

SIMULASI MENARA DISTILASI DENGAN SIDE STREAM DAN OPEN STEAM PADA CAMPURAN BINER

Sperisa Distantina

Jurusan Teknik Kimia FT UNS

Email : distantina@eudoramail.com

Abstract : In simulation problems, the distillation column has been built and we wish to predict how much separation can be achieved for a given feed. Since the distillation column has already been built, the number of stage, the feed stage location and the desired composition of more volatile component in the distillate are already specified. The objectives of this research are to determine overall plate efficiency, the external reflux ratio and the maximum side stream rate that will produce this separation. The case study observed is column distillation at PT Karbometil Selulosa. A steady state, countercurrent, staged distillation column with open steam and one side stream is to be used to separate ethanol from water. The McCabe Thiele method is used to calculate the number of stage. It is found that in the operating conditions applied, the over all plate efficiency is 69.86%, the external reflux ratio is 1.33, and the maximum side stream rate is 23.25 Kmol/h.

Keyword : staged column distillation, open steam, side stream, external reflux ratio.

PENDAHULUAN

Telah banyak diketahui bahwa pemisahan campuran homogen dapat dilakukan dengan menambah pelarut (solven) atau membentuk fasa lain. Pemisahan dengan menambah pelarut dapat dijumpai pada proses ekstraksi, sementara pemisahan dengan membentuk fasa lain dapat dijumpai seperti pada *partial condenser* dan vaporasi berulang. Distilasi merupakan vaporasi berulang, dan secara luas telah dipilih sebagai proses pemisahan di industri-industri kimia, seperti pemurnian alkohol sampai fraksinasi minyak mentah.

Distilasi merupakan operasi pemisahan suatu komponen dari campurannya berdasarkan titik didih. Panas merupakan *separating agent* pada pemisahan operasi ini.

Jika menara distilasi plate telah dioperasikan, maka perlu evaluasi efisiensi plate. Efisiensi plate secara keseluruhan merupakan perbandingan jumlah plate ideal dengan jumlah plate aktual (di lapangan). Oleh karena itu perlu perhitungan jumlah plate ideal sesuai data di lapangan.

Penelitian ini mengambil data menara distilasi etanol-air di PT

Humpuss Karbometil Selulosa (Indriyani, 2002) dan bertujuan :

1. membuat simulasi perhitungan jumlah plate pada campuran biner,
2. mempelajari pengaruh refluks terhadap kecepatan side stream maksimum, dan
3. mempelajari pengaruh kecepatan side stream terhadap jumlah plate ideal.

DASAR TEORI

Menurut Lewis (Wankat, 1988), pada campuran biner, jika panas laten tidak dipengaruhi fraksi mol campuran maka kecepatan molar uap dan kecepatan arus cairan pada suatu daerah antara arus masuk dan arus keluar menara adalah konstan. Hal ini sering disebut kondisi Constant Molar Overflow (CMO). Jika ada arus yang dimasukkan atau dikeluarkan pada suatu daerah dalam menara, maka akan ada perubahan kecepatan uap dan cairan pada daerah itu.

Campuran etanol-air merupakan campuran yang mempunyai panas laten bukan fungsi fraksi mol (Himmelblau, 1974). Oleh karena itu perhitungan jumlah stage ideal dapat mengambil asumsi CMO ini. McCabe dan Thiele

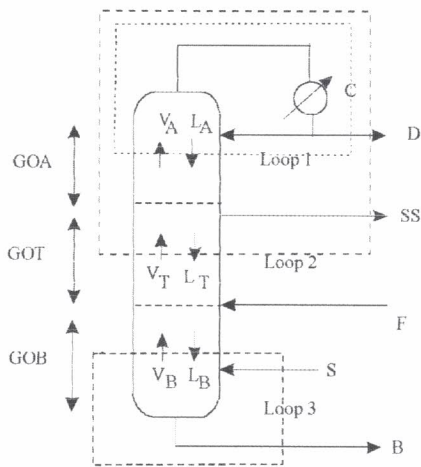
mengembangkan metode Lewis secara grafis, yaitu menggambarkan persamaan-persamaan garis operasi dalam diagram y-x.

