

## KESEIMBANGAN UAP CAIR

Pustaka:

- Foust, A.S., 1960, **Principles of Unit Operation**, John Wiley and Sons.  
Geankoplis, C.J., 1985, **Transport Processes and Unit Operation**, Prentice Hall, Inc., Singapore.  
Treybal, R.E., 1980, **Mass Transfer Operations**, McGraw-Hill Book Co., Singapore.  
Wankat, P.C., 1988, **Equilibrium Staged Separation**, Prentice Hall, New Jersey.

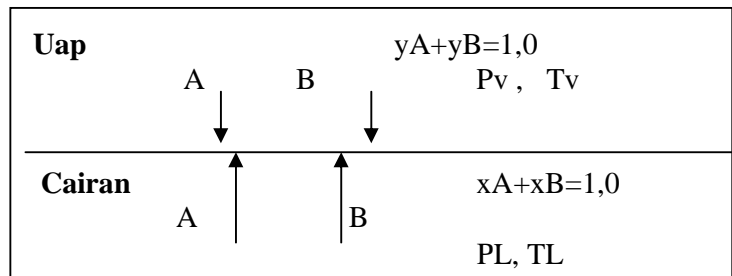
Materi :

- Konsep keseimbangan,
- Kaidah fase,
- Bentuk dan sumber data keseimbangan UAP- CAIR,
- Aplikasi data keseimbangan uap-cair:
  - Penentuan kondisi jenuh, seperti uap jenuh dan cair jenuh.
  - Penentuan jumlah stage pada Menara Distilasi.

Setiap mahasiswa wajib membawa kertas grafik/milimeter.

### a. Konsep keseimbangan.

Ditinjau sistem kontak uap dan cair campuran **A dan B**:



$x$  =fraksi mol difase cair.

$y$  =fraksi mol difase uap.

Pada keadaan seimbang (equilibrium, ideal, teoritis), tidak ada perubahan  $T$ ,  $P$ , dan fraksi-fraksi dalam sistem, dan akan tercapai:

- Kesetimbangan termal = perpindahan panas netto=0,  
atau tidak ada driving force perpindahan panas ( $\Delta T=0$ ), maka:  $T_v = T_L$   
 $T_v$ =suhu uap,  
 $T_L$ =Suhu cairan.
- Kesetimbangan mekanis =Kesetimbangan semua gaya-gaya:  $P_v = P_L$
- Kesetimbangan potensi kimia:  
 $\Delta G$  sistem  $\rightarrow$  minimum.  
 $(\mu_i)_V = (\mu_i)_L$

Dari persamaan ini akan diperoleh hubungan antara komposisi di fase uap dan di fase cairan  $\rightarrow$  **Bidang termodinamika**.

**b. Kaidah fase(Hukum fase Gibbs)**

$$F=C-P+2$$

F=jumlah design variabel; yaitu **T, P, & komposisi**.

C=jumlah komponen.

P=jumlah fase.

**Contoh:** sistem keseimbangan antara cairan dengan uap untuk campuran biner(A&B).

**Hk Gibbs** dengan:

$$C=2$$

$$P=2$$

$$F=2-2+2=2$$

**Artinya**, dengan mengambil 2 variabel, maka variabel lainnya dievaluasi.

Dua design variabel ( D V ) itu ialah:

D.V.	<b>Dievaluasi:</b>
T&P	komposisi
T&X	P,Y
P&Y	T,X

**c. Bentuk dan sumber Data keseimbangan UAP- CAIR:**

Campuran biner:

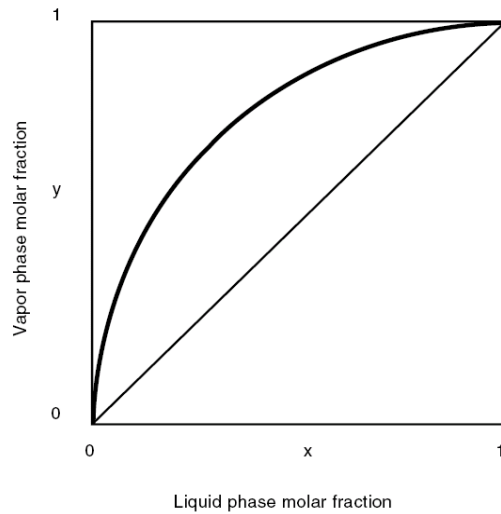
1. disajikan dlm tabel Y-X-T (pada P tertentu):

contoh: tabel 13-1 (Perry,6 th ed. hal.13-11).

