

Kondisi Optimum Pemisahan Aseton dari Campuran Aseton-Etanol-Air-n-Butanol Dengan Kolom Distilasi *Vacuum*

Chairul Irawan , Iryanti Fatyasari Nata¹

Abstract – Fermenting molasses using *clostridium acetobutylicum* can produce a mixture of acetone (1)/ethanol (2)/water (3)/n-butanol (4). The fermentation products are then separated and purified in a series of distillation column. In this work the products are 99.5-wt % of acetone and 99 % recovery. This work is primarily concerned with the effect of operating pressure on the distillation column performance. Distillation columns were designed using computer programs written in VISUAL FORTRAN 5.0. A rigorous equilibrium based computation method due to Wang-Henke that taking into account the effects of non-equal molar overflow and non-ideal vapor-liquid equilibrium was used in study. UNIQUAC, a method of estimating activity coefficient in non-ideal liquid mixtures, was used to model the vapor-liquid equilibrium. The column performance was studied by varying the operating pressure that is constrained by the cooling water temperature in the condenser. The numbers of plates are 50 and feed plate location at 12th plate below the condenser for acetone column. Variation of pressure 0.7 to 0.6 atm for acetone column will decrease 6.03 % reflux ratios, 4.3% condenser and 4.78% reboiler duty. Optimum condition for acetone column was 0.6 atm.

Keywords – simulation, vacuum distillation, acetone column

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Campuran aseton-etanol-air-n-butanol dapat diperoleh dari fermentasi molasses sebagai limbah pabrik gula. Pada fermentasi ini bakteri yang mampu mengkonversi bahan tersebut adalah *Clostridium acetobutylicum* (Roffler dkk. 1987). Dalam merancang kolom distilasi masalah utama adalah menentukan jumlah *plate*, letak *plate* umpan, refluks rasio, beban kondensor dan reboiler. Perhitungan distilasi multikomponen memerlukan penyelesaian yang simultan dari neraca massa, neraca panas, kesetimbangan uap-cair (VLE) dari sistem. Selain itu perlu dihitung distribusi komponen, temperatur, laju alir cairan dan uap tiap *plate*.

Dari segi termodinamika persoalan kesetimbangan akan bertambah rumit karena campuran aseton-etanol-air-n-butanol merupakan campuran yang tidak ideal. Oleh karena itu penyelesaian persamaan yang lebih teliti secara analitis sukar dilakukan. Selain waktu yang diperlukan lebih banyak. Dengan kemajuan teknologi persoalan tersebut dapat diselesaikan dengan simulasi komputer seperti yang dilakukan pada penelitian ini.

Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Menentukan jumlah *plate* dan letak *plate* umpan kolom pemisah aseton pada pemisahan campuran aseton-etanol-air-n-butanol menjadi produk yang lebih murni

¹ Staff pengajar Fakultas Teknik Unlam Banjarmasin

dengan refluks rasio dan beban reboiler yang minimum.

- Mempelajari unjuk kerja kolom berdasarkan perubahan tekanan kolom, sehingga diketahui perubahan refluks rasio (R) beban reboiler (Q_R) dengan *recovery* dan produk atas yang tetap.

KAJIAN TEORITIS

Mengacu pada peneliti terdahulu, yaitu Roffler dkk. (1987) dan Renanto H. dkk (2001), empat buah kolom buah kolom distilasi digunakan untuk memisahkan campuran aseton-etanol-air-n-butanol yang terdiri dari kolom aseton, kolom etanol, *water stripper* dan *butanol stripper*.

Proses Pemisahan Aseton-Etanol-Air-n-Butanol

Pemisahan ini diawali dari produk atas *beer stripper* yang mengandung 70% berat air dan 30% berat aseton-etanol-n-butanol. Produk atas dari *beer stripper* diumpankan ke kolom aseton. Kolom aseton menghasilkan produk atas 99,5% berat aseton pada 0,7 atm. Produk bawah diumpankan ke kolom etanol yang beroperasi 0,3 atm.

Kolom ini menghasilkan 95% berat etanol dan produk bawah diumpankan ke *decanter*. Selain dari kolom etanol, *decanter* menerima umpan dari produk atas *water stripper* dan *butanol stripper*. Fasa kaya air mengandung sekitar 95% berat butanol dan diumpankan ke *water stripper*. Fasa kaya butanol mengandung sekitar 23% berat air diumpankan ke *butanol stripper*. *Water stripper* beroperasi pada 0,3 atm dengan produk bawah air dengan kandungan 0,01% berat. *Butanol stripper* beroperasi pada 1,5 atm dengan produk bawah 99,7% berat n-butanol. Diagram alir proses tersebut dapat dilihat dalam Gambar 1.

