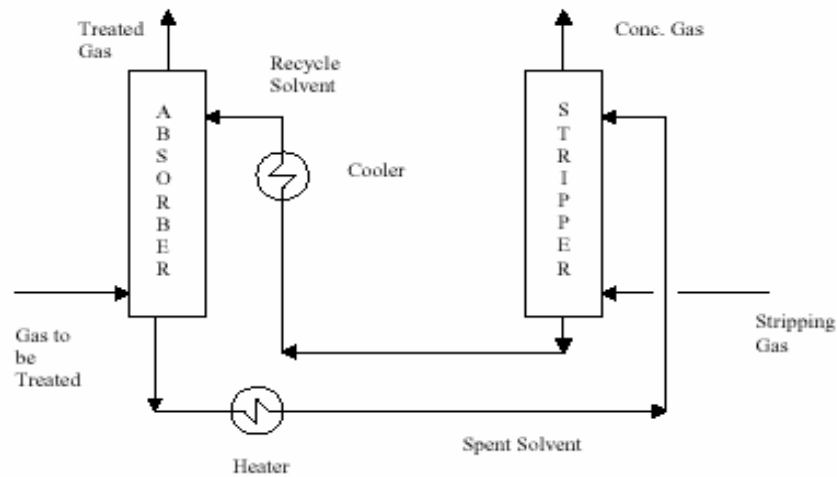
Di industri kimia maupun dalam kehidupan sehari-hari sering dijumpai operasi pemisahan suatu bahan atau lebih dari campurannya menggunakan dasar transfer massa antar fase (difusi antar fase), misalnya :

1. transfer solut dari fase gas ke fase cair, dijumpai pada absorpsi, dehumidifikasi, distilasi,
2. transfer solut dari fase cair ke fase gas, dijumpai pada desorpsi, humidifikasi,
3. transfer solut dari cairan satu ke cairan lain yang tidak saling larut, dijumpai pada ekstraksi cair-cair,
4. transfer solut dari padatan ke fase cair, dijumpai pada drying dan leaching,
5. transfer solut dari cairan ke permukaan padatan, dijumpai pada adsorpsi dan ion exchange.

Absorber dan Stripper

Absorber dan stripper adalah alat yang digunakan untuk memisahkan satu komponen atau lebih dari campurannya menggunakan prinsip perbedaan kelarutan. Solut adalah komponen yang dipisahkan dari campurannya sedangkan pelarut (*solvent* ; sebagai *separating agent*) adalah cairan atau gas yang melarutkan solut. Karena perbedaan kelarutan inilah, transfer massa solut dari fase satu ke fase yang lain dapat terjadi.

Absorpsi adalah operasi pemisahan solut dari fase gas ke fase cair, yaitu dengan mengontakkan gas yang berisi solut dengan pelarut cair (solven / absorben) yang tidak menguap. **Stripping** adalah operasi pemisahan solut dari fase cair ke fase gas, yaitu dengan mengontakkan cairan yang berisi solut dengan pelarut gas (*stripping agent*) yang tidak larut ke dalam cairan. Ada 2 jenis absorpsi, yaitu kimia dan fisis. Absorpsi kimia melibatkan reaksi kimia antara pelarut cair dengan arus gas dan solut tetap di fase cair. Dalam absorpsi fisis, solut dalam gas mempunyai kelarutan lebih besar dalam pelarut cairan, sehingga solut berpindah ke fase cair. Absorpsi dengan reaksi kimia lebih menguntungkan untuk pemisahan. Meskipun demikian, absorpsi fisis menjadi penting jika pemisahan dengan reaksi kimia tidak dapat dilakukan. Absorber dan stripper seringkali digunakan secara bersamaan. Absorber digunakan untuk memisahkan suatu solut dari arus gas. Stripper digunakan untuk memisahkan solut dari cairan sehingga diperoleh gas dengan kandungan solut lebih pekat. Hubungan absorber dan stripper ditunjukkan dalam gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir proses absorpsi-stripping

Pekerjaan seorang teknik kimia dalam mengevaluasi suatu alat adalah mengevaluasi kinerja alat.

Catatan kuliah ini hanya akan membahas bagaimana mengevaluasi kinerja suatu alat.

Menara vertikal dipilih untuk operasi ini, dan dirancang sedemikian sehingga diperoleh kontak yang baik antara kedua fase tersebut. Tujuan utama perancangan alat transfer massa secara sederhana adalah menentukan tinggi kontak kedua fase itu.