**TABLE 13-1 Constant-Pressure Liquid-Vapor Equilibrium Data for Selected Binary Systems (Continued)**

Component		Temperature, °C	Mole fraction A in		Total pressure, kPa
A	B		Liquid	Vapor	
		70.4 72.7 76.9	0.820 0.905 0.984	0.615 0.725 0.937	
Ethanol	Water	95.5 89.0 86.7 85.3 84.1 82.7 82.3 81.5 80.7 79.8 79.7 79.3 78.74 78.41 78.15	0.0190 0.0721 0.0966 0.1238 0.1661 0.2337 0.2608 0.3273 0.3965 0.5079 0.5198 0.5732 0.6763 0.7472 0.8943	0.1700 0.3891 0.4375 0.4704 0.5089 0.5445 0.5580 0.5826 0.6122 0.6564 0.6599 0.6841 0.7385 0.7815 0.8943	101.3
Ethyl acetate	Ethanol	78.3 76.6 75.5 73.9 72.8 72.1 71.8 71.8 71.9 72.2 73.0 74.7 76.0 77.1	0.0 0.050 0.100 0.200 0.300 0.400 0.500 0.540 0.600 0.700 0.800 0.900 0.950 1.000	0.0 0.102 0.187 0.305 0.389 0.457 0.516 0.540 0.576 0.644 0.726 0.837 0.914 1.000	101.3

2. disajikan dlm diagram Y-X (kurva McCabe-Thiele), diplot dari data table.



3. disajikan dlm diagram T-komposisi atau T-(X;Y).  
X dan Y adalah fraksi mol komponen yang lebih volatil

**Contoh:**

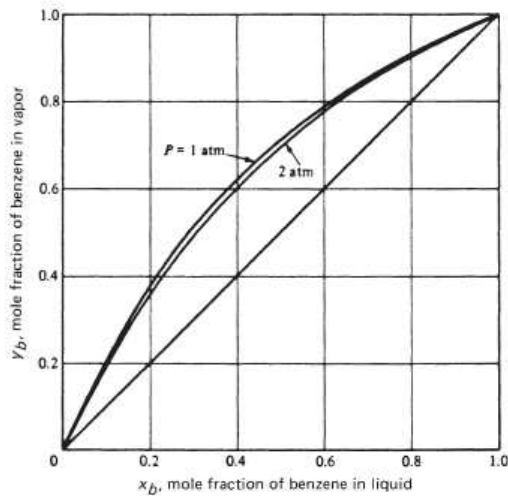


FIG. 13-8 Isobaric  $y$ - $x$  curves for benzene-toluene. (Brian, Staged Cascades in Chemical Processing, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1972.)

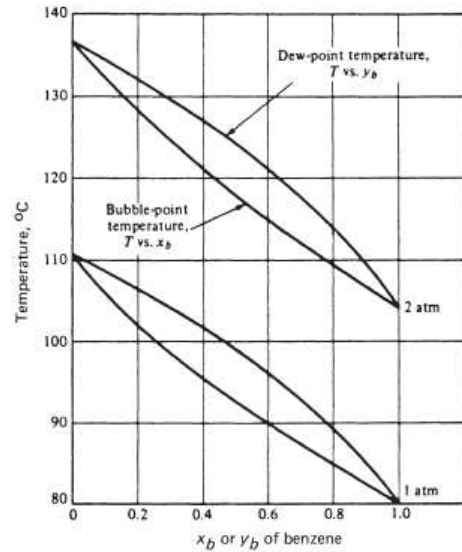
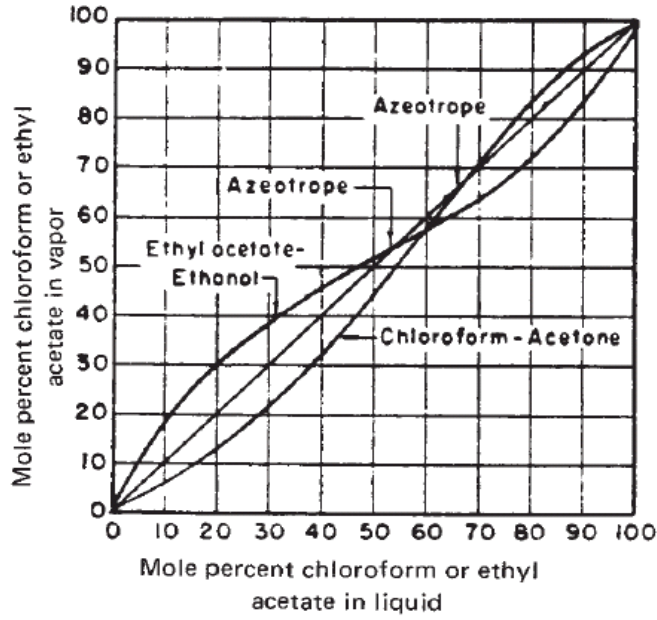


FIG. 13-9 Isobaric vapor-liquid equilibrium data for benzene-toluene. (Brian, Staged Cascades in Chemical Processing, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1972.)

