

PMD D3
Sperisa Distantina

Materi sebelumnya adalah neraca eksternal, untuk menghitung jumlah stage harus dianalisis neraca internal. Materi Neraca internal adalah materi optional, diberikan jika Neraca eksternal MD sudah benar-benar dikuasai mhs D3.

A. NERACA INTERNAL

Hubungan arus-arus di dalam menara dianalisis menggunakan neraca internal. Setelah diketahui hubungan ini, jumlah stage yang dibutuhkan dapat dievaluasi.

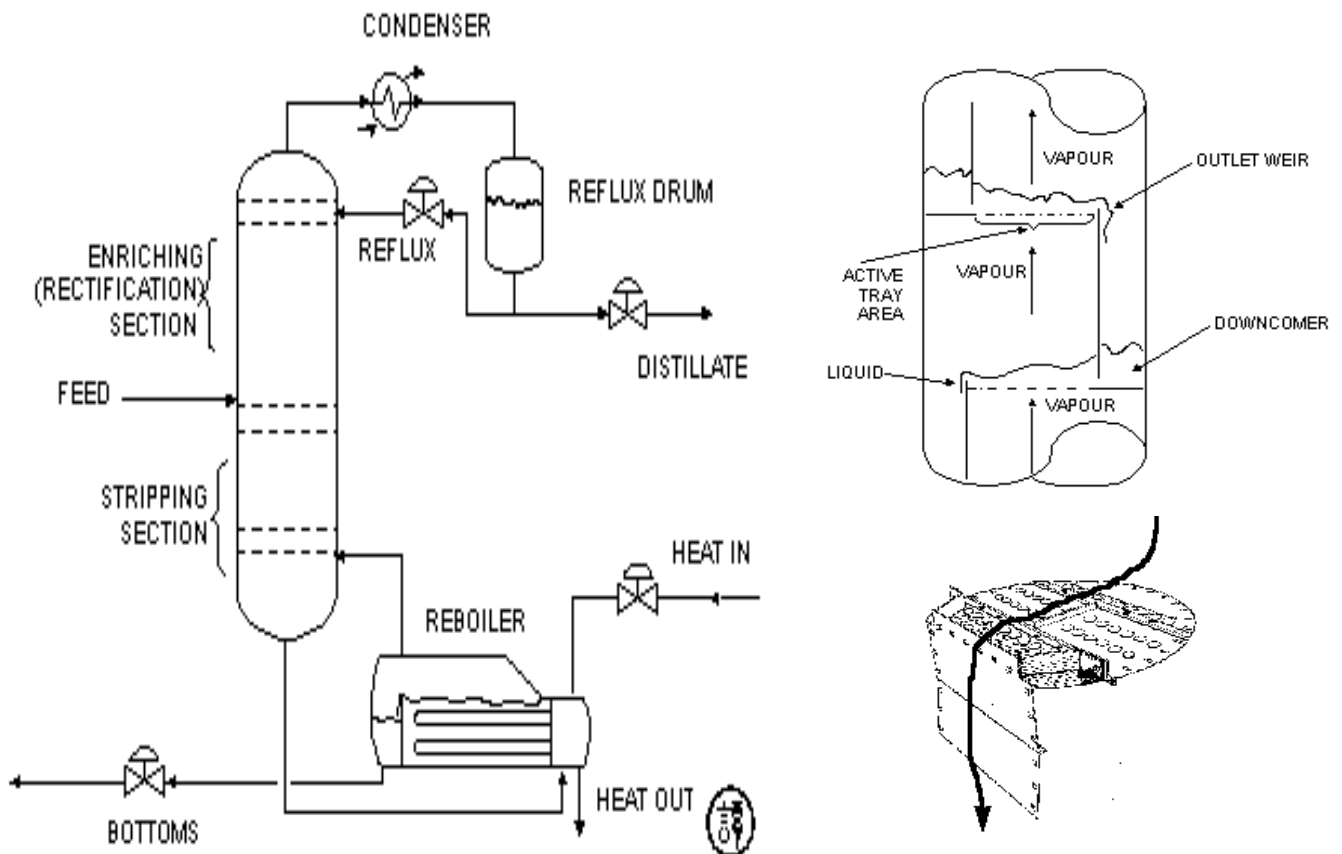
Perhitungan jumlah stage dievaluasi dari neraca di setiap stage dan berurutan. Perhitungan ini dapat dimulai dari atas menara (Top-downward) atau dari bawah menara (bottom-upward).