Metode grafis masih memungkinkan dilakukan untuk :

1. perhitungan jumlah plate yang sedikit,
2. memberikan gambaran yang mudah dan jelas mengenai perubahan garis operasi.

Pada perhitungan jumlah plate yang sangat banyak memerlukan grafik yang besar dan hal ini ada kemungkinan kurang teliti. Metode grafis McCabe Thiele ini dikembangkan dengan dengan bantuan komputer, sehingga perhitungan jumlah stage menjadi lebih cepat dan teliti.

Gambar 1 menunjukkan skema alat distilasi yang akan dievaluasi. Persamaan-persamaan yang digunakan untuk mengevaluasi jumlah plate ideal pada menara distilasi PT Humpuss Carbometil adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Skema menara distilasi yang akan dievaluasi.

Dari neraca massa total di sekitar menara diperoleh persamaan :

$$B = F + S - (D + SS) \quad (1)$$

Dari neraca massa etanol di sekitar menara diperoleh persamaan :

$$X_B = \frac{F Z_F + S Y_S - D X_D - SS X_{SS}}{B} \quad (2)$$

Perhitungan jumlah plate teoritis menggunakan metode McCabe Thiele, dengan mengambil asumsi :

1. *constant molal overflow*
2. arus-arus yang keluar dari setiap plate dalam keseimbangan,
3. tekanan di sepanjang menara tetap

a. menentukan persamaan garis operasi atas (GOA) :

Dari neraca massa total disekitar kondenser total diperoleh persamaan :

$$V_a = (R+1)D \quad (3)$$

$$L_a = R \cdot D \quad (4)$$

Dari neraca massa total dan neraca massa etanol di sekitar loop 1 diperoleh persamaan GOA :

$$Y_{j+1} = \frac{L_a}{V_a} X_j + \frac{D X_D}{V_a} \quad (5)$$

Hubungan keseimbangan arus-arus keluar dari plate j+1 adalah:

$$X_{j+1} = f(Y_{j+1}) \quad (6)$$

b. menentukan persamaan garis operasi bawah (GOB) :

Arus umpan cair jenuh mengakibatkan perubahan kecepatan arus cairan pada persamaan GOT. Perubahan itu ditunjukkan dari neraca total di sekitar feed plate seperti di bawah ini:

$$V_b = V_t \quad (11)$$

$$L_b = L_t + F \quad (12)$$

Manipulasi persamaan neraca massa total dan neraca massa etanol di sekitar loop 3 diperoleh persamaan garis operasi bawah (GOB) :

$$Y_{i+1} = \frac{L_b}{V_b} X_i - \frac{B X_B}{V_b} \quad (13)$$

Hubungan keseimbangan arus-arus keluar dari plate i+1 adalah:

$$X_{i+1} = f(Y_{i+1}) \quad (14)$$

Persamaan-persamaan di atas dapat digunakan untuk menganalisis jumlah plate dari atas menara ke bawah (Top-Downward) dimulai dari j =0. Jika

nilai X_0 diketahui, maka Y_1 dapat dihitung dengan persamaan GOA, kemudian komposisi arus cairan keluar dari plate pertama yaitu X_1 dapat dihitung. Hubungan Y_1 dan X_1 menggunakan persamaan atau hubungan keseimbangan etanol. Perhitungan plate berikutnya dianalisis dengan cara yang sama sampai diperoleh komposisi di dalam menara yang mendekati komposisi arus side stream.

Garis kualitas side stream (q line) yang berupa cair jenuh ini akan melalui titik $X = X_{ss}$ dan mempunyai slope tak berhingga. Titik potong garis GOA dengan garis kuantitas side stream ini merupakan titik dimana GOA harus berubah, yaitu menjadi GOT. Perhitungan plate berikutnya dianalisis dengan cara yang sama sampai diperoleh komposisi di suatu plate yang mendekati komposisi arus umpan.

