

Keseimbangan
dan
Flash Calculation

Kesetimbangan Uap-Cair

- Kesetimbangan uap-cair (Vapor-Liquid Equilibrium, VLE) adalah kondisi di mana fase cair dan fase uap suatu zat berada dalam keseimbangan termodinamika. Dalam keadaan ini, laju penguapan cairan sama dengan laju kondensasi uapnya, sehingga tidak ada perubahan bersih dalam jumlah masing-masing fase.
- Energi Gibbs = 0

Kesetimbangan Uap-Cair

- Kesetimbangan Termal:**

Suhu fase cair dan fase uap harus sama agar tidak ada perpindahan panas antar fase. Hal ini dirangkum dalam persamaan:

$$T_{\text{liquid}} = T_{\text{vapor}}$$

- Kesetimbangan Mekanik:**

Tekanan fase cair dan uap harus sama, sehingga tidak ada perbedaan tekanan yang mendorong perpindahan fluida. Ditulis sebagai:

$$P_{\text{liquid}} = P_{\text{vapor}}$$

Namun, jika antarmuka cair-uap melengkung (misalnya dalam droplet atau gelembung), tekanan bisa berbeda sesuai dengan persamaan Laplace.

- Kesetimbangan Potensial Kimia:**

Pada keadaan kesetimbangan, potensi kimia suatu spesies dalam fase cair dan uap harus sama, dirangkum dalam persamaan:

$$\mu_{\text{liquid}} = \mu_{\text{vapor}}$$

Jika potensi kimia tidak seimbang, maka terjadi perpindahan massa untuk mencapai kesetimbangan.

Kesetimbangan Uap-Cair

- Dalam kesetimbangan uap-cair (Vapor-Liquid Equilibrium, VLE), fugasitas digunakan sebagai ukuran "kecenderungan suatu zat untuk meninggalkan fase cair atau uap". Agar kesetimbangan tercapai, fugasitas di kedua fase harus sama.

$$f_i^L = f_i^V$$

Kesetimbangan Uap-Cair

- Dalam kondisi kesetimbangan, fugasitas suatu komponen dalam fase cair dan uap harus sama:

- Fugasitas dalam fase uap

$$f_i^L = f_i^V$$

$$f_i^V = \phi_i^V y_i P$$

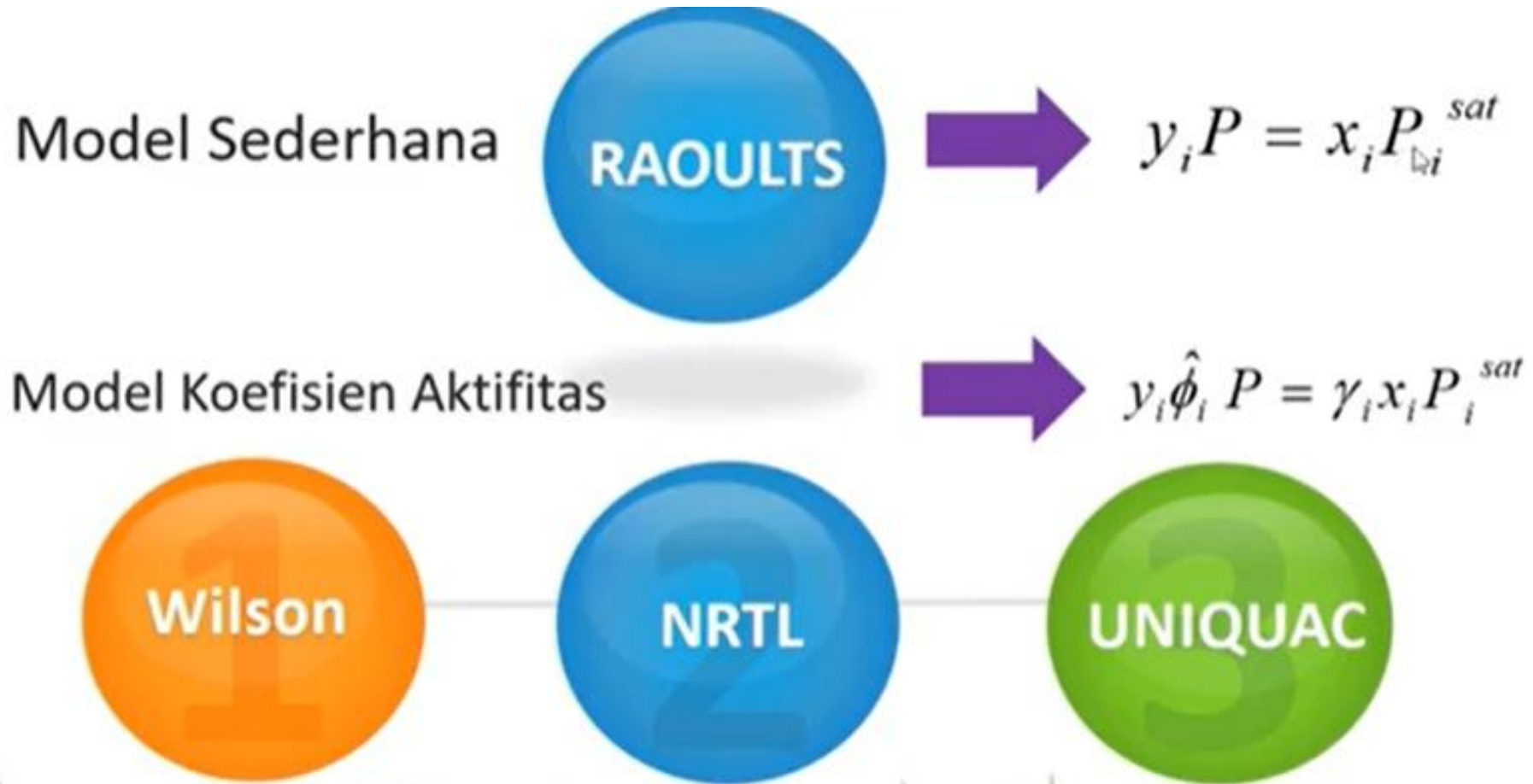
- Fugasitas dalam fase cair

$$f_i^L = \gamma_i x_i P_i^*$$

Kesetimbangan Uap-Cair

- Jika $f_i^L > f_i^V$, zat cenderung menguap
- Jika $f_i^L < f_i^V$, zat cenderung mengembun
- Jika $f_i^L = f_i^V$, zat berada pada kesetimbangan