Metode Bubble Point (Wang-Henke) Untuk Perhitungan Distilasi

Kolom distilasi dengan model skematik *Countercurrent Cascade N plate* kesetimbangan meliputi empat golongan persamaan (*MESH Equation*) sebagai berikut :

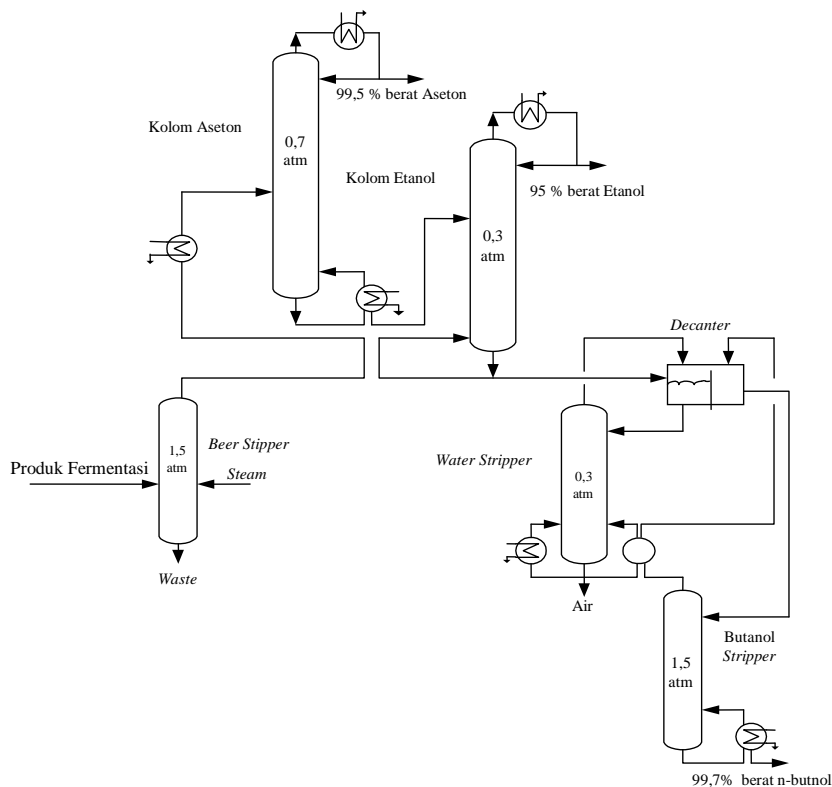
- Persamaan M (*material balance*) untuk tiap komponen (C persamaan untuk tiap *plate*).

$$M_{i,j} = L_{j-1}X_{i,j-1} + V_{j-1}y_{i,j-1} + F_jz_{i,j} - (L_j)X_{i,j} - (V_j)y_{i,j} = 0 \dots\dots\dots(1)$$

- Persamaan E (*equilibrium relation*) untuk tiap komponen (C persamaan untuk tiap *plate*).

$$E_{i,j} = y_{i,j} - K_{i,j} x_{i,j} \dots\dots\dots(2)$$

dimana : $K_{i,j}$ = rasio kesetimbangan fasa



Gambar 1. Proses pemisahan campuran aseton-etanol-air-n-butanol

Persamaan S (summation of mole fraction) untuk tiap-tiap plate.

$$(S_y)_j = \sum_{i=1}^c y_{i,j} - 1,0 = 0 \dots\dots\dots(3)$$

$$(S_x)_j = \sum_{i=1}^c x_{i,j} - 1,0 = 0 \dots\dots\dots(4)$$

▪ Persamaan H (*enthalpy balance*) untuk masing-masing *plate*

$$H_j = L_{j-1}H_{L,j-1} + V_{j+1}H_{V,j+1} + F_jH_F - (L_j)H_{L,j} - (V_j)H_{V,j} - Q_j = 0 \dots\dots\dots(5)$$

Dengan pengabaian perubahan energi potensial dan kinetik.

Selain 5 persamaan di atas terdapat persamaan neraca massa total dari *plate* 1 sampai j yang merupakan kombinasi dari persamaan (3) atau (4) dengan persamaan. (1).

$$L_j = V_{j+1} + \sum_{m=1}^j (F_m - W_m - U_m) - V_1 \dots(6)$$

Prediksi kesetimbangan uap-cair (VLE) dan cair-cair (LLE) telah banyak dilakukan seperti yang dipublikasikan oleh Gmehling dan Ongken (1977), Ismartono dan Syamsyul (1997) dan Wiryanto dan Teddy (1999). Tekanan uap jenuh suatu zat dapat diestimasi dengan persamaan Antoine (Prausnitz dkk. 1977), sedangkan harga koefisien aktifitas komponen dalam campuran dapat dihitung dengan korelasi UNIQUAC (Walas 1985). Untuk data entalpi uap dan cairan diprediksi dari Reid dkk. (1987).