**Latihan :** Gambarkan kurva Y-X dan kurva T-komposisi untuk campuran etanol-air pada 1 atm.

**Campuran azeotrop** adalah campuran yang mempunyai keadaan dimana campuran memiliki komposisi di fase uap sama dengan di fase cair ( $Y=X$ ) :



**FIG. 13-10** Vapor-liquid equilibriums for the ethyl acetate-ethanol and chloroform-acetone systems at 101.3 kPa (1 atm).

**3a. Minimum boiling point azeotrop.**

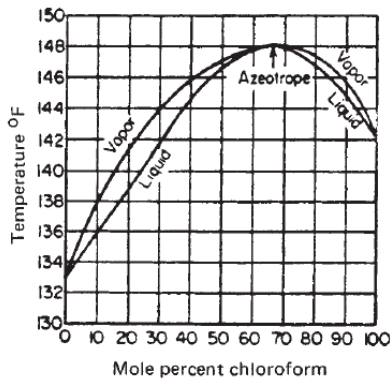
Kondisi azeotrop dengan  $T_{\text{azeotrop}} < T_{\text{boiling point komponen}}$ .

**Contoh: etanol-air, Aceton-Cl<sub>2</sub>, Kloroform-metanol.**

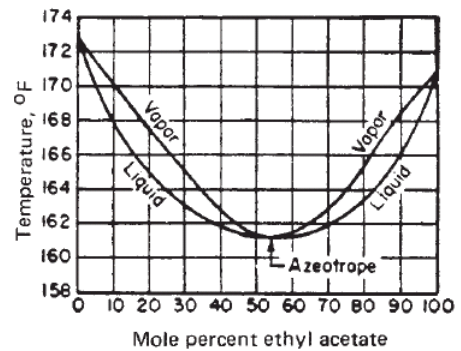
**3b. Maximum boiling azeotrop.**

kondisi azeotrop dgn  $T_{\text{azeotrop}} > T_{\text{boiling point komponen}}$ .

**contoh: kloroform - acetone.**



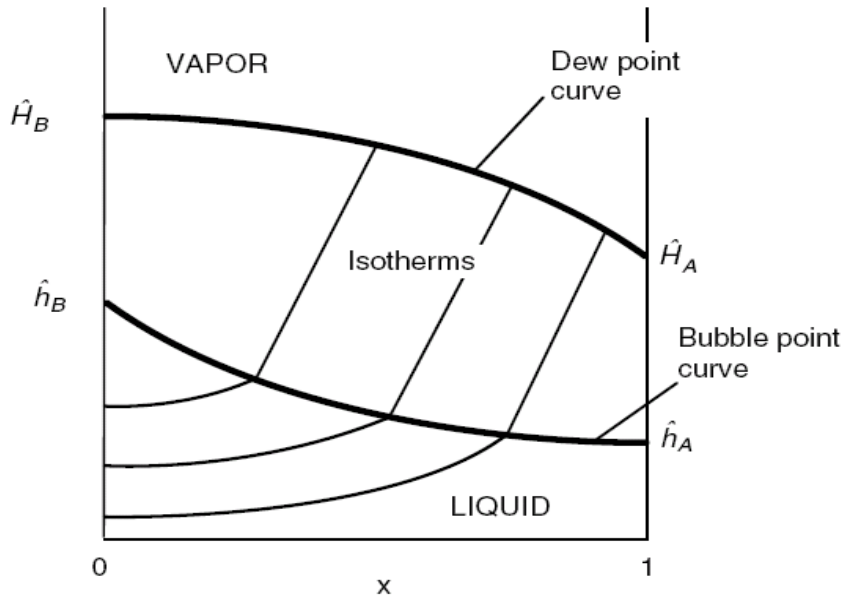
**FIG. 13-12** Liquid boiling points and vapor condensation temperatures for maximum-boiling azeotrope mixtures of chloroform and acetone at 101.3 kPa (1 atm) total pressure.