Keseimbangan Uap-Cair



Kesetimbangan Uap-Cair



$$y_i P = x_i P_i^{sat}$$

Asumsi Hukum Roults

1. Fase uap adalah gas ideal (P rendah)
2. Fase cair adalah campuran ideal

$$\hat{f}_i^V = \hat{f}_i^L$$

$$\cancel{y_i \phi_i} P = \cancel{\gamma_i} x_i P_i^{sat}$$

$$y_i P = x_i P_i^{sat}$$

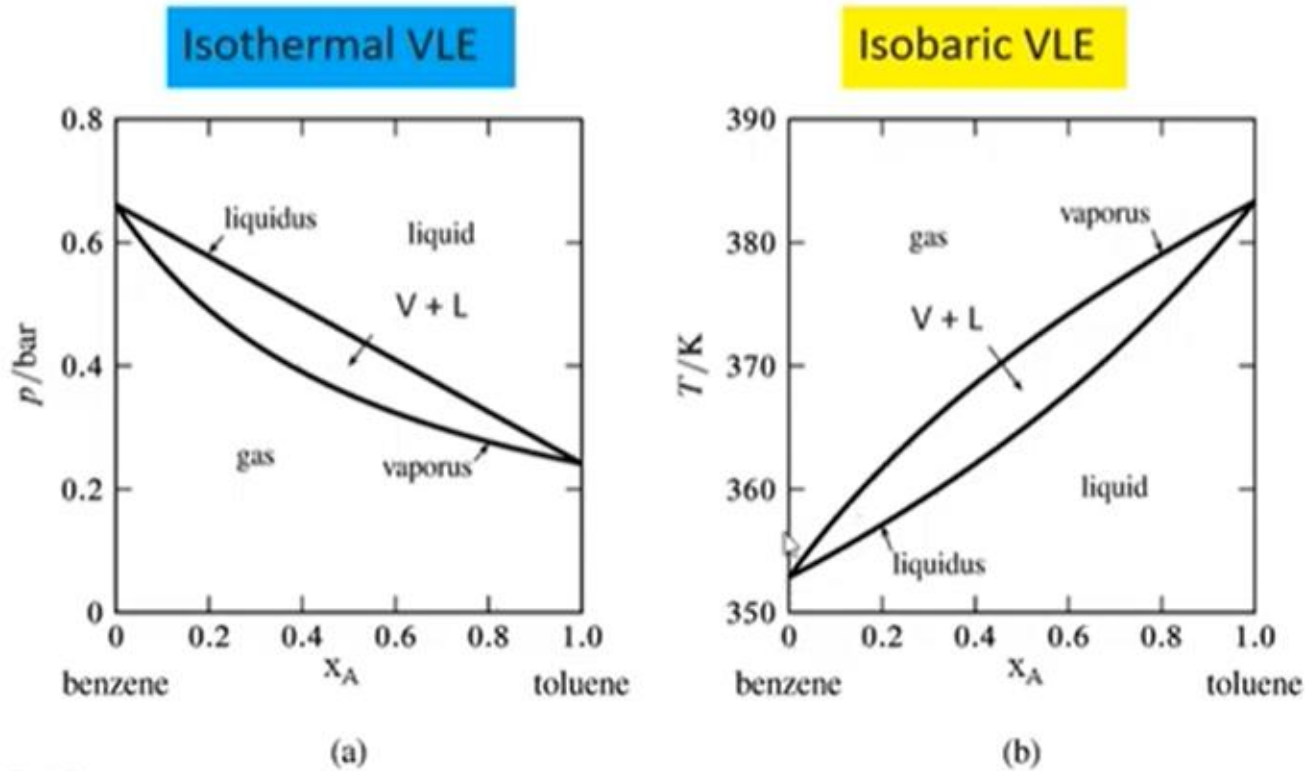


$$K = \frac{P^{sat}}{P} = \frac{y_i}{x_i}$$

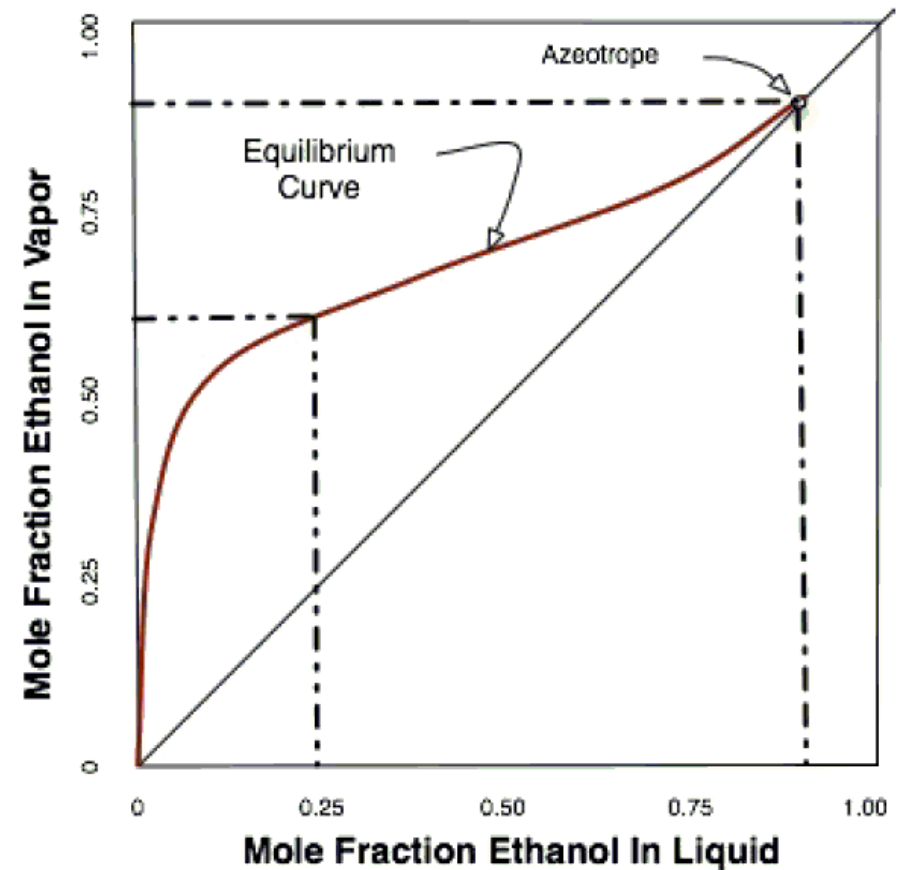
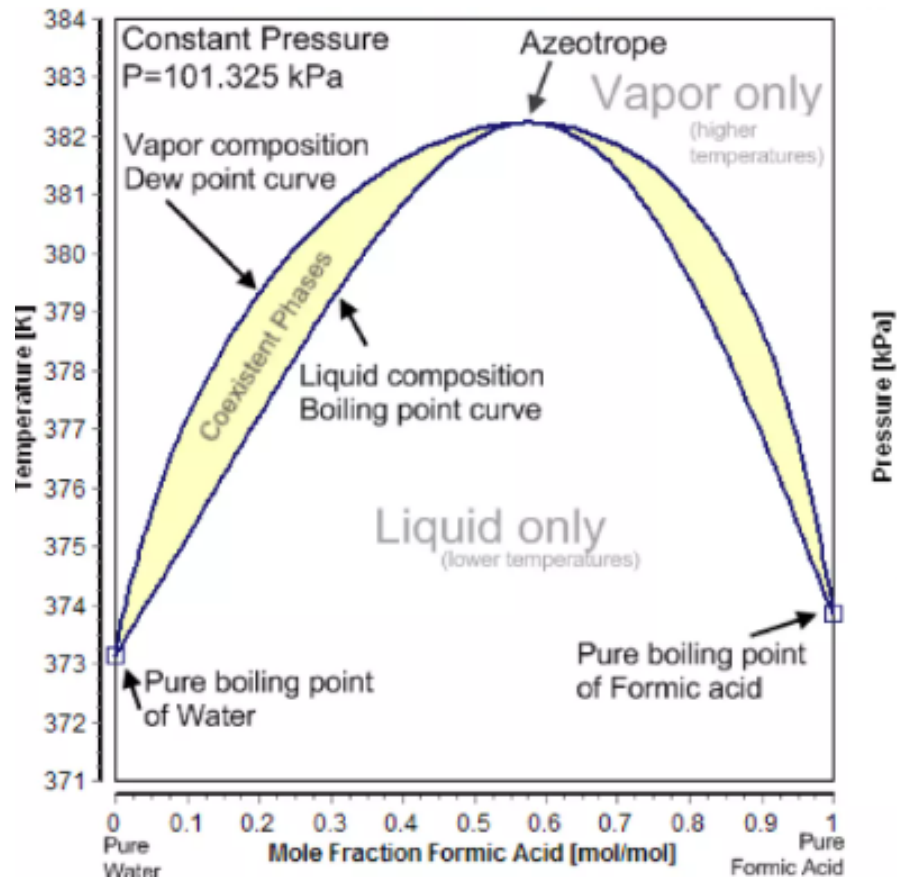
$$\log P^{sat} = \frac{A}{T + C - 273,15} - B$$

Kesetimbangan Uap-Cair

VLE campuran Toluene (A) + Benzene (B)