Berdasarkan cara kontak antar fase, alat transfer massa difusional dibagi menjadi 2 jenis, yaitu :

1. proses keseimbangan dimana operasi dengan keseimbangan antar fase, yaitu alat dengan kontak bertingkat (*stage wise contact / discreet*), misalnya menara menggunakan plat atau tray.
2. proses dikontrol kecepatan transfer massa, yaitu alat dengan kontak kontinyu (*continuous contact*), misalnya menara sembur, gelembung atau menggunakan bahan isian (packing).

Keseimbangan

Menurut teori lapisan film, jika dua fase dikontakkan, di batas antar fase terdapat keseimbangan fase. Oleh karena itu, korelasi atau data-data di lapisan batas fase ini sangat perlu diketahui. Data-data keseimbangan telah banyak tersedia, meskipun penelitian tentang hal ini masih perlu dilakukan. Beberapa buku, terutama termodinamika telah menyajikan data keseimbangan untuk sistem tertentu, misal data kelarutan gas di Perry (6th ed., pp. 3-101 – 3-103, 13-16 -13-22).

VARIABEL-VARIABEL EVALUASI

Di dalam mengevaluasi absorber atau stripper, seseorang harus mengetahui dan menentukan :

1. kondisi bahan yang akan dipisahkan (umpan), yaitu kecepatan arus fluida umpan, komposisi, dan tekanan
2. banyak solut yang harus dipisahkan,
3. jenis solven yang akan digunakan,
4. suhu dan tekanan alat,

5. kecepatan arus solven,
6. Diameter absorber,
7. Jenis absorber,
8. Jumlah stage ideal dan tinggi menara,

Evaluasi yang dilakukan adalah membandingkan jumlah stage teoritis dengan jumlah stage terpasang.

Kecepatan arus fluida dan komposisi umpan

Komposisi gas umpan (absorber) atau cairan umpan (stripper) dan kecepatannya biasanya telah diketahui, seperti fluida yang berasal dari alat sebelumnya. Demikian pula suhu dan tekanan fluida umpan ini.

Banyaknya solut yang dipisahkan

Jumlah solut yang akan dipisahkan biasanya ditentukan oleh perancang. Jumlah ini disesuaikan dengan persyaratan kemurnian produk atau persyaratan sebagai umpan alat lain.

$$\% \text{ recovery of solute} = \frac{\text{massa solut terserap}}{\text{massa solut dalam umpan}} 100\%$$

Jenis solven

Sifat-sifat solven yang dipilih antara lain :

- a. memiliki kelarutan yang besar untuk solut,
- b. untuk absorber, solven cair tidak mudah menguap agar dapat mengurangi solven yang hilang,
- c. untuk stripper, solven gas tidak larut dalam cairan,
- d. memiliki viskositas yang rendah agar perbedaan tekanan dalam menara kecil,
- e. tidak beracun,
- f. tersedia dan tidak mahal.

Suhu dan Tekanan alat

Pada dasarnya, tekanan dan suhu akan mempengaruhi sifat fisis fluida. Pada suhu rendah, kelarutan bahan dalam gas semakin tinggi, sebaliknya kelarutan bahan di dalam gas semakin kecil jika suhu sistem semakin tinggi.

Pada umumnya tekanan operasi absorber dirancang tinggi dan suhunya rendah. Hal ini dapat memperkecil jumlah stage dan kebutuhan solven cair, serta memperkecil volum menara yang menampung aliran gas. Sedangkan stripper dirancang beroperasi pada tekanan rendah dan temperatur tinggi, agar jumlah stage sedikit dan memperkecil kebutuhan solven gas. Buku ini hanya membahas pemisahan pada kondisi isothermal dan isobaris.

Diamater menara

Diameter menara dapat diprediksi dengan banyak cara, biasanya diturunkan dari korelasi bilangan Sherwood. Beberapa cara penentuan diameter telah dipublikasi di buku-buku (seperti di Wankat, chapter 12 & 13).

