

Penyelesaian Numerik Metode Distilasi Biner McCabe-Thiele

Guntur Whiwendro, Kesni Savitri, Rendy Satria, Hari Rionaldo, Zulfansyah

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
thundeng@yahoo.com

Abstract

The Graphical McCabe-Thiele is a method to calculate the theoretical stage of biner distillation. Generally, that's still used to analyze the biner distillation because a simple formulation and mostly used in chemical engineering course. The equilibrium curve, operation line and equilibrium stages are constructed, so that the number of theoretical stages can be calculated. Furthermore, drawing an equilibrium curve, operation line, and equilibrium stages must be accurate. It will be complicated to observe the impact of input difference, because the curve should be re-constructed and need more time. This article use matlab for solving the distillation biner's equation (ethanol and water). The numerical calculation for $R = 3$ acquired the ideal stage = 11,5313, actual stage = 16,6682 and overall efficiency = 0,6918. Furthermore, the calculation with $R = 2$ get the ideal stage = 16,7885, actual stage = 24,6271 and overall efficiency = 0,6817. Numerical method can solve this problem without change the equilibrium curve, operation line and equilibrium stages.

Keywords: Distillation biner, Matlab, McCabe-Thiele

1 Pendahuluan

Aplikasi distilasi memiliki banyak peran penting dalam industri kimia, terutama di industri petrokimia. Berbagai metode perhitungan banyak dikembangkan mulai dari yang sederhana hingga perhitungan yang kompleks. Metode grafis McCabe-Thiele untuk penyelesaian permasalahan distilasi dua komponen adalah metode perhitungan yang paling sederhana dan hingga saat ini masih banyak digunakan baik dalam perancangan maupun dalam kelas teknik kimia.

Metode grafis McCabe-Thiele masih sering digunakan karena memiliki formulasi yang sederhana. Konsep dasarnya adalah *constant molal overflow*, dimana laju alir uap dan cairan sama di setiap tray atau tahap. Asumsi ini menghasilkan bentuk persamaan neraca massa yang linier untuk bagian atas dan bawah kolom distilasi. Kurva kesetimbangan, garis operasi, serta tahap-tahap dalam kolom dihubungkan dengan prosedur perhitungan yang telah baku. Dari sini akan dapat diketahui jumlah tahap yang dibutuhkan untuk perancangan.

Menggambarkan kurva kesetimbangan, garis operasi dan tahap-tahap kesetimbangan membutuhkan ketelitian. Sehingga untuk mengetahui pengaruh dari input parameter yang berbeda akan sangat sulit karena kurva harus dikonstruksi ulang dan membutuhkan waktu yang relatif panjang jika dibandingkan dengan penyelesaian secara numerik.

Perkembangan komputasi proses memberikan banyak peran dalam penyelesaian perhitungan teknik kimia. Perintah-perintah berbantuan komputer dapat memberikan penyelesaian atas permasalahan tersebut dengan tetap mempertahankan kehadiran dari kurva

kesetimbangan, garis operasi dan tahap-tahap kesetimbangan. Kajian studi ini bertujuan untuk memperlihatkan konsep dasar perhitungan metode McCabe-Thiele.

2 Metodologi

Metode perhitungan tahap kesetimbangan dan penggambaran kurva kesetimbangan, garis operasi atas dan bawah, secara umum dapat dilihat pada Gambar 1.

Kurva kesetimbangan dapat dikonstruksi melalui tiga cara yaitu dari konstanta relatif volatilitas (α), diprediksi dari persamaan Antoine dan data hasil percobaan.

Jika konstanta relatif volatilitas α diketahui, maka hubungan antara fraksi uap dengan cairan dapat dinyatakan dengan persamaan 1.

$$\alpha_{AB} = \frac{K_A}{K_B} = \frac{y_A/x_A}{y_B/x_B} \quad (1)$$

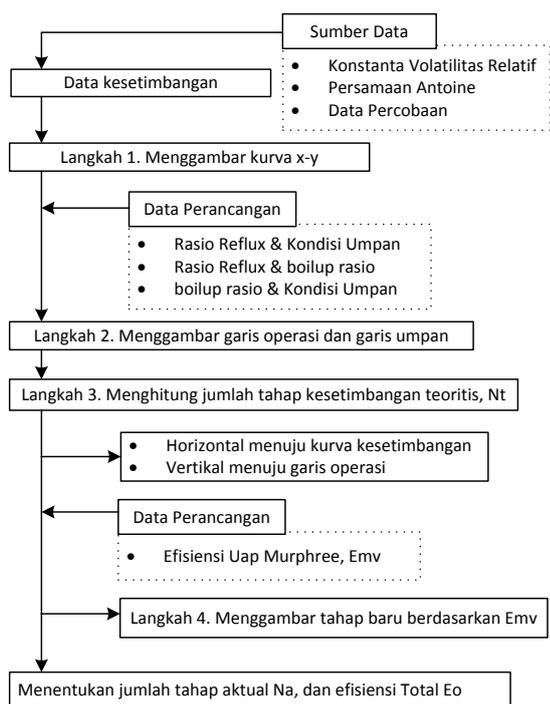
Dimana,

K_A = konstanta volatilitas komponen A

K_B = konstanta volatilitas komponen B

Jika komposisi zat A di fasa cair x_A diketahui, maka y_A dapat dihitung dengan persamaan 2 berikut:

$$y_A = \frac{\alpha_{AB} x_A}{1 + x_A (\alpha_{AB} - 1)} \quad (2)$$



Gambar 1. Diagram Alir Perhitungan Distilasi Biner McCabe-Thiele

Selanjutnya dengan menggunakan model termodinamika, jika komponen A dan B merupakan campuran ideal, dan tekanan uap untuk senyawa murni P_i^{sat} dapat ditentukan dengan persamaan Antoine seperti pada persamaan 3.