**FIG. 13-11** Liquid boiling points and vapor condensation temperatures for minimum-boiling azeotrope mixtures of ethyl acetate and ethanol at 101.3 kPa (1 atm) total pressure.

4. Disajikan dalam diagram entalpi-komposisi (diagram ponchon-savarit),

Entalpi campuran dievaluasi berdasarkan data (T-komposisi), cara evaluasi ini dapat dilihat di Geankoplis hal.670(3th ed.).



Contoh: Data keseimbangan campuran n-heksan dan n oktan :

T, °F	fraksi mol nC6 di fase cair	fraksi mol nC6 di fase uap	Entalpi cairan, Btu/lbmol	Entalpi uap, Btu/lbmol
155,7	1,0	1,0	7.586	20.085
160	0,917	0,986	8.030	20.309
180	0,600	0,900	9.794	21.642
200	0,377	0,773	11.557	23.287
220	0,215	0,592	13.309	25.432
240	0,099	0,342	15.064	28.140
258,2	0	0	16.559	31.405

Latihan: Gambarkan kurva entalpi-komposisi campuran n-heksan dan n oktan.

TUGAS: Gambarkan kurva entalpi-komposisi campuran etanol-air (lihat appendix A.3-23, Geankoplis).

A.3-23 Equilibrium Data for Ethanol-Water System at 101.325 kPa (1 Atm)\*

Vapor-Liquid Equilibria, Mass Fraction Ethanol				Vapor-Liquid Equilibria, Mass Fraction Ethanol				Enthalpy (btu/lb <sub>m</sub> of mixture)			Enthalpy (kJ/kg of mixture)			
Temperature °C	Temperature °F	x <sub>A</sub>	y <sub>A</sub>	Temperature °C	Temperature °F	x <sub>A</sub>	y <sub>A</sub>	Temperature °C	Temperature °F	Mass Fraction	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
100.0	212	0	0	81.0	177.8	0.600	0.794	100.0	212	0	180.1	1150	418.9	2675
98.1	208.5	0.020	0.192	80.1	176.2	0.700	0.822	91.8	197.2	0.1	159.8	1082	371.7	2517
95.2	203.4	0.050	0.377	79.1	174.3	0.800	0.858	84.7	184.5	0.3	135.0	943	314.0	2193
91.8	197.2	0.100	0.527	78.3	173.0	0.900	0.912	82.0	179.6	0.5	122.9	804	285.9	1870
87.3	189.2	0.200	0.656	78.2	172.8	0.940	0.942	80.1	176.2	0.7	111.1	664	258.4	1544
84.7	184.5	0.300	0.713	78.1	172.7	0.960	0.959	78.3	173.0	0.9	96.6	526	224.7	1223
83.2	181.7	0.400	0.746	78.2	172.8	0.980	0.978	78.3	173.0	1.0	89.0	457.5	207.0	1064
82.0	179.6	0.500	0.771	78.3	173.0	1.00	1.00							

\* Reference state for enthalpy is pure liquid at 273 K or 0°C.  
Source: Data from L. W. Cornell and R. E. Montonna, *Ind. Eng. Chem.*, 25, 1331 (1933); and W. A. Noyes and R. R. Warfel, *J. Am. Chem. Soc.*, 23, 463 (1901), as given by G. G. Brown, *Unit Operations*, New York: John Wiley & Sons, Inc., 1950. With permission.

## 5. data keseimbangan multi komponen

Untuk alat-alat yang melibatkan multi komponen (juml.komp. $\geq 1$ ), biasanya perhitungan perlu diselesaikan dengan bantuan komputer, maka diperlukan hubungan keseimbangan dalam bentuk persamaan matematis.

### Hubungan keseimbangan uap-cair:

$$Y_i = K_i \cdot X_i$$

Dengan,

$K_i$ =konstanta keseimbangan komponen = f ( T, P, komponen).

### Sumber dan bentuk $K_i$ :

5.1 Untuk campuran **Hidrokarbon(HC)**ringan:

- $K$  disajikan dlm grafik Depriester.
- $K$  disajikan dlm persamaan spt ditabel 2-4 (wankat).

5.2 Untuk campuran non ideal (P tinggi), hubungan keseimbangan mengikuti konsep **fugasitas** $\rightarrow$ **termodinamika**

$$f_i^L = f_i^V$$

$$\delta_i \cdot X_i \cdot P_i^\circ = Y_i \cdot \phi_i \cdot P$$

$$K_i = Y_i/X_i = (\delta_i \cdot P_i^\circ) / (\phi_i \cdot P)$$

5.3 Untuk campuran ideal (P rendah) **1atm $\geq$ P** maka  $\delta_i=1$   $\phi_i=1$  atau mengikuti hukum **Roult-Dalton**.