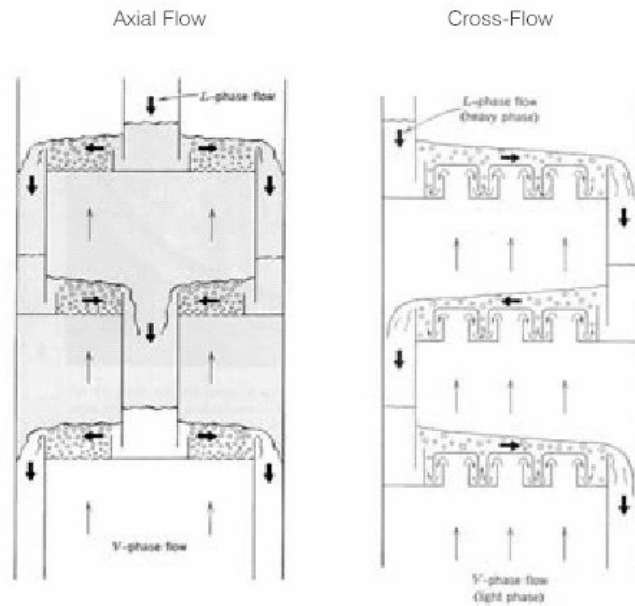
Ditinjau sebuah menara distilasi sederhana : (terdapat sebuah arus umpan, dilengkapi condenser total, dan reboiler parsial)

Dalam menentukan jumlah stage, MD dibagi dalam 2 seksi:

1. enriching, daerah dimana uap diperkaya dengan refluks.
➔ Semua stage di atas feed plate (plat umpan).
2. stripping, daerah dimana terjadi pengambilan sisa-sisa yang volatile yang terbawa oleh cairan.
➔ Semua stage di bawah feed plate.

Adanya 2 seksi ini disebabkan arus umpan (F) yang mengakibatkan perbedaan neraca di bagian plat umpan dan di bawahnya.





Beberapa cara menentukan jumlah stage untuk distilasi biner, yaitu :

1. Sorel (1893).
2. Ponchon dan Savarit (1922) : pengembangan dari Sorel dan dibuat visual grafis.
3. Lewis (1922).
4. McCabe-Thiele (1925) : pengembangan Lewis, tetapi dibuat grafis.

Cara 3 dan 4 ini merupakan cara yang disedehankan, karena sering dijumpai dalam praktek kecepatan alir L dan V tetap (Constant Molal Overflow). Pada kuliah ini, hanya akan dipelajari cara McCabe-Thiele.

Menentukan jumlah stage dengan cara McCabe-Thiele :

Cara ini :

1. lebih cepat memberikan jawaban,
2. data fisik yang dibutuhkan lebih sedikit,
3. harus memenuhi persyaratan Constant Molal Overflow (CMO) atau kecepatan alir molar selama beroperasi tetap di setiap seksi.

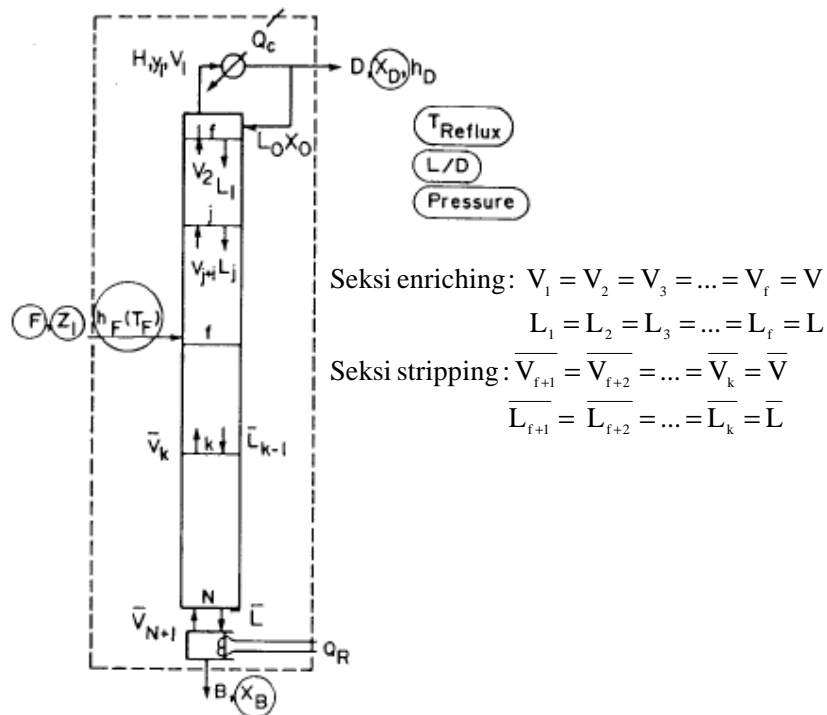


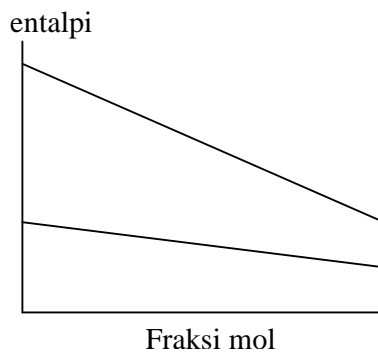
Figure 4-8. Binary distillation column. Circled variables are typically specified in design problems.

Kondisi CMO dapat dipenuhi jika:

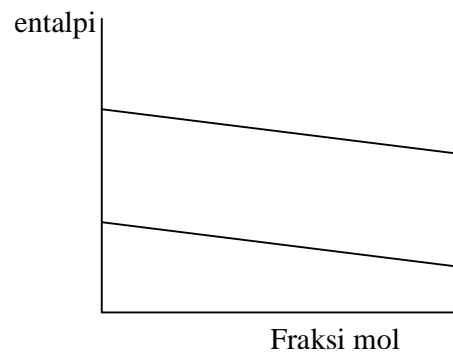
1. satu mol pengembunan uap setara 1 mol penguapan cairan.
2. MD adiabatik atau panas hilang ke sekeliling melalui dinding kecil atau tidak ada.
3. perubahan panas sensible dapat diabaikan terhadap panas laten.
4. Panas laten penguapan bukan fungsi komposisi. Dalam prakteknya, hal ini sulit dijumpai.