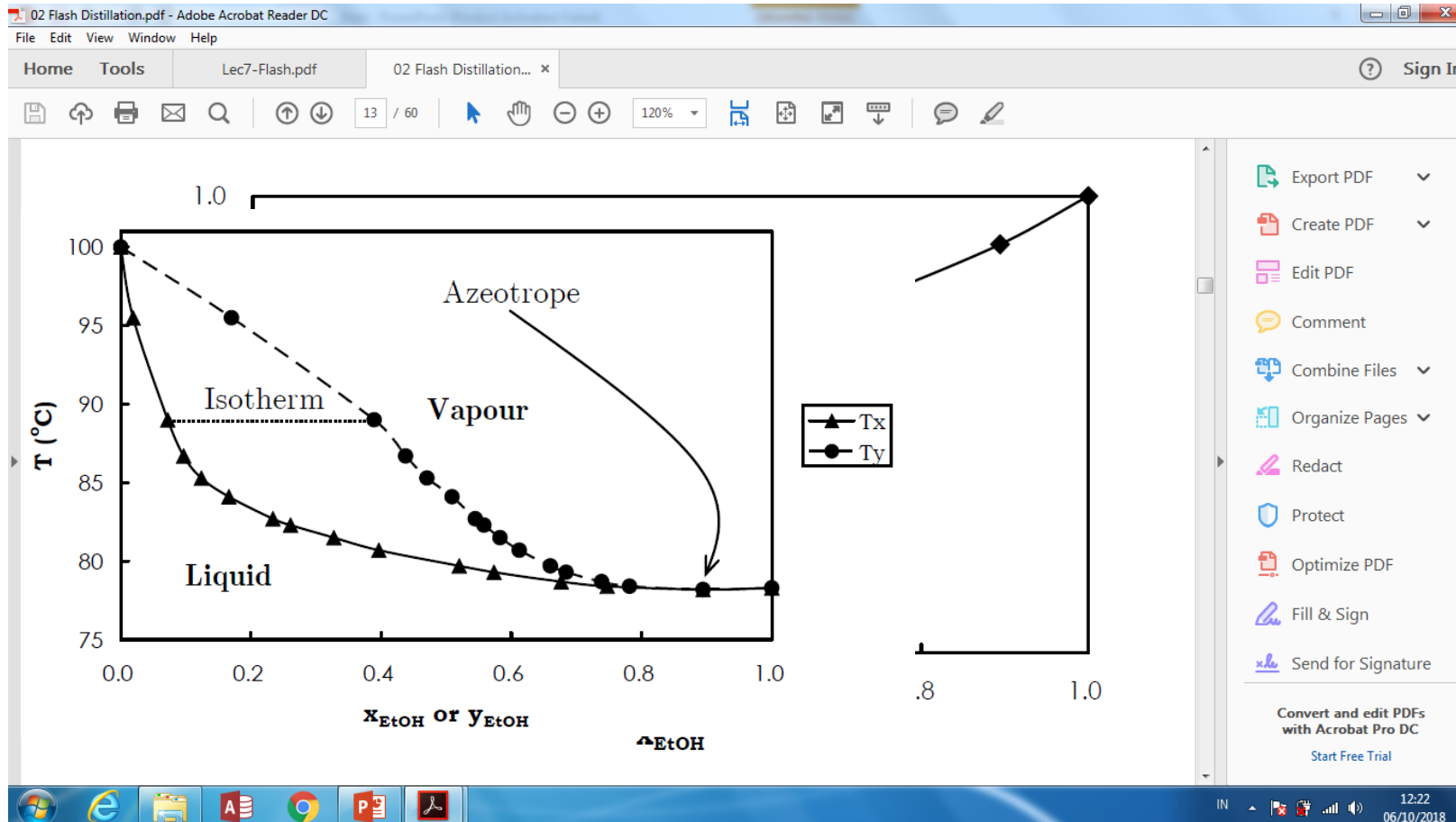
Keseimbangan Uap-Cair



Kesetimbangan Uap-Cair Azeotropik (Azeotropic VLE)

- Komposisi uap dan cair sama: $x_i=y_i$ pada kondisi azeotropik.
- Tidak dapat dipisahkan dengan distilasi biasa: Karena tidak ada perubahan komposisi dalam proses penguapan.
- Titik didih tetap: Campuran azeotrop memiliki titik didih konstan pada tekanan tertentu, seperti zat murni.

VLE Diagram of Ethanol



Flash Distillation

- Distilasi kilat (*flash distillation*) merupakan salah satu proses pemisahan yang paling sederhana namun mendasar dalam bidang