Algoritma Matriks Tridiagonal dan Laju Alir Uap dan Cairan pada Tiap Plate

Algoritma matriks tridiagonal yang digunakan Wang-Henke dikembangkan oleh *Thomas*, dengan mengeliminasi y dan L dari neraca massa (M) (Henley dan Seader 1981). Laju alir uap dapat dihitung dengan persamaan neraca entalpi (Henley dan Seader 1981):

$$\alpha_j V_j + \beta_j V_{j+1} = \delta_j \dots\dots\dots(7)$$

dimana : $\alpha_j = HL_{j-1} - HV_j \dots\dots\dots(8)$

$$\beta_j = HV_{j-1} - HL_j \dots\dots\dots(9)$$

$$\delta_j = (\sum_{m=1}^{j-1} (F_m - W_m - U_m) - V_1) (HL_j - HL_{j-1}) + F_j (HL_j - HF_j) \dots\dots\dots(10)$$

Secara umum harga aliran uap pada tiap *plate* adalah:

$$V_j = \frac{\delta_{j-1} - \alpha_{j-1} V_{j-1}}{\beta_{j-1}} \dots\dots\dots(11)$$

Laju alir cairan pada tiap *plate* dapat dihitung:

$$L_j = V_{j+1} + \sum_{m=1}^j (F_m - U_m - W_m) - V_1 \dots\dots\dots(12)$$

Kebutuhan energi kondensor dan reboiler dihitung berdasarkan persamaan :

$$Q_N = \sum_{j=1}^N (F_j H_{Fj} - U_j H_{Lj} - W_j H_{Vj}) - \sum_{j=1}^{N-1} Q_j - V_1 H_{V1} - L_N H_{LN} \dots\dots\dots(13)$$

Kriteria Konvergensi

Kriteria yang disarankan Wang-Henke merupakan jumlah dari *error* tiap *plate* yang dikuadratkan. Hal ini tidak menunjukkan error tiap-tiap *plate* yang memenuhi toleransi, sehingga dibuat kriteria konvergensi yang berdasarkan error tiap *plate* yang memenuhi toleransi.

$$\left[T_j^{(k)} - T_j^{(k-1)} \right] \leq \epsilon \dots\dots\dots(14)$$

Tabel 1. Komposisi Umpan Berupa Cairan

Komponen	Fraksi berat	Fraksi mol
aseton	0,07684	0,03122
etanol	0,02184	0,01093
air	0,70000	0,89580
n-butanol	0,19952	0,06205

Harga ε merupakan harga toleransi suhu tiap-tiap *plate*, sehingga dengan kriteria ini dapat memeriksa perbedaan suhu iterasi tiap-tiap *plate* agar memenuhi *error* yang ditoleransi.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, campuran yang dipisahkan adalah campuran aseton (1)/ etanol (2)/air (3)/n-butanol (4). Untuk simulasi pemisahan ini dibuat program komputer dalam bahasa *Fortran*. Pengerjaan dibagi dalam tiga tahap, yaitu:

1. Tahap perancangan kolom aseton dengan menentukan jumlah *plate* dan letak *plate* umpan dengan refluks rasio dan penggunaan energi reboiler yang minimum untuk *recovery* dan produk atas yang tetap.
2. Tahap unjuk kerja kedua kolom tersebut berdasarkan perubahan tekanan kolom aseton untuk *recovery* dan produk atas yang tetap.
3. Tahap penentuan kolom yang memakai energi paling kecil untuk produk aseton untuk *recovery* dan produk atas yang tetap dengan memperhatikan tekanan kolom dan media pendingin.

Asumsi yang digunakan pada tahap perancangan kolom ini adalah:

1. Beda tekanan tiap *plate* sebesar 0,0034 atm dan efisiensi *plate* 100%, umpan dan refluks masuk cairan jenuh (*saturated liquid*), gas ideal, kolom distilasi sederhana dengan menggunakan kondensor total dan reboiler parsial. Basis perhitungan: 1000 kgmol/jam.
2. Komposisi umpan berupa cairan (Roffler, 1987) :
3. Komposisi aseton produk atas 99,5% berat, *recovery* aseton 99% dan tekanan dan kolom aseton 0,4 atm sampai 0,8 atm