$$\ln P_i^{sat} = A_i - \frac{B_i}{T + C_i} \quad (3)$$

Dimana,

$$P_i^{sat} = \text{Tekanan uap, mm Hg}$$

$$T = \text{Temperatur, K}$$

A, B, C = Konstanta Antoine

Dengan menggunakan fungsi “fzero” pada MATLAB yang menemukan nilai nol untuk fungsi yang diberikan. Persamaan 4 menampilkan pencarian komposisi uap dengan menggunakan hukum Dalton dan Raoult.

$$y_A = \frac{P_A^{sat}}{x_A P_{total}} \quad (4)$$

Komposisi uap dan cair, x_A dan y_A dapat juga langsung dibaca dari data aktual. Dengan komposisi uap dan cairan pada kesetimbangan, x_A dan y_A , kurva kesetimbangan (diagram x-y) dapat diplot.

Pada saat kurva kesetimbangan, garis operasi dan garis umpan pada Gambar 1, komposisi kesetimbangan pada setiap tahap ditentukan dengan metode McCabe-

Thiele. Dimulai dari distilat x_D , prosedur penyelesaian untuk memplot penyelesaian secara grafis ini adalah:

- Gambar garis horizontal dari (x_D, x_D) menuju kurva kesetimbangan
- Selanjutnya, tarik garis vertikal ke bawah menuju garis operasi
- Ulangi langkah a dan b hingga x mencapai x_B

Jika data aktual digunakan untuk mengkonstruksi kurva kesetimbangan, maka dapat digunakan fungsi interpolasi linier MATLAB yaitu “interp1”. Fungsi “interp1” digunakan untuk menemukan titik perpotongan pada prosedur a.

Efisiensi tahap kesetimbangan pada setiap tray dapat diprediksi dengan konstanta efisiensi uap Murphree, Emv untuk setiap tahap, komposisi uap aktual dapat dihitung menggunakan persamaan 5.

$$y_i = y_{i+1} + E_{MV}(y_i^{eq} - y_{n+1}) \quad (5)$$

Dimana, $i+1$ adalah tahap bawah dan y^{eq} adalah komposisi uap pada keadaan setimbang dengan komposisi cairan yang meninggalkan tahap i , x_i . Efisiensi total (overall efficiency) E_o didapat dari perbandingan jumlah tahap kesetimbangan teoritis N_t dengan jumlah tahap aktual N_a .

3 Studi Kasus Pemisahan Etanol-Air

Program yang telah dibuat akan dicobakan untuk mensimulasikan pemisahan antara etanol dengan air. Kurva kesetimbangan dikonstruksi dari data yang diprediksi menggunakan persamaan Antoine. Sedangkan, konstanta Antoine untuk senyawa etanol dan air ditampilkan pada Tabel 2. Pada kasus yang pertama akan dicobakan data perancangan seperti pada Tabel 1 dengan harga $R = 3$.

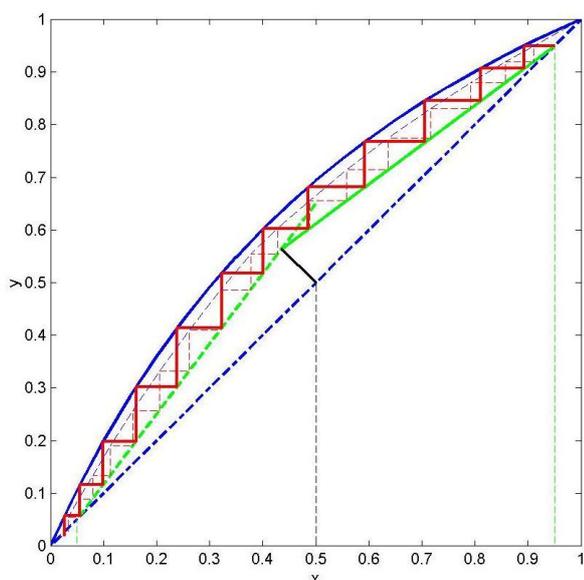
Tabel 1. Data Rancangan pada R berbeda

Parameter input	Variabel Input
Fraksi etanol pada umpan masuk	$z_F = 0.5$
Fraksi etanol produk atas menara distilasi	$x_D = 0.95$
Fraksi etanol pada produk bawah menara	$x_B = 0.05$
Kondisi umpan masuk	$q = 0.5$
Rasio refluks	$R_1 = 3; R_2 = 2$
Efisiensi Uap Murphree	$E_{MV} = 0.7$