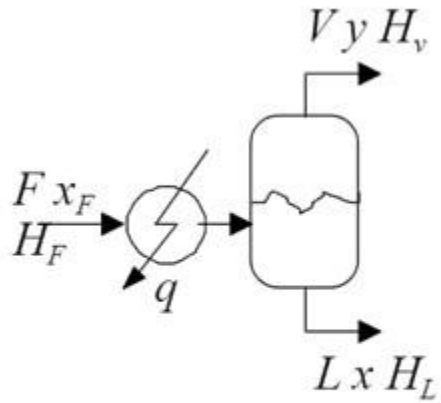


Figure 1. Flash drum

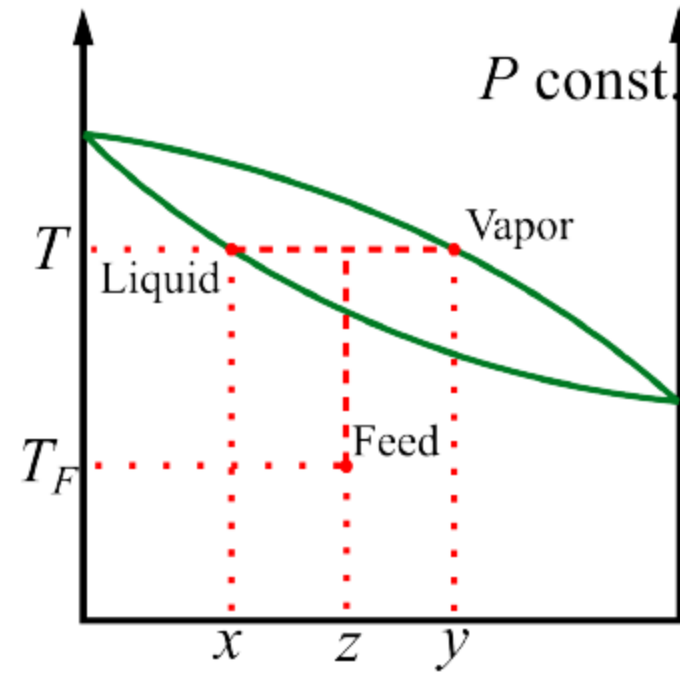
Distilasi ini, suatu campuran **cair** yang terdiri atas beberapa komponen akan dipanaskan dan **sebagian** diuapkan di dalam suatu peralatan yang disebut *flash drum* pada tekanan dan temperatur

yang menghasilkan dua fasa yang berbeda, yaitu **fasa uap** yang mengandung komponen yang lebih mudah menguap (bertitik didih rendah) dan **fasa cair** yang mengandung konsentrasi lebih tinggi dari komponen yang kurang mudah menguap (bertitik didih tinggi).

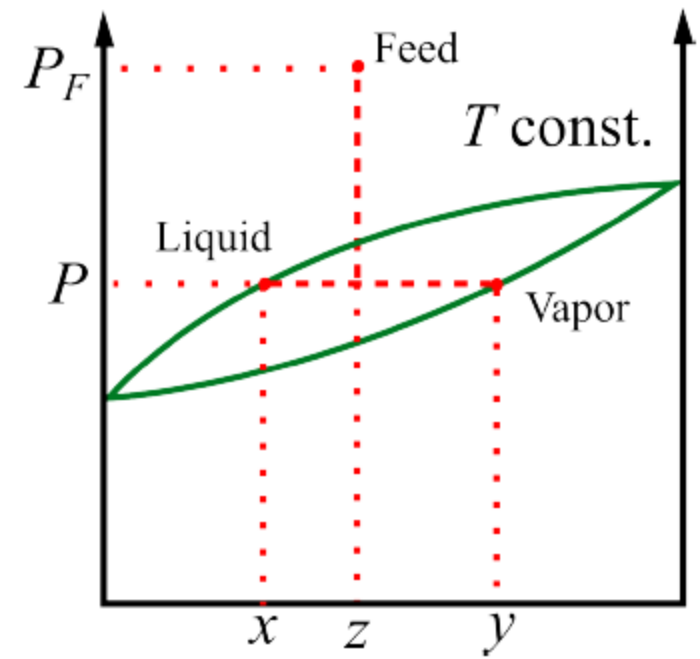
Prinsip Flash Distillation

- Apabila umpan yang masuk berupa cairan, maka cairan tersebut terlebih **dipanaskan** hingga mencapai temperatur yang diinginkan, kemudian dialirkan melalui **katup ekspansi (throttling valve)** atau **nozle** menuju ke *flash drum*. Ketika cairan memasuki *flash drum*, terjadi **penurunan tekanan secara mendadak**, sehingga sebagian dari cairan langsung menguap secara cepat — inilah sebabnya proses ini disebut “*flash*” distillation.
- Penguapan yang sangat cepat tersebut menciptakan kondisi di mana antara fasa cair dan fasa uap terbentuk **kesetimbangan termodinamika**.
- Di dalam *flash drum*, **fasa uap** naik ke bagian atas bejana dan diambil sebagai produk atas (*overhead product*), sedangkan **fasa cair** mengalir ke bagian bawah dan dikeluarkan sebagai produk bawah (*bottoms product*).
- Karena waktu tinggal (residence time) yang singkat dan kontak yang efektif antara kedua fasa, maka komposisi uap dan cairan dalam *flash drum* umumnya dianggap berada dalam **keadaan setimbang**.