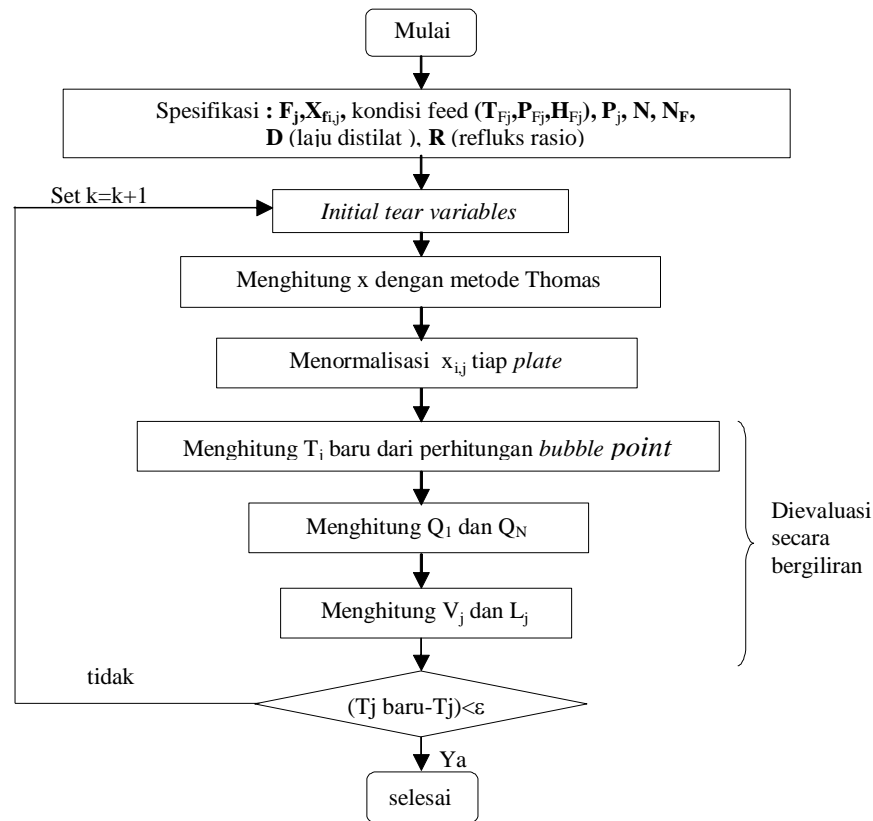
Kolom Pemisah Aseton

Pada penelitian ini, peneliti mencoba mengkondisikan kolom dengan memvariasi tekanan, untuk melihat perubahan refluks rasio (R), kebutuhan reboiler (Q_R) dan temperatur atas kolom (T_{top}).

Perubahan tekanan ini memperhatikan temperatur atas kolom agar media pendingin pada kondensor yang dipakai adalah air dan pengaruh terhadap beban pemanasan dan pendinginan untuk *recovery* dan komposisi produk aseton yang sama. Langkah-langkah perhitungan :

1. Spesifikasi problem meliputi : Komposisi, kondisi termal dan lokasi umpan masuk, tekanan tiap *plate*, laju alir side stream, perpindahan panas dari dan menuju tiap *plate*, kecuali untuk *plate* ke-1 (kondensor) dan *plate* ke-N (reboiler), jumlah *plate* total. Memasukkan harga, tekanan kolom, jumlah *plate*, letak *plate* umpan, laju produk atas dan refluks rasio.
2. Menghitung harga awal untuk variable T_j dan V_j
3. Menghitung komposisi tiap *plate* ($x_{i,j}$) dengan metode Thomas
4. Menormalisasi komposisi ($x_{i,j}$) tiap *plate*
5. Menghitung (T_j) baru dari perhitungan *bubble point* tiap *plate* dengan harga komposisi yang dihitung dari tridiagonal matrik.
6. Menghitung kebutuhan beban kondensor (Q_1) dan beban reboiler (Q_N).
7. Menghitung laju alir uap (V_j) dan cairan (L_j) tiap *plate* dari persamaan neraca panas dalam bentuk matrik didiagonal.
8. Menguji toleransi error pada persamaan (14), bila memenuhi perhitungan selesai dan bila tidak memenuhi maka ulangi perhitungan kembali pada langkah 3.

Pada tahap ini dilihat pengaruh letak *plate* umpan terhadap refluks rasio untuk jumlah *plate* tertentu, sehingga dapat dilihat pula pengaruhnya terhadap beban reboiler. Pada tahap unjuk kerja kolom dipelajari pengaruh perubahan tekanan total kolom terhadap refluks rasio dan beban reboiler untuk jumlah *plate* kolom dan letak *plate* umpan yang sama, serta *recovery* dan komposisi produk atas yang tetap. Perubahan ini dapat dilihat pengaruhnya terhadap beban reboiler (Q_N), temperatur atas kolom (T_{top}) dan refluks rasio (R), profil suhu tiap *plate*, komposisi tiap *plate*, komposisi uap tiap *plate* dan laju alir molar uap dan cairan tiap *plate*.