Hk.Roult:  $P_i = X_i \cdot P_i^\circ$

Hk.Dalton:  $P_i = Y_i \cdot P_i^\circ$

$$K_i = Y_i/X_i = P_i^\circ/P$$

Dengan,

$P_i$  =tekanan parsial i.

$P$ =tekanan total

$P_i^\circ$ =tekanan uap murni komponen i,

Data  $P_i^\circ$  telah banyak disajikan dlm tabel atau dievaluasi dgn pers.Antoine: contoh dpt dilihat di Appendix Coulson.

Seringkali data keseimbangan dlm bentuk kurva (**T-komposisi**) diperlukan, sedangkan data keseimbangan yg tersedia hanya konstanta keseimbangan.

### 1. Menentukan kurva(T-komposisi) dari data $K_i$ pada campuran biner (A&B):

ditinjau campuran dan A&B pada P atm.

Penyelesaian:

Data P.

T dePriester chart  $\rightarrow$   $K_A$  &  $K_B$

**Hubungan  $K_i$  dg  $X_i$ & $Y_i$  :**

$$Y_A = K_A \cdot X_A$$

$$Y_B = K_B \cdot X_B$$

Dgn,  $Y_A + Y_B = 1,00$   $X_A + X_B = 1,00$

Manipulasi:

$$Y_a = K_a \cdot X_a$$

$$Y_b = K_b \cdot (1 - X_a)$$

---

$$1 = K_a \cdot X_a + K_b \cdot (1 - X_a)$$

$$1 = (K_A - K_B) \cdot X_A = K_B$$

$$X_A = 1 - K_B / K_A - K_B$$

**Algoritma:**

Data P → T dgn kisaran Y<sub>bpA</sub> ed T<sub>bpB</sub> → K<sub>A</sub>, K<sub>B</sub> → X<sub>A</sub> = 1 - K<sub>B</sub> / K<sub>A</sub> - K<sub>B</sub>

Y<sub>A</sub> = K<sub>A</sub> · X<sub>A</sub> → ditabulasikan

T	X <sub>A</sub>	Y <sub>A</sub>
T <sub>bpA</sub>	1,0	
T <sub>bpB</sub>		

**6. Data keseimbangan disajikan dlm data relatif volatilitas.**

Misal untuk sistem biner (A&B):

$$\alpha_{AB} = \frac{K_A}{K_B}$$

$$\alpha_{AB} = \frac{P_A^o}{P_B^o}$$

dengan,

$$Y_B = 1 - Y_A$$

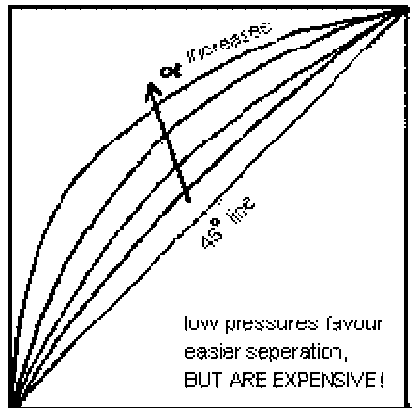
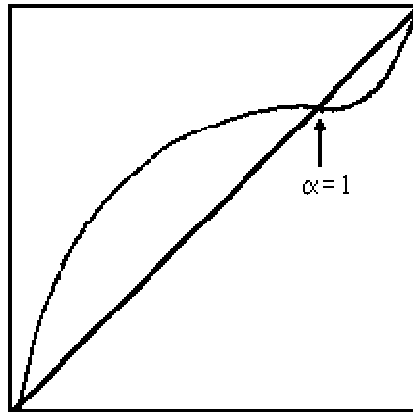
$$X_B = 1 - X_A$$

maka

$$\alpha_{AB} = \frac{\frac{Y_A}{X_A}}{\frac{Y_B}{X_B}}$$

**Buktikan jika:**

$$Y_A = \frac{\alpha_{AB} X_A}{(1 + (\alpha_{AB} - 1) X_A)}$$



**d. Aplikasi data keseimbangan uap-cair:**

1. Penentuan kondisi jenuh, seperti uap jenuh dan cair jenuh.
2. Analisis flash distillation.
3. Penentuan jumlah stage pada MD.