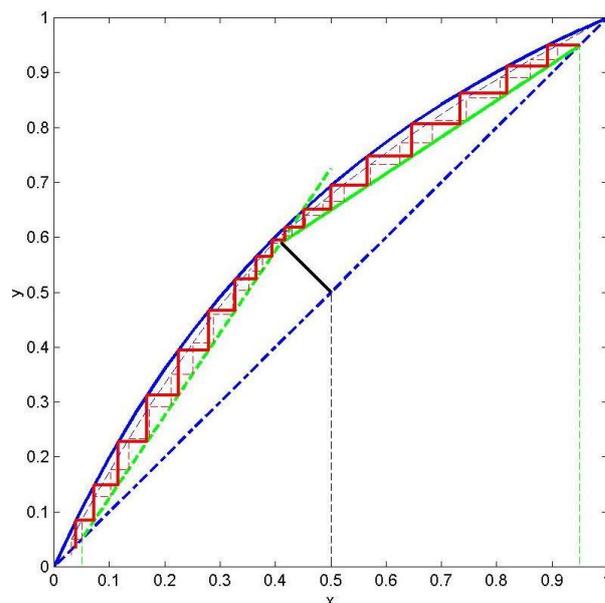
Tabel 2. Konstanta Antoine

Komponen	Formula	A	B	C
Etanol	C_2H_5OH	18.9119	3803.98	-41.68
Air	H_2O	18.3036	3816.44	-46.13

Keluaran program untuk kasus 1 (dengan $R = 3$) berupa grafik McCabe-Thiele dapat dilihat pada Gambar 2. dengan rincian jumlah tahap kesetimbangan teoritis dan aktual ditampilkan pada Tabel 3. Sedangkan untuk



Gambar 2. Hasil grafis metode McCabe-Thiele untuk Distilasi Biner (Etanol-Air) dengan R=3.



Gambar 3. Hasil grafis metode McCabe-Thiele untuk Distilasi Biner (Etanol-Air) dengan R=2.

kasus 2 (dengan R=2) berupa grafik McCabe-Thiele juga dapat dilihat pada Gambar 3. Keluaran dengan rincian jumlah tahap kesetimbangan teoritis dan aktual ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil simulasi distilasi etanol air pada nilai R yang berbeda

Parameter	Rasio Refluks	
	3	2
<i>Ideal stage</i>	11.5313	16.7885
<i>Actual stage</i>	16.6682	24.6271
<i>Overall efficiency</i>	0.6918	0.6817

Rasio refluks yaitu $R = L/D$. Menurunkan rasio refluks berarti menurunkan jumlah cairan yang dikembalikan ke kolom distilasi dan meningkatkan laju alir distilat (produk atas). Penurunan refluks rasio dari $R = 3$ ke $R = 2$ menyebabkan bertambahnya jumlah tahap yang dibutuhkan untuk menghasilkan produk atas dengan kemurnian $x_D = 0.95$. Jumlah tahap ideal atau teoritis bertambah sekitar 5.2 tahap pada penurunan rasio refluks dari $R = 3$ ke $R = 2$, sedangkan jumlah tahap aktual bertambah sekitar 7.9 tahap.

Pada Rmaksimum akan didapatkan jumlah tahap yang minimum, menyebabkan biaya investasi rendah namun biaya operasi menjadi tinggi karena bertambahnya beban reboiler. Sedangkan, pada Rminimum akan didapatkan jumlah tahap yang maksimum, menyebabkan investasi tinggi sebaliknya biaya operasi rendah. Penetapan nilai rasio refluks harus berada diantara Rmin dan Rmaks. Roptimum biasanya adalah 1,2 – 1,5 X Rmin.

4 Kesimpulan

Perhitungan distilasi dua komponen dengan metode numerik McCabe Thiele dapat mempermudah mahasiswa dalam menyelesaikan permasalahan distilasi biner tanpa merubah kurva kesetimbangan, garis operasi dan tahap kesetimbangan. Dari studi kasus pemisahan etanol dan air, terbukti metode numerik McCabe Thiele dapat mempercepat waktu penyelesaian. Metode numerik ini juga dapat digunakan untuk menganalisa permasalahan distilasi biner pada komponen selain etanol dan air.

Daftar Pustaka

- Fluor corp. 2009. Visualizing the McCabe-Thiele Diagram. <http://aiche.org/cep>. 16 Mei 2005.
- Garrido, M.E.H, Ramirez V.R and S.H. Castro,. 2004. "Simplified Design of Batch Reactive Distillation Columns" *Ind. Eng. Chem. Res*, 43 : 4000-4011
- Joo, Y.L. Choudhary, Dhevashis., 2006. Using Visualization and Computation in the Analysis of Separation Procces. Cornell University, New York.
- McCabe, W.L., Smith, J.C. and Harriot, P., 2000. *Unit Operation of Chemical Engineering*, 6th ed., McGraw Hill, New York
- Perry, Robert H. Green, Don W, 1984. *Perry's Chemical Engineers Handbook*, 6th ed., McGraw Hill, New York