Diagram entalpi-komposisi:

NON CMO:



CMO:



Hidrokarbon (HC) ringan biasanya memenuhi CMO.

1. Perhitungan jumlah stage pada seksi enriching :

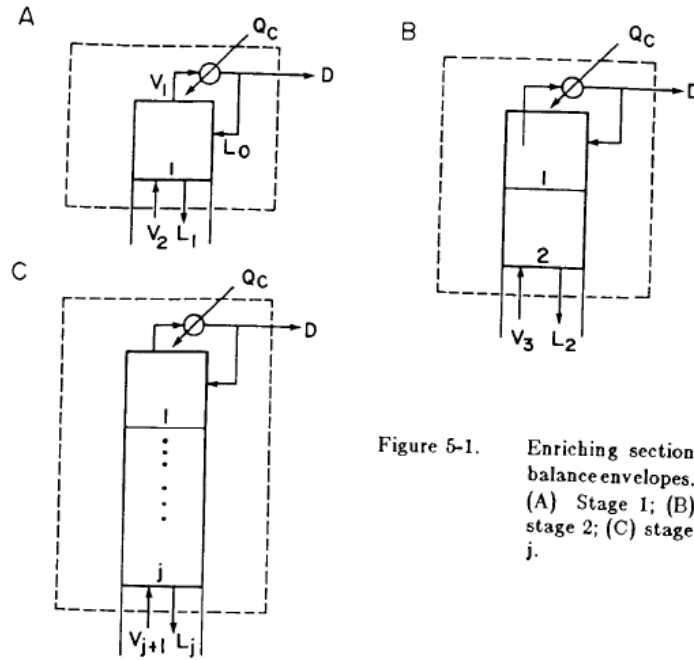


Figure 5-1. Enriching section balance envelopes. (A) Stage I; (B) stage 2; (C) stage j.

Ditinjau stage ke-j :

NM total :

$$V_{j+1} = L_j + D \quad (5)$$

NM komponen volatil :

$$V_{j+1} \cdot Y_{j+1} = L_j \cdot X_j + D \cdot X_D \quad (6)$$

Keseimbangan :

$$X_j = f (Y_j, \text{keseimbangan}). \quad (7)$$

NP:

$$V_{j+1} \cdot H_{j+1} = L_j \cdot h_j + D \cdot h_D + Q_C \quad (8)$$

Dengan,

$$H_{j+1} = f (Y_{j+1}, \text{uap jenuh})$$

$$h_j = f (X_j, \text{cair jenuh})$$

J=0 s/d f

Penyelesaian diarahkan secara grafis, maka semua persamaan disusun agar dapat diplot di kurva Y-X (McCabe-Thiele) atau persamaan $Y = f (X)$.

Dari NM (pers. 5 dan 6) di sekitar plate ke-j diperoleh persamaan garis operasi seksi enriching atau garis operasi atas (GOA) :.....(9)

Jika CMO, maka:(10)

2. Perhitungan jumlah stage pada seksi stripping :

Perhitungan dimulai dari plate tepat di bawah feed plate (f).
Ditinjau plate ke-k sampai bottom:

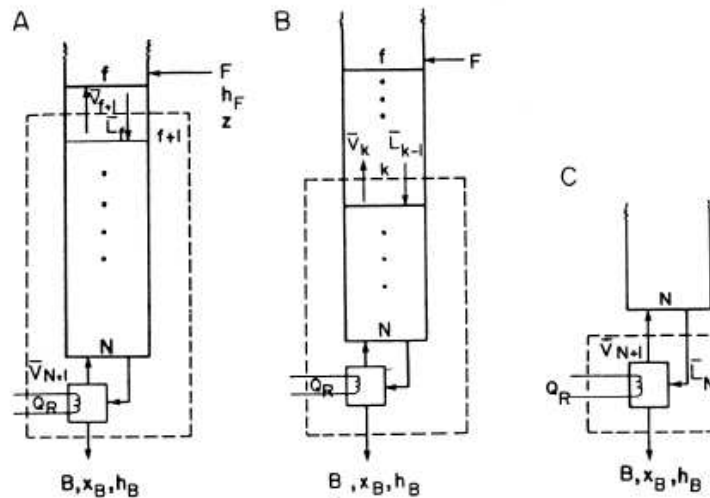


Figure 5-2. Stripping section balance envelopes. (A) Below feed stage (stage $f + 1$); (B) Stage k ; (C) Partial reboiler.

NM total :.....(12)

NM komponen volatile:.....(13)

Keseimbangan :(14)

NP: (15)

Jika dipakai reboiler parsial, maka reboiler merupakan stage ke- $N+1$.

Penyelesaian diarahkan secara grafis, maka semua persamaan disusun agar dapat diplot di kurva $Y-X$ (McCabe-Thiele) atau persamaan $Y = f (X)$.