Jenis absorber

Menara packing biasanya dipilih terutama jika :

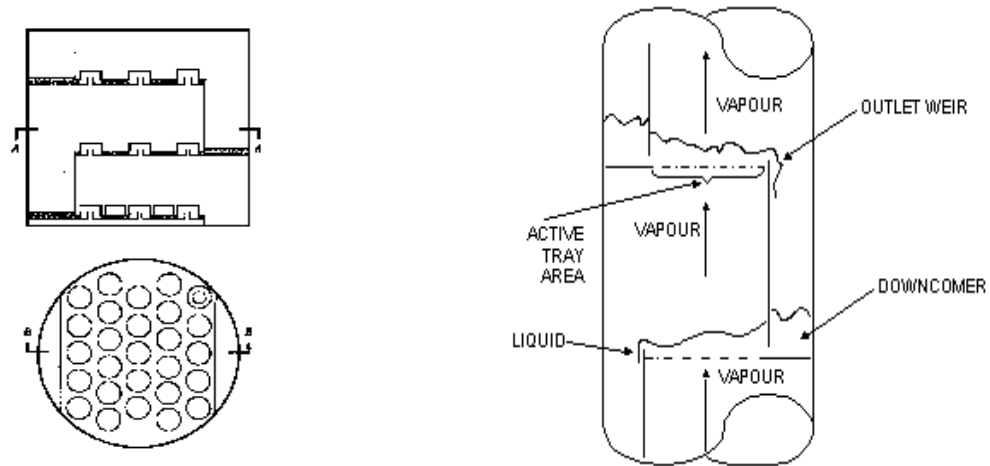
- a. diameter menara kurang dari 2 ft,
- b. diinginkan tekanan rendah atau operasi vakum,
- c. fluida bersifat korosif , dan packing yang digunakan tahan korosif seperti keramik atau bahan polimer.
- d. waktu tinggal cairan singkat.

Ada 4 (empat) konsep teknik kimia yang diperlukan dalam merancang alat transfer massa, yaitu :

1. neraca massa dan neraca panas, yang mengikuti hukum konservasi massa dan energi,
2. keseimbangan di batas antar fase,
3. kecepatan transfer massa, dan
4. kecepatan transfer momentum, yang digunakan untuk menentukan penurunan tekanan di dalam menara.

MENENTUKAN JUMLAH STAGE TEORITIS MENARA PLAT ABSORBER ISOTERMAL

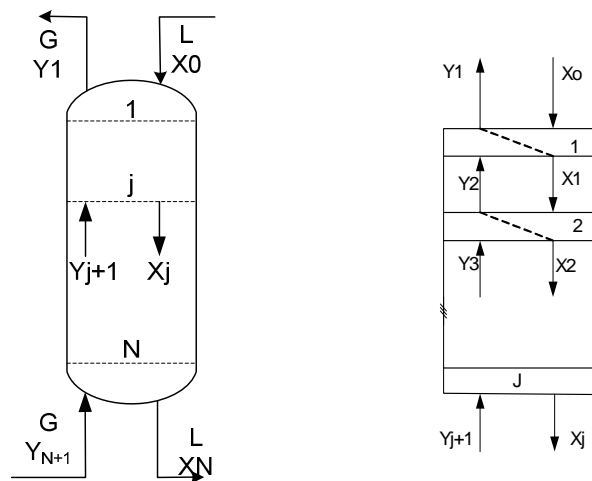
Jenis-jenis tray/plate dapat dilihat di buku Geankoplis, 3 th ed., p.611 atau Wankat, chapter 12. Umumnya, menara plat kontak gas-cair menggunakan aliran berlawanan arah (countercurrent).



Gambar 2. Skema kontak gas-cair dalam menara plat.

Ditinjau sebuah absorber *countercurrent*:

Gas C membawa B dan B larut dalam pelarut cair S. Skema:



Gambar 3. Skema neraca massa solut (B) dalam menara plat.

Asumsi:

1. Gas C dan pelarut S tidak saling larut,
2. pelarut S adalah komponen non volatil,
3. Operasi isothermal, isobaris, dan adiabatik.
4. di setiap stage keadaan seimbang telah tercapai.

Berdasarkan asumsi di atas, maka :

- kecepatan gas C bebas solut (G) adalah tetap, dan
- kecepatan pelarut S bebas solut (L) adalah tetap.