Gambar 2. Algoritma metode *bubble point* Wang-

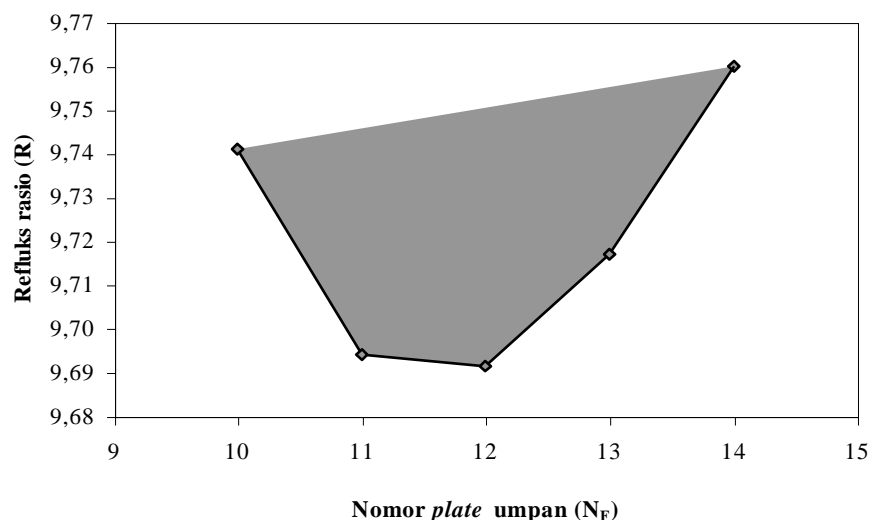
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan berikut ini berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian dengan simulasi, metode penyelesaian dan memenuhi kriteria konvergensi serta asumsi yang telah diuraikan.

Penentuan Jumlah Plate Kolom Aseton

Untuk mendapatkan spesifikasi produk yang diinginkan, penentuan jumlah *plate* merupakan salah satu masalah penting dalam kolom distilasi.

Dalam penentuan jumlah *plate* tidak terlepas dari penentuan letak *plate* umpan dan harga refluks rasio untuk penggunaan kebutuhan energi reboiler dan kondensor yang minimum. Penentuan letak *plate* umpan sangat penting, karena berpengaruh terhadap karakteristik kolom terutama harga refluks rasio dan kebutuhan energi reboiler.

Gambar 3. Hubungan refluks rasio (R) terhadap nomor *plate* umpan (N_F) kolom aseton tekanan 0,7 atm.

Pada kolom aseton 0,7 atm hubungan antara refluks rasio dengan letak *plate* umpan ditunjukkan pada Gambar 3. Untuk jumlah *plate* 50, diperoleh refluks rasio yang berbeda untuk letak *plate* umpan yang berbeda dengan kemurnian aseton 99,5% berat dan *recovery* aseton 99%.

Dari Gambar tersebut dapat dilihat bahwa refluks rasio akan turun dengan naiknya letak *plate* umpan sampai pada letak *plate* umpan tertentu, kemudian nilai refluks rasio akan naik kembali. Hal ini tergantung dari komposisi dan ketidakidealan campuran, sehingga letak *plate* umpan sangat berpengaruh terhadap refluks rasio. Letak *plate* umpan ini mempengaruhi kesetimbangan uap-cair (VLE) dalam kolom tiap *plate*. Refluks rasio minimum terletak pada *plate* ke-12, letak *plate* umpan yang optimum ditunjukkan oleh refluks rasio dan kebutuhan energi panas reboiler yang paling *kecil* untuk jumlah *plate* tertentu.

Hubungan letak *plate* umpan dengan energi reboiler ditunjukkan Gambar 4. Dari Gambar 4 dapat dilihat kebutuhan reboiler akan turun dengan naiknya letak *plate* umpan sampai pada letak *plate* umpan tertentu, kemudian nilai kebutuhan reboiler akan naik kembali.