Dari NM (pers 12 dan 13) diperoleh persamaan garis operasi seksi stripping atau garis operasi bawah (GOB):(16)

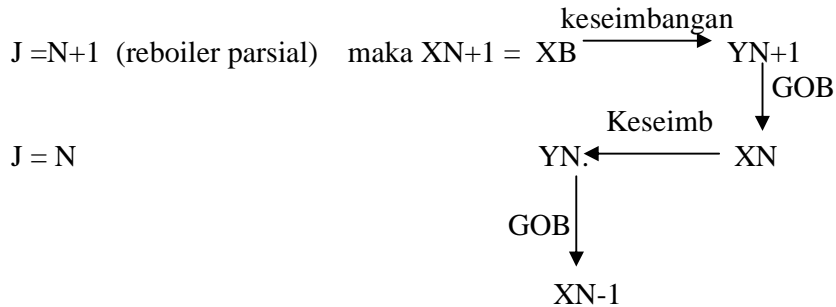
Dengan,

$$\text{rasio boil up} = \frac{\bar{L}}{\bar{V}}$$

Arus-arus yang keluar stage ke-j dalam keadaan berkesimbangan :

$$Y_j = f(X_j, \text{keseimbangan}) \dots (14)$$

Penentuan jumlah stage seksi stripping (bottom-up) secara analitis :

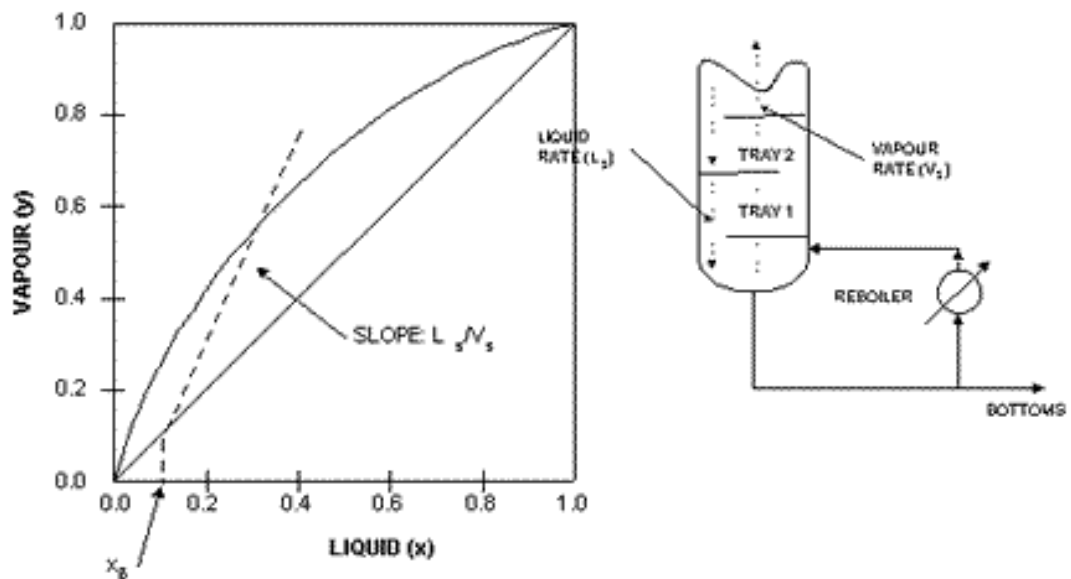


Dst.

Secara grafis, GOB dan data keseimbangan diplot di kurva Y-X.

Plot GOB :

- slope =
- intersept =
- titik potong GOB dengan sumbu diagonal ($X=Y$) adalah.....



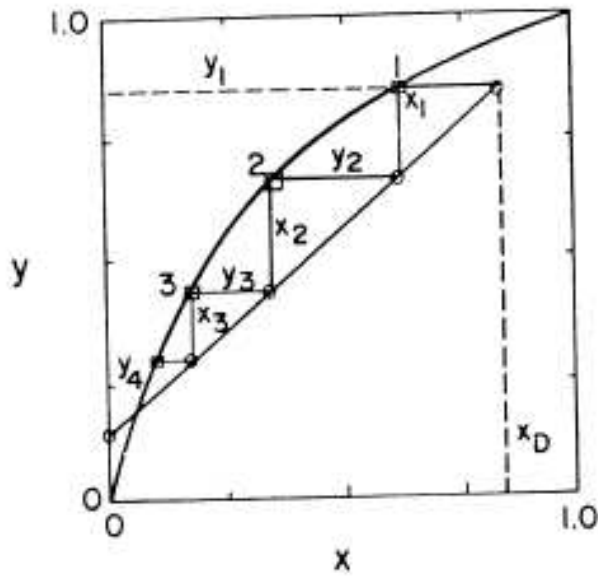


Figure 5-6. Stepping off stages in rectifying section.