Phase Diagram

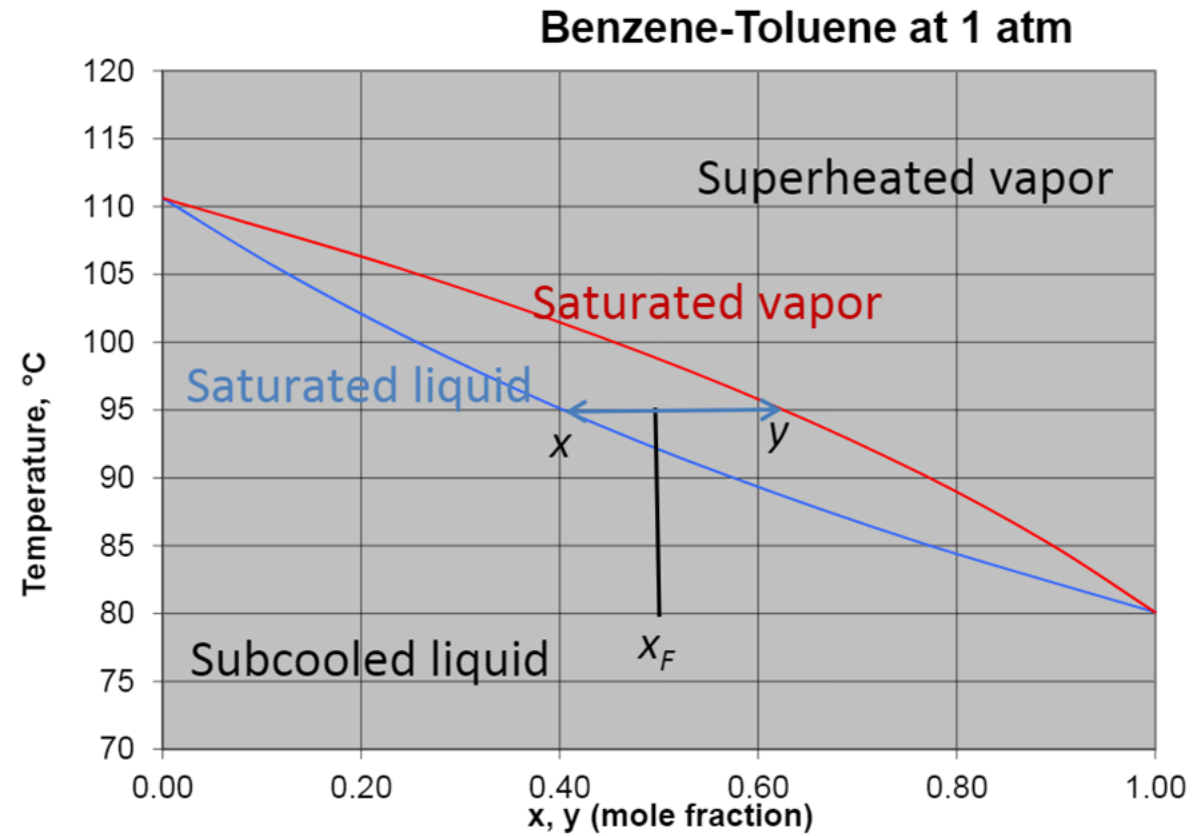


(a) $T - xy$



(b) $P - xy$

Example



Flash Drum Variables and Specifications

- Seperti dalam masalah desain, laju umpan, komposisi, dan entalpi biasanya ditentukan. Besarnya variabel ditentukan oleh $C + 1$, di mana C adalah jumlah komponen dalam umpan.
- Akan tetapi jumlah dari spesifikasi yang diperlukan tidak tergantung pada jumlah komponen. Karena hubungan kesetimbangan dinyatakan dalam satuan molar, aliran dan komposisi harus dalam **aliran molar dan fraksi mol**.
- Sehingga diperlukan dua spesifikasi untuk menentukan variabel drum flash. Ini bisa dua dari tiga berikut ini:
 - Tekanan operasi P
 - Suhu operasi T
 - Bagian dari umpan yang diuapkan, V / F .