Garis kualitas umpan (q line) yang berupa cair jenuh ini akan melalui garis $X = X_f$ dan mempunyai slope tak berhingga. Titik potong garis GOT dengan garis kuantitas umpan ini merupakan titik dimana GOT harus berubah, yaitu menjadi GOB. Perhitungan plate berikutnya dianalisis dengan cara yang sama sampai diperoleh komposisi di suatu plate yang mendekati komposisi arus bottom.

METODE PENELITIAN

Algoritma perhitungan plate teoritis secara keseluruhan disajikan dalam gambar 2 (di Lampiran).

Data keseimbangan etanol-air diperoleh dari Wankat (1988). Bentuk persamaan keseimbangan $y-x$ maupun persamaan $x-y$ menggunakan metode penyesuaian kurva (*curve fitting*) dengan data itu.

HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI

Data lapangan PT Humpuss Carbometil (Indriyani, 2002) merupakan kecepatan arus dalam satuan unit Kg/jam. Pada analisis ini digunakan satuan unit Kmol/jam, oleh karena itu data lapangan diubah dalam unit Kmol/j, demikian pula fraksi berat diubah menjadi fraksi mol.

Daftar I. Data pada menara distilasi PT Humpuss Carbometil.

Rasio refluks (R) = 2,3,
Jumlah plate aktual = 35

Jenis arus	Kecepatan arus, Kg/jam	% berat etanol
Umpan (F)	3631	0,5
Steam (S)	2091	0
Distilat (D)	577	0,93
Side Stream (SS)	578	0,75

a. Perhitungan efisiensi plate keseluruhan

Perhitungan jumlah plate ideal menggunakan algoritma seperti gambar 2 dengan bantuan komputer. Hasil perhitungan itu ditampilkan dalam daftar II di lampiran.

Nilai efisiensi plate keseluruhan dievaluasi dengan perbandingan jumlah plate ideal hasil perhitungan dengan jumlah plate data pabrik. Hasil perhitungannya, efisiensi plate adalah 69,868%. Menurut Coulson et al (1983), nilai efisiensi plate keseluruhan pada umumnya berkisar antara 30 – 70 %. Hal ini menunjukkan plate yang digunakan di pabrik masih mempunyai efisiensi plate yang baik.

b. Pengaruh refluks terhadap terhadap kecepatan side stream maksimum

Ada batasan refluks yang menunjukkan nilai refluks yang memberikan driving force (konsentrasi) antar plate sangat kecil. Akibat kecilnya perubahan konsentrasi ini adalah jumlah plate menjadi tak terhingga. Batasan ini ditunjukkan dengan kondisi pada reluk minimum (R_{min}).

R_{min} dievaluasi dengan membuat perpotongan GOA dengan garis kualitas side stream (q ss) yang terletak di garis keseimbangan. Hasil perhitungan diperoleh $R_{min} = 1,313$. Data di pabrik menunjukkan R operasi adalah 2,3.

Selain nilai R_{min} , ada nilai SS yang menunjukkan driving force antar plate kecil. Nilai SS ini dievaluasi dengan membuat perpotongan GOT dengan garis kualitas umpan (q F) yang

terletak di garis keseimbangan. Nilai SS ini adalah nilai Ssmaksimum (Ssmax). Karena GOT ini dipengaruhi nilai refluk, maka ada pengaruh nilai R terhadap nilai SS yang memberikan nilai SSmax. Hasil perhitungan untuk beberapa nilai R operasi terhadap nilai Ssmax disajikan dalam daftar III di lampiran.

Dari Daftar III, tampak bahwa meskipun menara yang ada bekerja dengan R lebih besar dari Rmin tetapi mengambil side stream yang lebih besar dari SSmax, maka beberapa plate di dalam menara mempunyai konsentrasi yang sama. Dengan kata lain, tidak terjadi pemisahan dengan baik karena arus cairnya kurang atau terlalu banyak yang diambil.