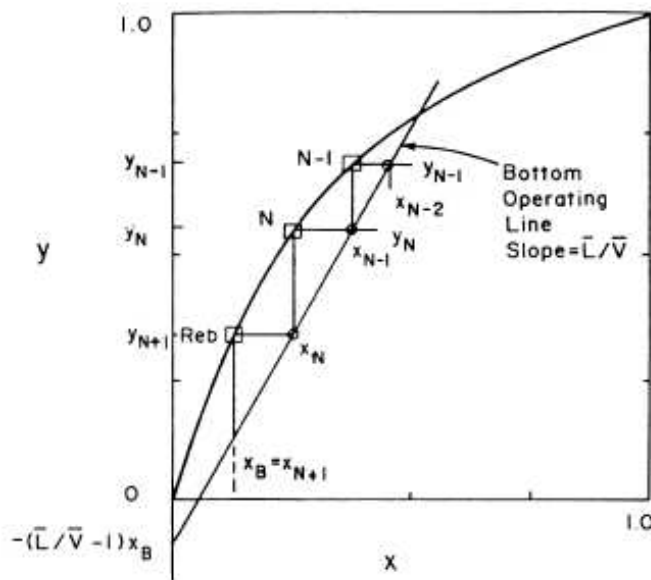


Figure 5-7. Stepping off stages in stripping section.

Seringkali, rasio boil-up tidak diketahui/ditentukan, sehingga GOB tidak dapat dievaluasi.

Perubahan NM dalam menara disebabkan adanya arus umpan. Kondisi umpan biasanya dapat dievaluasi.

Oleh karena itu, perlu dicari korelasi antara GOA dengan GOB melalui data umpan menara.

Persamaan yang menghubungkan GOA dan GOB adalah persamaan kondisi umpan ($q = \text{quality, kualitas umpan}$).

Definisi q :
Ditinjau feed plate :

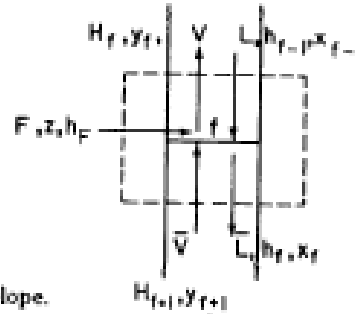


Figure 5-3. Feed-stage balance envelope.

$$\text{NM :} \quad F + \bar{V} + L = V + \bar{L} \quad (1)$$

$$\bar{V} - V = \bar{L} - L - F \quad (2)$$

$$\text{NP :} \quad F \cdot H_f + \bar{V} \cdot H_{f+1} + L \cdot h_{f-1} = V \cdot H_f + \bar{L} \cdot h_f$$

dengan, $H_{f+1} \approx H_f = H$

$$h_{f-1} \approx h_f = h$$

Manipulasi NM dan NP :

$$F \cdot h_f + \bar{V} \cdot H + L \cdot h = V \cdot H + \bar{L} \cdot h$$

$$F(h_f - H) = (\bar{L} - L)(h - H)$$

$$\frac{h_f - H}{h - H} = \frac{\bar{L} - L}{F} = q \quad (6)$$

$$\text{jadi :} \quad q = \frac{\bar{L} - L}{F} = \frac{h_f - H}{h - H} = \frac{h_f - H}{\lambda}$$

q = penambahan cairan setiap satu mol umpan.

Dengan,

H = entalpi umpan jika uap jenuh ,

h = entalpi umpan jika cair jenuh,

hF = entalpi umpan sesuai kondisi yang sesungguhnya.

Menentukan persamaan garis q :

Disusun dengan cara membuat garis melalui titik potong GOA dan GOB.

Misalkan titik potong itu adalah (X,Y) , maka:

$$\text{GOA, } Y.V = L.X + D.XD$$

$$\text{GOB, } Y.\bar{V} = \bar{L}.X - B.XB$$

$$(\bar{V} - V)Y = (\bar{L} - L)X - (B.XB + D.XD) \quad (7)$$

Substitusi pers (2) dan (6) ke (7) :

$$(\bar{L} - L - F)Y = (\bar{L} - L)X - F.Z$$

Sehingga diperoleh persamaan garis q :

$$Y = \frac{q}{q-1} X - \frac{Z}{q-1}$$

Plot garis q di kurva Y-X :

a. Slope =

b. Intersep =

c. Perpotongan garis q dengan sumbu diagonal adalah :

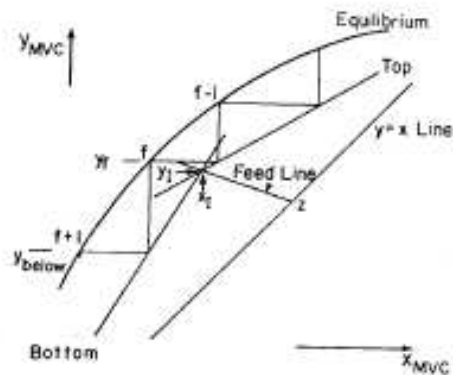
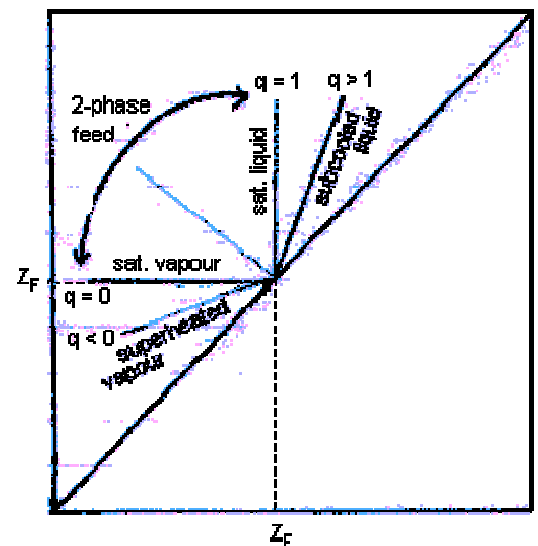


Figure 5-12. Optimum feed plate calculation.