$$R = \frac{L}{D} \dots\dots\dots(15)$$

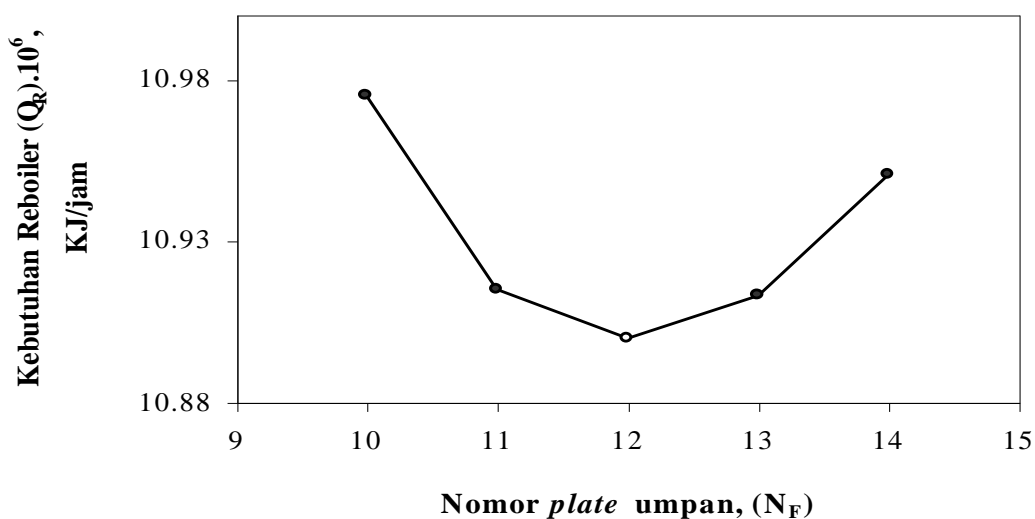
$$Q_N = \sum_{j=1}^N (F_j H_{Fj} - U_j H_{Lj} - W_j H_{Vj}) - \sum_{j=1}^{N-1} Q_j - V_1 H_{V1} - L_N H_{LN} \dots\dots(16)$$

Dari persamaan di atas dapat dilihat, besar kecilnya harga refluks rasio akan mempengaruhi kebutuhan panas reboiler. Untuk refluks rasio yang besar beban reboiler juga besar, karena cairan yang dikembalikan ke kolom (refluks) semakin besar dan energi yang dibutuhkan untuk menguapkan cairan tersebut dalam reboiler juga besar. Jadi letak *plate* umpan yang optimum ditunjukkan oleh kebutuhan energi panas reboiler yang paling *kecil* untuk jumlah *plate* tertentu.

Pengaruh Refluks Rasio terhadap Jumlah Plate Kolom Aseton dan Kebutuhan Energi Reboiler

Hubungan kebutuhan energi reboiler dan kondensor dengan refluks rasio menunjukkan bahwa makin besar harga refluks rasio, makin besar kebutuhan energi reboiler dan kondensor yang dibutuhkan. Perbedaan kebutuhan energi reboiler dan kebutuhan energi kondensor semakin besar dengan berkurangnya harga refluks rasio. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 5.

$$\begin{aligned} Fh_F + Q_R - Q_C - Dh_D - Bh_B &= 0 \\ B &= F - D \\ Q_R - Q_C &= Dh_D + Bh_B - Fh_F \\ &= Dh_D + Bh_B - Dh_B - Fh_F \\ &= D(h_D - h_B) + Fh_B - Fh_F \dots\dots(17) \end{aligned}$$



Gambar 4. Hubungan kebutuhan energi reboiler (QR) terhadap nomor plate umpan (NF) kolom aseton tekanan 0,7 atm.

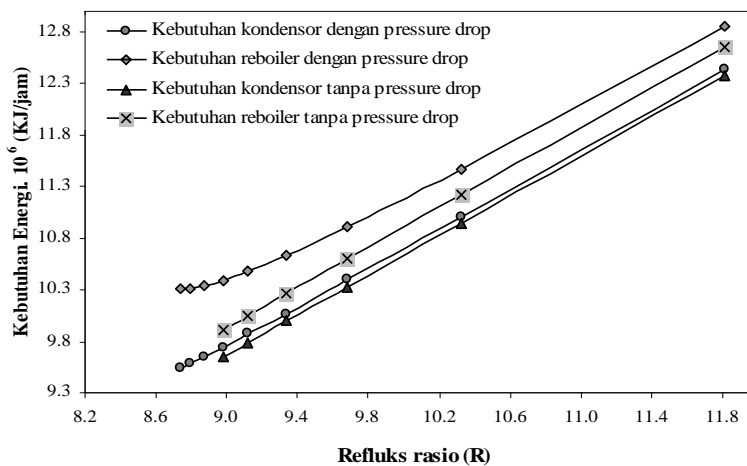
Dari persamaan $Q_R - Q_C$ dapat dilihat selisih kebutuhan energi panas reboiler dan kondensor yang berpengaruh adalah laju molar produk atas (D), entalpi produk atas dan entalpi produk bawah. Untuk jumlah *plate* kolom yang banyak menyebabkan perbedaan tekanan dan suhu di bagian atas dan bagian bawah semakin besar, hal ini menyebabkan penambahan energi reboiler lebih besar daripada kondensor. Untuk kolom ideal, dimana tidak terjadi *pressure drop* dalam kolom penambahan refluks rasio mengakibatkan penambahan kebutuhan energi reboiler dan kondensor. Pada kolom ideal berkurangnya harga refluks rasio tidak menyebabkan perbedaan kebutuhan energi reboiler dan kondensor. Jadi jika kolom ideal, bertambahnya refluks rasio akan diikuti oleh kenaikan energi reboiler dan kondensor secara linier.