Untuk perancangan menara distilasi, nilai SSmax ini harus diperhatikan karena memberikan jumlah plate yang tak terhingga. Oleh karena itu dalam perancangan harus diambil nilai SS lebih kecil dari SSmax.

c. Pengaruh kecepatan side stream terhadap efisiensi plate.

Kecepatan arus side stream yang diambil mempengaruhi persamaan GOT, sehingga mempengaruhi jumlah plate ideal. Pengaruh besar arus SS terhadap efisiensi plate disajikan dalam daftar IV di lampiran.

Daftar IV menunjukkan bahwa semakin besar nilai SS maka efisiensi plate keseluruhan semakin besar pula.

Dalam perancangan alat, faktor teknis dan ekonomis harus dipertimbangan. Untuk perancangan menara distilasi yang mirip dengan menara distilasi di PT Humpuss Carbometil ini, harus mempertimbangkan nilai R operasi dan nilai SS operasi sebagai faktor teknis dan ekonomis. Sebagai contoh pertimbangan-pertimbangan itu antara lain:

1. Jumlah plate akan mempengaruhi fixed cost.
2. Refluk yang besar akan memperbesar beban kondenser.

KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

1. dalam perancangan awal, semakin besar rasio refluk yang diambil maka kecepatan SS maksimum yang dapat diambil juga semakin besar.
2. Semakin besar kecepatan SS yang diambil, maka jumlah plate ideal akan semakin banyak.
3. berdasarkan kondisi operasi menara distilasi PT Humpuss Karbometil Selulosa diperoleh efisiensi plate = 69,86%, Rmin = 1,313, dan SSmax = 23,25 Kmo/j.