Kemungkinan-kemungkinan garis q:

Kondisi umpan	hF	q	slope
Cairan dingin	$hF < h < H$	$> 1,0$	$> 1,0$
Cair jenuh	$hF = h$	1	~
Cair + uap	$H > hF > h$	$1 > q > 0$	negatif
Uap jenuh	$hF = H$	0	0



Kondisi umpan dapat ditunjukkan dengan data :

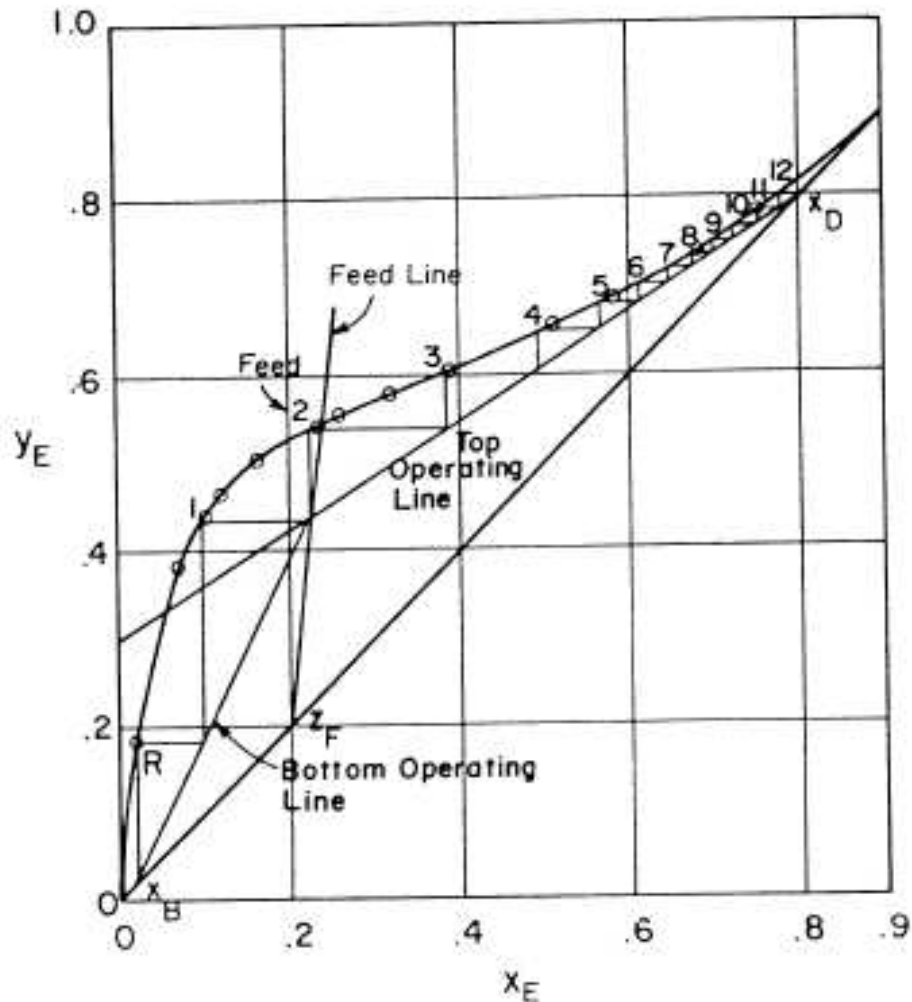
1. fase umpan, misal umpan berupa uap jenuh.
2. entalpi umpan,
3. kondisi berupa T,P, komposisi umpan,
4. perbandingan fase umpan, misal umpan berisi 40% fase uap dan 60% fase cair.

Contoh perhitungan h_f dengan jenis data nomor 4, dapat dilihat di example Wankat,p. 136.

Jika kondisi umpan diketahui, maka garis q dapat diplot di kurva Y-X, selanjutnya persamaan GOB dapat ditentukan.

3. Menentukan jumlah stage di seksi enriching dan stripping dalam menara

Perhitungan jumlah stage (Top down) dimulai menggunakan GOA dan kurva keseimbangan sampai titik potong GOA dan garis q . Dari titik potong ini, perhitungan jumlah stage dilanjutkan dengan menggunakan GOB dan kurva keseimbangan.