Kadar solut dinyatakan perbandingan (rasio) banyaknya solut dan banyaknya bahan bebas solut. Banyaknya bahan dapat dinyatakan dalam satuan massa atau satuan mol. Contoh:

$$X = \frac{\text{mol B}}{\text{mol S}}, \text{ mol solut}/(\text{mol cairan bebas solut})$$

$$Y = \frac{\text{mol B}}{\text{mol C}}, \text{ mol solut}/(\text{mol gas bebas solut}).$$

Jika data yang tersedia adalah fraksi mol atau fraksi massa, maka data itu harus dirubah menjadi rasio mol atau rasio massa.

$$X = \frac{x}{1-x}$$

$$Y = \frac{y}{1-y}$$

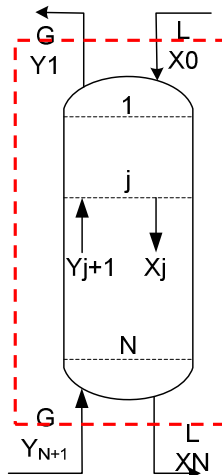
dengan,

x = fraksi mol (atau massa) di fase cair, mol solute/(mol cairan total).

y=fraksi mol di fase gas, mol solute/(mol gas total).

Neraca eksternal

Hubungan arus-arus di sekitar menara dinyatakan dengan neraca massa solut di sekitar menara (loop A), yaitu :



kecepatan solut masuk = kecepatan solut keluar

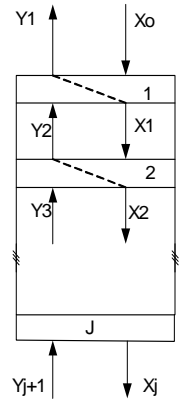
$$L \cdot X_0 + G \cdot Y_{N+1} = L \cdot X_N + G \cdot Y_1 \quad (1)$$

Neraca internal

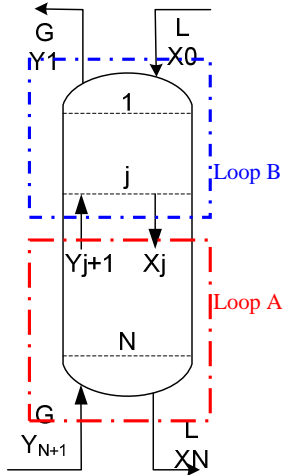
- Hubungan arus-arus keluar dari setiap stage dinyatakan dengan hubungan keseimbangan solut, yaitu :

$$Y_1 = f (X_1, \text{fungsi keseimbangan}).$$

$$Y_j = f (X_j, \text{fungsi keseimbangan}). \tag{2}$$



- Hubungan arus-arus di antara stage yang berurutan dinyatakan dengan neraca massa solut di sekitar stage ke j sampai bagian atas menara (loop B) atau sampai bagian atas menara (loop C). Jika dipilih loop B maka neraca massa solut adalah :

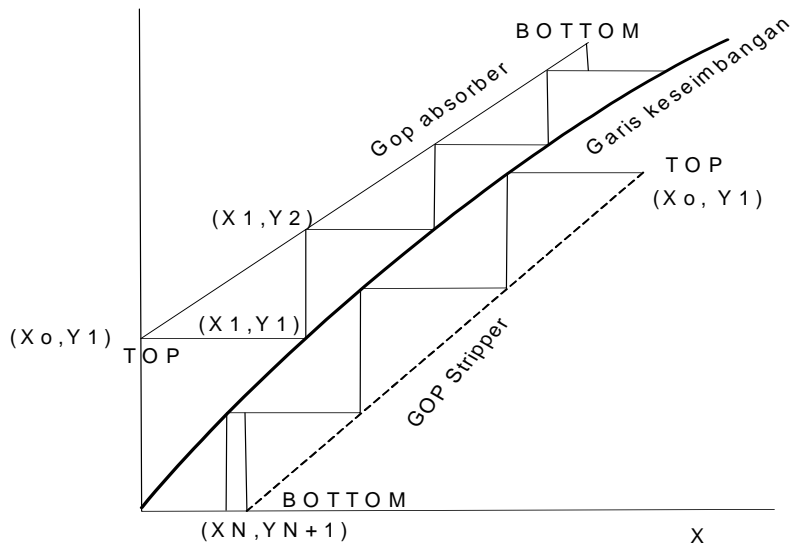


$$G \cdot Y_{j+1} + L \cdot X_0 = G \cdot Y_1 + L \cdot X_j$$

$$Y_{j+1} = \frac{L}{G} X_j + \left(Y_1 - \frac{L}{G} X_0 \right) \tag{3}$$

Di dalam grafik YX, persamaan (3) di atas merupakan persamaan garis operasi. Nilai j= 1 sampai dengan N.