Hubungan jumlah *plate* kolom dengan refluks rasio ditunjukkan pada Gambar 6. Harga refluks rasio diperoleh dari harga refluks rasio optimum pada letak *plate* umpan untuk jumlah *plate* kolom tertentu. Hubungan tersebut menunjukkan bahwa makin besar harga refluks rasio, makin sedikit jumlah *plate* kolom yang dibutuhkan.

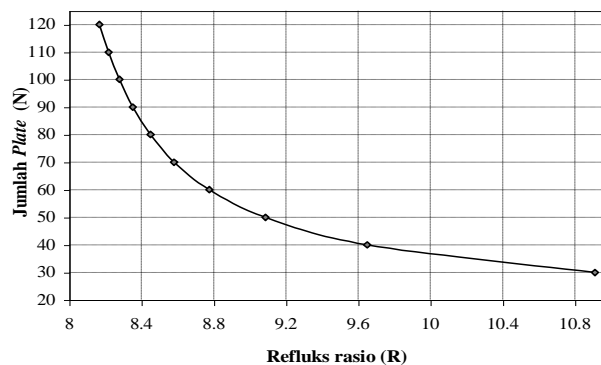
Pada saat nilai refluks rasio mendekati nilai refluks rasio minimum dengan jumlah *plate* mendekati tak berhingga, perhitungan sangat sulit untuk mencapai konvergen. Dari Gambar 4 dapat ditentukan harga refluks rasio yang minimum. Harga refluks rasio minimum diperoleh pada jumlah *plate* tak berhingga (maksimum).

Tekanan kolom aseton 0,7 atm harga refluks rasio pada jumlah *plate* kolom 110 dianggap sebagai refluks rasio minimum sebesar 8,74. Dengan cara yang sama seperti di atas nilai refluks minimum tiap tekanan dapat dilihat pada Tabel 2.

Sebagai kasus dasar dari perancangan adalah tekanan 0,7 atm, ditetapkan jumlah *plate* 50 buah dengan refluks operasi 1,11 kali refluks minimum. Jumlah *plate* yang ditetapkan disimulasikan kembali untuk mencari harga refluks rasio sesungguhnya.



Gambar 5. Hubungan kebutuhan energi reboiler (Q_R) dan kondensor (Q_C) terhadap refluks rasio (R) kolom aseton tekanan 0,7 atm.



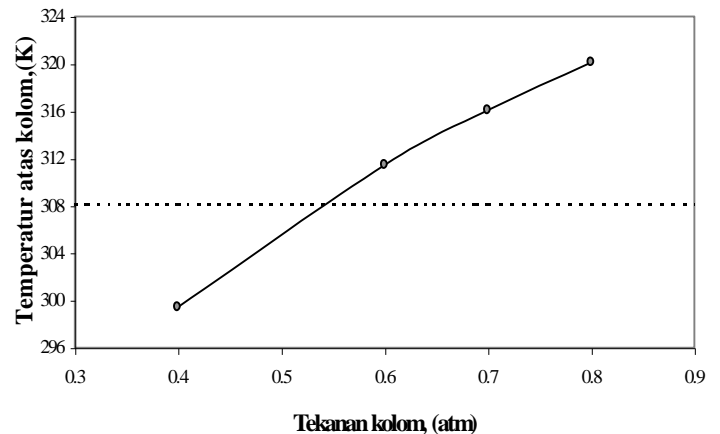
Gambar 6. Hubungan jumlah *plate* (N) terhadap refluks rasio (R) kolom aseton tekanan 0,7 atm.

Tabel 2. Harga refluks rasio minimum tiap tekanan kolom aseton

Tekanan (p), atm	Jumlah plate maksimum, buah	Refluks minimum
0,4	90	7,12
0,6	120	8,17
0,7	110	8,74
0,8	80	9,46

Hasil yang diperoleh untuk kondisi di atas adalah:

- Kolom aseton 0,7 atm :
 - Jumlah plate kolom, buah : 50
 - Letak plate umpan, ke- : 12
 - Refluks rasio : 9,69
 - Laju distilat, kgmol/jam : 31,267
 - Kebutuhan energi kondensor, KJ/jam : $10,3898.10^6$
 - Kebutuhan energi reboiler, KJ/jam : $10,8999.10^6$



Gambar 7. Hubungan temperatur atas (T_{top}) kolom terhadap tekanan kolom (p) aseton.

Unjuk Kerja Kolom Aseton

Kinerja kolom aseton terhadap perubahan tekanan untuk mengetahui pengaruh tekanan terhadap refluks rasio (R), temperatur atas kolom (T_{top}), energi reboiler (Q_R) dan kondensor (Q_C). Jumlah *plate* yang diperoleh pada tekanan 0,7 atm disimulasikan kembali untuk tekanan 0,4; 0,6 dan 0,8 atm. Hasil simulasi untuk perubahan tekanan total kolom aseton dapat dilihat Tabel 3.