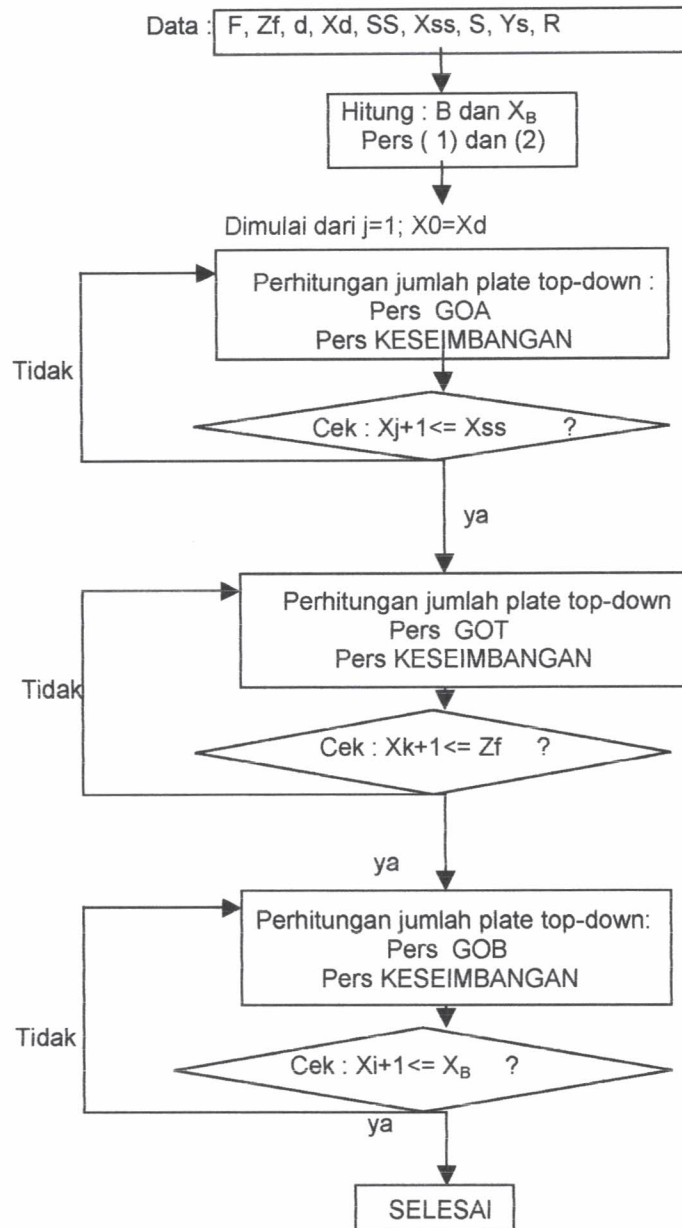
DAFTAR PUSTAKA

- Himmleblau, D. M., 1974, "Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering ", 3rd. ed., pp. 494-497, Prentice Hall Inc., New Jersey.
- Indriyani, 2002, "Laporan Kerja Praktek : PT Humpuss Karbometil Selulosa", Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik UNS, Surakarta.
- Wankat, P.C., 1988, " Separations in Chemical Engineering : Equilibrium Staged Separations", Prentice Hall Inc., New Jersey.

DAFTAR LAMBANG

- B : Kecepatan arus bottom, Kmol/j
D : Kecepatan arus distilat, Kmol/j
V : Kecepatan uap, Kmol/j
F : Kecepatan umpan, Kmol/j
L : Kecepatan cairan, Kmol/j
R : Rasio refluk
SS : Kecepatan side stream, Kmol/j
S : Kecepatan uap air , Kmol/j
X : fraksi mol di cairan
Y : fraksi mol di uap
a : indeks "atas"
t : indeks "tengah"
b : indeks "bawah"

LAMPIRAN



Gambar 2. Algoritma perhitungan perhitungan jumlah plate.

Daftar II. Fraksi mol di fase cair dan uap di setiap plate berdasarkan data lapangan

UNTUK SS= 17.45169 kmol/j
 UNTUK R= 2.3
 KECEPATAN HASIL
 BAWAH(BOTTOM)= 225.1342
 KGMOL/J; FR. MOL ETANOL=
 8.163153E-02
 PERHITUNGAN PLATE DENGAN
 CARA MCCABE THIELE:
 KOMPOSISI SETIAP PLATE:
 PLATE KE- X Y

1	.8271694	.8386773
2	.8166222	.8306567
3	.8067835	.8233056
4	.7974505	.8164483
5	.7884522	.8099435
6	.7796366	.803672
7	.7708603	.7975277
8	.7619792	.7914109
9	.752839	.7852211
10	.7432629	.7788506
11	.7330365	.7721764
12	.7218847	.7650489
13	.7094352	.7572764
14	.6951582	.7485995
15	.6782572	.7386489
16	.657458	.7268694
17	.6305643	.712373
18	.5934052	.6936288
19	.5369269	.6677302
SIDE STREAM PLATE		
20	.4412414	.6295348
21	.3665321	.599225
22	.3086181	.5755597
23	.2648763	.5572146
FEED PLATE		
24	.1468833	.4933009
25	3.131039E-03	

9.519471E-02

JUMLAH PLATE TEORITIS= 24.45392
 EFISIENSI PLATE
 KESELURUHAN(OVERALL)= 69.86834
 %

Daftar III. Pengaruh R operasi terhadap Ssmax.

R MIN = 1.313547

R OPERASI	SS MAX
1.641934	12.63645
1.97032	17.93172
2.298707	23.22697
2.627094	28.52225
2.955481	33.81752
3.283868	39.11279

Daftar IV. Pengaruh kecepatan arus SS terhadap efisiensi plate keseluruhan (R operasi = 2,3)

UNTUK R OPERASI= 2.3
 SS MAX= 23.24783
 SS OPERASI DATA PABRIK= 17.45169
 KMOL/J

R	SS	NTEORITIS
2.3	19.76065	28.23939
80.68397		
2.3	17.43587	24.44555
69.84441		
2.3	15.11109	23.61126
67.46075		
2.3	12.7863	22.88214
65.37754		