Persamaan-persamaan di atas berlaku juga untuk stripper. Hubungan ketiga persamaan di atas, dapat dilihat dari grafik YX (diagram McCabe Thiele) sebagai berikut :



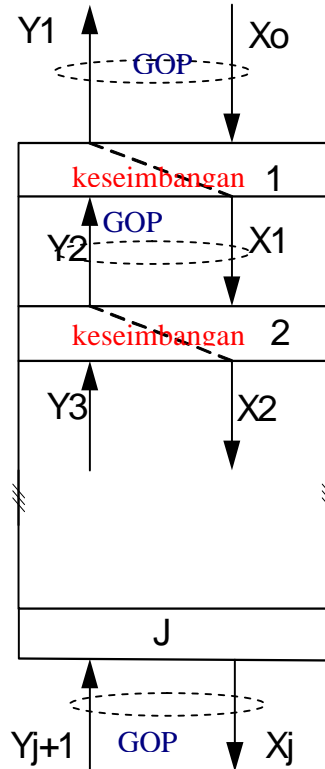
Gambar 4. Hubungan persamaan garis operasi dengan garis keseimbangan.

Menentukan jumlah stage ideal/teoritis

Perhitungan jumlah stage ideal dapat dilakukan jika semua persamaan di atas telah diketahui.

Jumlah stage ideal dapat dihitung secara grafis atau analitis (persamaan aljabar), cara ini dikenal sebagai metode Sorel.

Secara grafis (metode McCabe-Thiele), perhitungan jumlah stage ideal dapat dilakukan dari atas ke bawah menara atau dari bawah ke atas.



Contoh untuk $j=1$, telah diketahui Y_1 , X_1 berkeseimbangan dengan Y_1 , maka X_1 dicari dengan membuat perpotongan garis $Y = Y_1$ dengan kurva keseimbangan. Selanjutnya Y_2 dapat ditentukan dari X_1 menggunakan korelasi garis operasi. Secara grafis, Y_2 dicari dengan membuat perpotongan garis $X = X_1$ dengan garis operasi, demikian seterusnya.

Perhitungan stage by stage menggunakan persamaan garis keseimbangan dan persamaan garis operasi secara bergantian sampai konsentrasi bagian bawah menara seperti yang diinginkan.

Jumlah stage ditunjukkan dengan banyaknya titik potong pada garis keseimbangan, seperti yang ditunjukkan di gambar 4.

Menentukan efisiensi stage.

Efisiensi keseluruhan (overall = E_o).

$$E_o = \frac{\text{jumlah stage ideal}}{\text{jumlah stage aktual}} \quad (7)$$

Ringkasan langkah-langkah penentuan jumlah stage (metode McCabe Thiele):

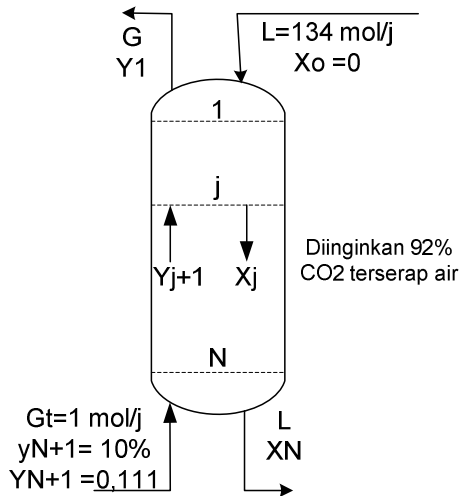
1. sket sistem yang dilengkapi asumsi yang diambil serta data kualitatif dan kuantitatif yang diketahui.
2. susun NM disekitar alat,
3. susun pers. GOP,
4. susun pers. keseimbangan,
5. tentukan jumlah stage ideal (stage by stage),
6. tentukan efisiensi stage,

Contoh : penentuan jumlah stage ideal.

Kasus: Suatu arus gas dengan kecepatan 1 mol/jam berisi 90% mol N₂ dan 10% mol CO₂. Diinginkan menyerap CO₂ menggunakan air. Air murni pada suhu 5⁰C diumpangkan. Menara penyerap dirancang isothermal dan tekanan operasi pada 10 atm. Jika digunakan air dengan kecepatan 134 mol/j, berapa jumlah stage ideal yang dibutuhkan untuk menyerap 92% CO₂. Jika terpasang 7 stage, berapakah efisiensi alat ini.