Pembandingan penggunaan garis operasi dalam perhitungan jumlah stage:

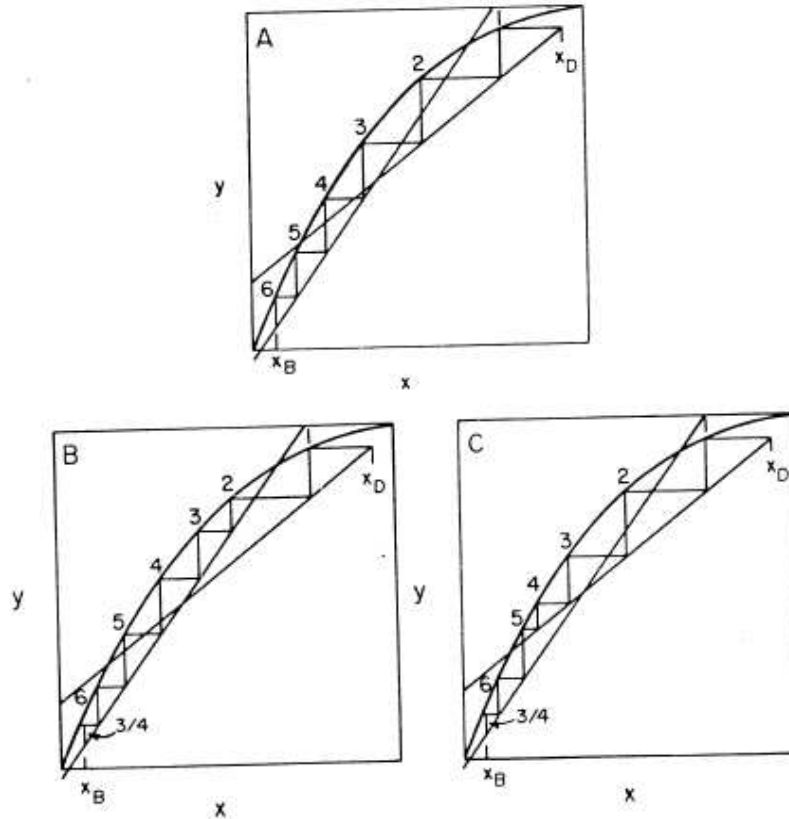
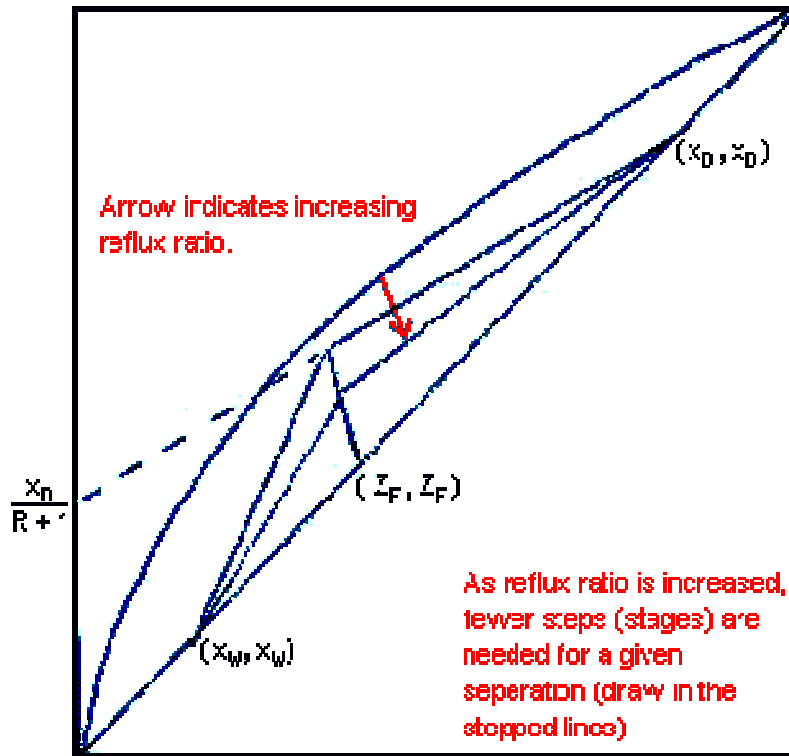


Figure 5-8. McCabe-Thiele diagram for entire column. (A) Optimum feed stage (stage 3); (B) Feed stage too high (stage 2); (C) Feed stage too low (stage 5).

RINGKASAN langkah-langkah perhitungan N ideal dalam MD jika R telah diketahui:

1. Membuat skema alat yang dilengkapi dengan data yang diketahui, serta simbol variable.
2. Menyusun Neraca internal di seksi enriching :
 - a. NM GOA (hub. Arus-arus di antara 2 stage berurutan).
 - b. Keseimbangan stage (hub. Arus-arus keluar stage).
3. Plot GOA dan data keseimbangan di kurva $Y-X$.
4. Menyusun persamaan garis q (kualitas umpan).
5. Plot garis q di kurva $Y-X$.
6. Menyusun persamaan Neraca internal di seksi stripping :
 - a. NM GOB
 - b. Keseimbangan stage
7. Plot GOB di kurva $Y-X$.
8. Perhitungan jumlah N ideal.