Equilibrium Relations

- Campuran senyawa non-polar seperti hidrokarbon yang koefisien aktivitasnya (γ) adalah satu dan faktor K tersedia dalam literatur untuk banyak senyawa sebagai fungsi suhu dan tekanan, yaitu, tidak tergantung pada komposisi cair dan komponen lainnya. dalam campuran.
- Campuran ideal dengan gaya antarmolekul yang sama dimana aktivitas fugitas adalah satu dan faktor K men
$$K_i(T, P) = \frac{P_i^0(T)}{P}$$
 uap komponen terhadap tekanan absolut cair. ini dikenal sebagai hukum Raoult:

Tekanan Uap

- Tekanan uap didapatkan dari persamaan antoine:

$$P_{\frac{o}{i}}(T) = e^{A_i - \frac{B_i}{T + C_i}}$$

Neraca Massa

- $F = V + L$ (1)

$$L = F - V$$

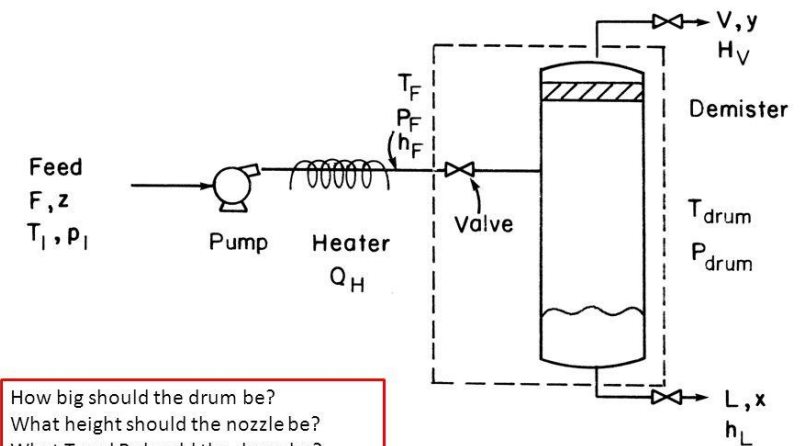
- $F z_i = V y_i + L x_i$ (2)

Hubungan kesetimbangan antara x dan y

- $y_i = K_i x_i$ (3)

- $F z_i = V K_i x_i + L x_i$

Goal 1: Design a flash drum



How big should the drum be?
What height should the nozzle be?
What T and P should the drum be?
What T and P should the feed be?

- $F z_i = V K_i x_i + (F - V) x_i$

- $x_i = \frac{F z_i}{V K_i + (F - V)}$ (4)

- $x_i = \frac{F z_i}{V(K_i - 1) + F}$

- $x_i = \frac{z_i}{V/F(K_i - 1) + 1}$

- $x_i = \frac{z_i}{1 + \frac{V}{F}(K_i - 1)}$

- $\sum x_i = \frac{z_i}{1 + \frac{V}{F}(K_i - 1)} = 1$

- Bubblepoint Calculation :

$$P_{bubble} = \sum x_i P_i^{sat}$$

- Dewpoint Calculation :

$$P_{dew} = \frac{1}{\sum \frac{y_i}{P_i^{sat}}}$$

Example

- The system acetone/acetonitrile/nitromethane at 80 C and 110 kPa has overall composition $z_1 = 0,45$, $z_2 = 0,35$, $z_3 = 0,2$. Assuming that Raoult's law is appropriate to this system, determine L, V, (x_i) , and (y_i) . The vapor pressures of the pure species at 80 C are:

$$P_1^{\text{sat}} = 195,75 \text{ kPa} \quad P_2^{\text{sat}} = 97,84 \text{ kPa} \quad P_3^{\text{sat}} = 50,32 \text{ kPa}$$