Penyelesaian :

1. Sket CO₂ diserap menggunakan air dalam absorber.



asumsi :

- a. kelarutan N₂ dalam air diabaikan,
- b. tidak ada air yang menguap.
- c. isothermal 5⁰C dan isobar 10 atm.

Berdasarkan asumsi di atas, maka:

L = kecepatan air konstan = 134 mol/j,

G = kecepatan N₂ konstan = 0,9 mol/j.

Data yang tersedia adalah fraksi mol CO₂, sehingga perlu dinyatakan dalam rasio mol:

X₀=0;

CO₂ dalam gas input : Y_{N+1}=0,111 ;

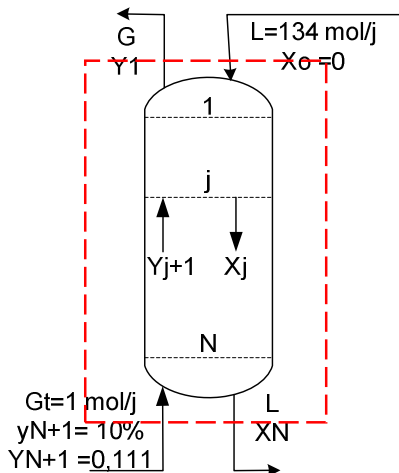
92% CO₂ terserap = 92% . (CO₂ dalam gas umpan)

$$= 92\% . (10\% . 1 \text{ mol/j}) = 0,092 \text{ mol CO}_2/\text{j}$$

rasio mol CO₂ dalam gas keluar = (0,1 - 0,092) / (90% . 1) = 0,008/0,9

$$Y_1 = 0,008888 \text{ mol CO}_2/\text{mol N}_2.$$

2. Hubungan arus-arus di sekitar menara :



NM CO₂ di sekitar menara:

$$L . X_0 + G . Y_{N+1} = L . X_N + G . Y_1$$

$$134 . 0 + 0,9 . 0,1111 = 134 . X_N + 0,9 . 0,0089$$

$$X_N = 0,00069$$

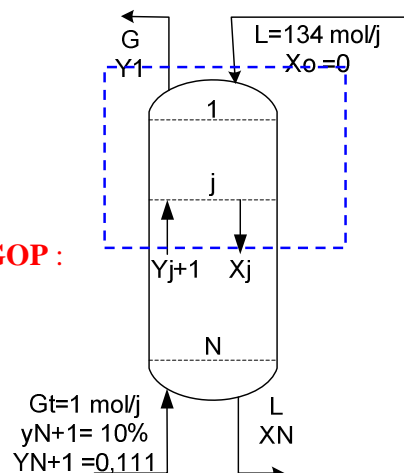
3. Hubungan arus-arus di antara 2 stage berurutan = GOP :

NM CO₂ di bagian atas menara :

$$Y_{j+1} = \frac{L}{G} X_j + (Y_1 - \frac{L}{G} X_0)$$

$$\text{GOP : } Y_{j+1} = 134 X_j + (0,008888 - 134 . 0)$$

$$Y_{j+1} = 134 X_j + 0,008888$$



4. Hubungan arus-arus keluar setiap stage :

keseimbangan CO₂ di kedua fase:

Konstanta Henry untuk CO₂ di air (Perry) pada suhu 5 °C ; 10 atm :

$$H = 876 \text{ atm/fraksi mol}$$

maka, $H = (P_{CO_2} \text{ di fase gas}) / (\text{fraksi mol CO}_2 \text{ di fase cair})$

$$H = (y \cdot P_{tot}) / (x)$$

$$y = \frac{H \cdot x}{P_{tot}} = \frac{876}{10} x = 87,6 x$$

maka data keseimbangan :

x	X	y=87,6 x	Y
0	0	0	0
0,0001	0,0001	0,00876	0,00884
0,0004	0,0004	0,00350	0,0363
0,0006	0,0006	0,0701	0,0754
0,0010	0,0010	0,0876	0,0960
0,0012	0,0012	0,10512	0,1175

atau dinyatakan dalam persamaan :