**PENGARUH RASIO REFLUK (R)
TERHADAP JUMLAH STAGE IDEAL**



Secara grafik, akan tampak bahwa :

R semakin kecil → intersep GOA semakin besar

GOA semakin mendekati kurva keseimbangan

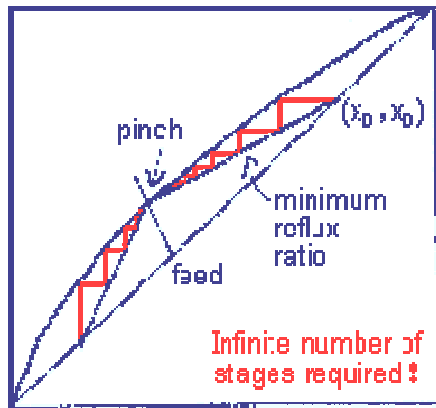
Akibatnya N semakin banyak

A. R MINIMUM (R_{MIN})

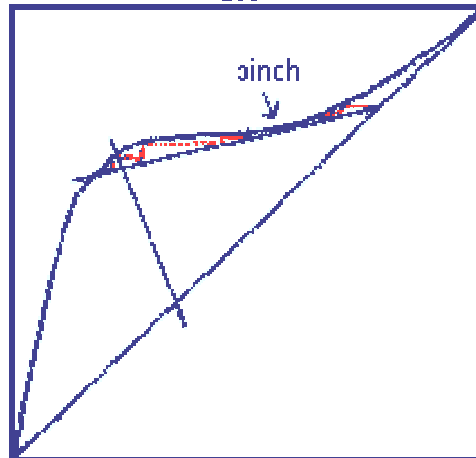
N bernilai tak terhingga saat GOA bersinggungan (atau berpotongan) dengan kurva keseimbangan. Pada titik singgung ini perubahan komposisi antar stage sangat kecil atau driving force mendekati nol. Rasio refluks pada kondisi ini disebut Rasio refluks minimum (R_{min}).

R_{min} dapat dievaluasi dengan cara :

1. membuat titik potong GOA dengan garis q di kurva keseimbangan, atau
2. membuat GOA menyinggung kurva keseimbangan.



OR



Oleh karena itu, sebelum menghitung atau merancang suatu MD, R_{min} perlu diketahui terlebih dahulu. Jika pengambilan nilai R lebih kecil dari R_{min} , maka tidak akan terjadi pemisahan seperti yang diinginkan.

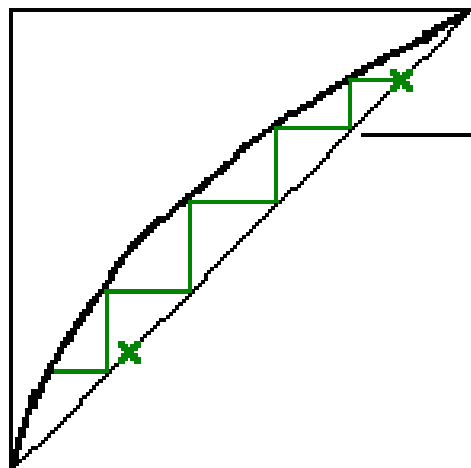
B. Refluk Total

Secara grafiis, R semakin besar maka intersep GOA semakin kecil dan N menjadi semakin sedikit. Jika R diperbesar sampai R_{total} , dimana tidak ada arus Distilat, Bottom, maupun umpan ($D=B=F=0$) maka:

Slope GOA = 1,0

Dengan demikian, GOA berhimpit dengan garis diagonal ($X=Y$) dan jika N dihitung akan diperoleh jumlah N minimum.

Kondisi R_{total} ini, biasanya digunakan untuk mennetukan ukuran atau beban kondenser, rebolier dan diamter maksimum MD.



Upper & Lower
Operating Lines
on 45° line.

C. Refluk optimum:

Sebaiknya dalam perancangan atau pengoperasian MD, ditetapkan:

$R_{\text{operasi}} = R_{\text{optimum}} = \text{factor} \times R_{\text{min}} = (1,2 \text{ s/d } 1,5) \times R_{\text{min}}$.

Nilai Factor di atas merupakan hasil optimasi, dimana $\text{total cost} = f(R)$.

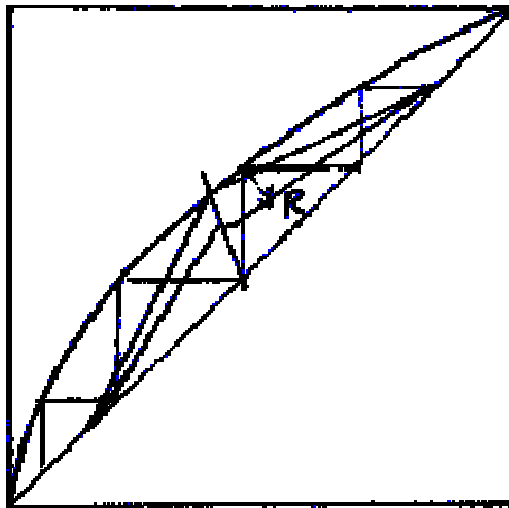
Hubungan cost dengan Relux ratio (R) :

Cost MD meliputi:

1. operating cost (biaya steam + CW + electric + labor)
2. capital cost (condenser + reboiler + Tower + tray)

Total cost = operating cost + capital cost.

Hasil praktek di lapangan menunjukkan kecenderungan sbb.:



- Pada:
- **R total** $\rightarrow N_{\text{min}}$ \rightarrow operating cost besar.
 - **R = Rmin** $\rightarrow N$ tak terhingga \rightarrow capital cost besar.
 - **R = (1,2 - 1,5) Rmin** = R optimum \rightarrow total cost terkecil.