$$y = 87,6x$$

$$\frac{Y}{1+Y} = 87,6 \frac{X}{1+X}$$

$$Y = \frac{87,6X}{1+(1-87,6)X}$$

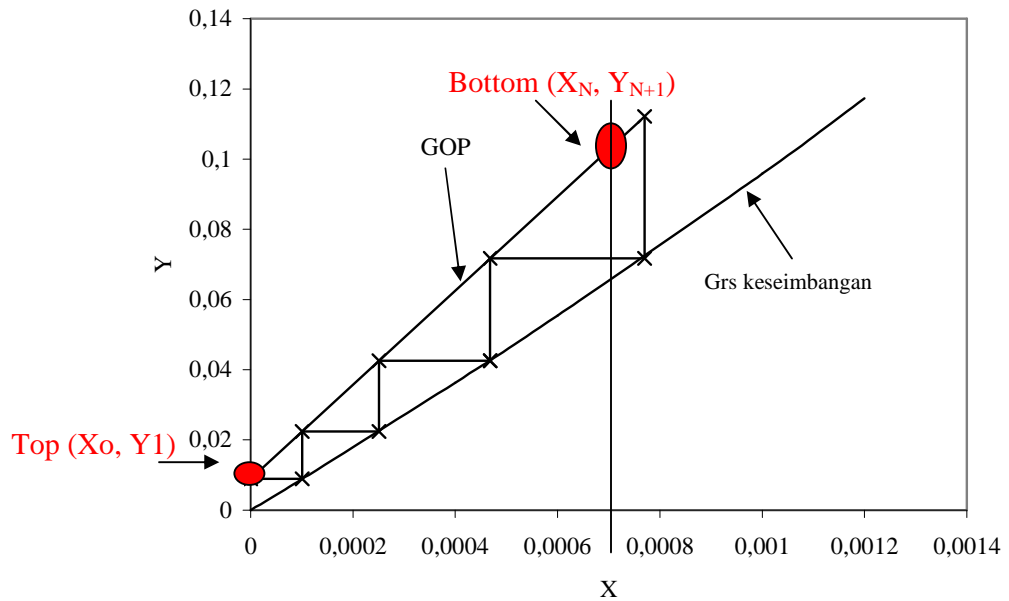
$$\text{atau, } X = \frac{Y}{87,6+(87,6-1)Y}$$

5. Menentukan jumlah stage ideal (stage by stage):

Persamaan keseimbangan,

$$X_{j+1} = \frac{Y_{j+1}}{87,6+(87,6-1)Y_{j+1}}$$

Plot GOP dan Pers keseimbangan:



Perhitungan stage dimulai dari $j=0$. Secara grafis, titik (X_0 , Y_1) dan (X_N , Y_{N+1}) terletak di GOP.

Dari gambar 9, diperoleh jumlah stage ideal = 3,75.

6. Menentukan efisiensi stage:

$$\text{Efisiensi stage} = (3,75 / 7) = 53,57\%$$

Soal latihan.

1. Solut Q dalam arus minya akan diserap menggunakan udara di dalam kolom stripper. Umpan cairan 100 mol/j terdiri atas 20% mol Q dan 80% minyak. Arus umpan udara tidak mengandung Q dan kecepatannya 100 mol/j.

Diketahui pada kondisi alat itu (60°C ; 1 atm) hubungan keseimbangan Q adalah sbb.:

$$(\text{fraksi mol Q di dalam gas}) = 1,5. (\text{fraksi mol Q di fase cair}).$$

$$\text{Atau, } y = 1,5 x$$

Diinginkan konsentrasi Q dalam minyak menjadi 1% mol Q. Tentukan jumlah stage ideal yang dibutuhkan.

2. Amonia dalam udara diabsorbsi menggunakan air di dalam menaraplat pada suhu 68°F dan tekanan atmosferis. Gas dan cairan dikontakkan secara berlawanan arah. Kecepatan gas total masuk menara $1540 \text{ ft}^3/\text{j}$ dan kecepatan air bebas ammonia 75 lb/j. Apabila konsentrasi ammonia berkurang dari 3,52% menjadi 1,29% volum, tentukan jumlah stage ideal yang dibutuhkan.

Data keseimbangan ammonia dalam air dan dalam udara pada 68°F ; 1 atm adalah sbb.:

X	$\frac{\text{lbmol NH}_3}{\text{lbmol H}_2\text{O}}$: 0,0164	0,0252	0,0349	0,0455	0,0722
Y	$\frac{\text{lbmol NH}_3}{\text{lbmol udara}}$: 0,021	0,032	0,042	0,053	0,08