Temperatur atas kolom sangat berpengaruh terhadap beban kondensor dan pendingin yang digunakan. Pada kolom aseton media pendingin yang digunakan adalah air. Dengan pendingin air temperatur atas kolom minimal 308 K. Dari Gambar 7 menunjukkan hubungan antara temperatur atas kolom terhadap tekanan kolom aseton.

Tabel 3. Hasil Simulasi Kolom Aseton pada Berbagai

Tekanan Kolom Aseton, atm	0,4	0,6	0,7	0,8
Jumlah <i>plate</i> kolom, buah	50	50	50	50
Letak <i>plate</i> umpan, ke-	12	12	12	12
Refluks rasio (R)	7,7	9,107	9,692	12,6
Laju distilat (D), kgmol/jam	31,21	31,236	31,267	31,22
Kebutuhan kondensor (Q_C), KJ/jam	$10,2213.10^6$	$9,8923.10^6$	$10,3898.10^6$	$13,074.10^6$
Kebutuhan reboiler (Q_R), KJ/jam	$10,7314.10^6$	$10,4316.10^6$	$10,8999.10^6$	$13,4737.10^6$

Dari Gambar tersebut tekanan kolom yang dapat menggunakan pendingin air minimal pada tekanan 0,6 atm. Jadi tekanan kolom etanol yang digunakan berdasarkan pertimbangan di atas adalah 0,6 atm.

a. Pengaruh Tekanan Total Kolom terhadap Distribusi Komponen Kunci

Gambar 8 menunjukkan profil komposisi mol cairan etanol tiap *plate* untuk tekanan kolom aseton 0,7 dan 0,6 atm. Pada bagian *stripping* (di bawah *plate* umpan) kenaikan komposisi cairan mol etanol konstan, sedangkan bagian *enriching* (di atas *plate* umpan) komposisi mol cairan bertambah dengan cepat sampai komposisi etanol mencapai 0,988 mol (99,5 % berat) pada *plate* ke-1.

Pada bagian *stripping* ini terjadi kenaikan mol aseton yang konstan dari *plate* ke-50 sampai *plate* ke-12 di bawah kondensor, hal ini disebabkan campuran umpan yang masuk sangat encer. Perbandingan komposisi umpan antara komponen kunci ringan (*light key*) dengan komponen kunci berat (*heavy key*) sangat besar, yaitu 3 : 90.

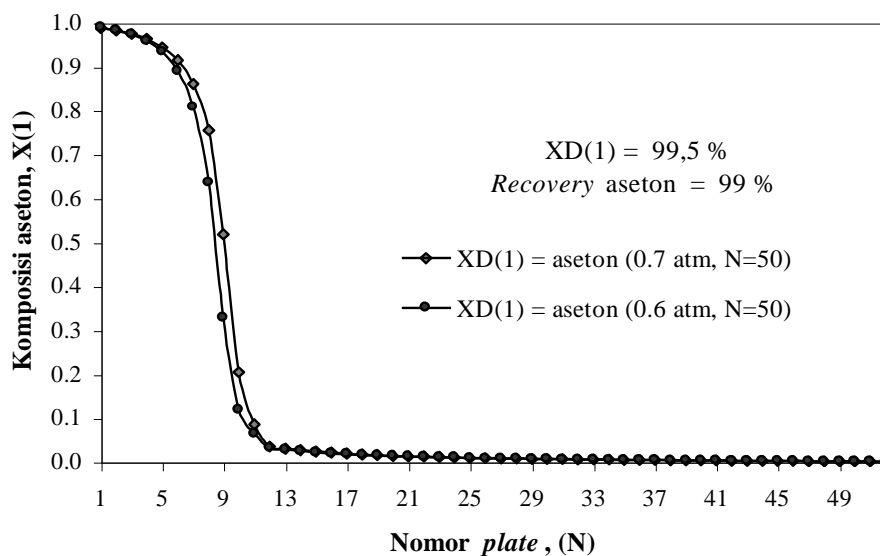
Komposisi komponen berat (air) yang sangat besar menyebabkan mol aseton lebih sukar menguap. Distribusi mol cairan maupun uap etanol pada bagian *stripping* kenaikannya sangat kecil. Pada bagian *enriching* mulai

terjadi pemisahan aseton dari campurannya sampai komposisi 99,5 % berat. Kenaikannya komposisi mol etanol lebih cepat pada bagian *enriching* karena kandungan komponen berat (air) berkurang, sehingga fraksi kaya aseton semakin besar sampai mencapai kemurnian 99,5 % berat. Distribusi keempat komponen tiap *plate* tekanan 0,6 atm dapat dilihat pada Gambar 9.

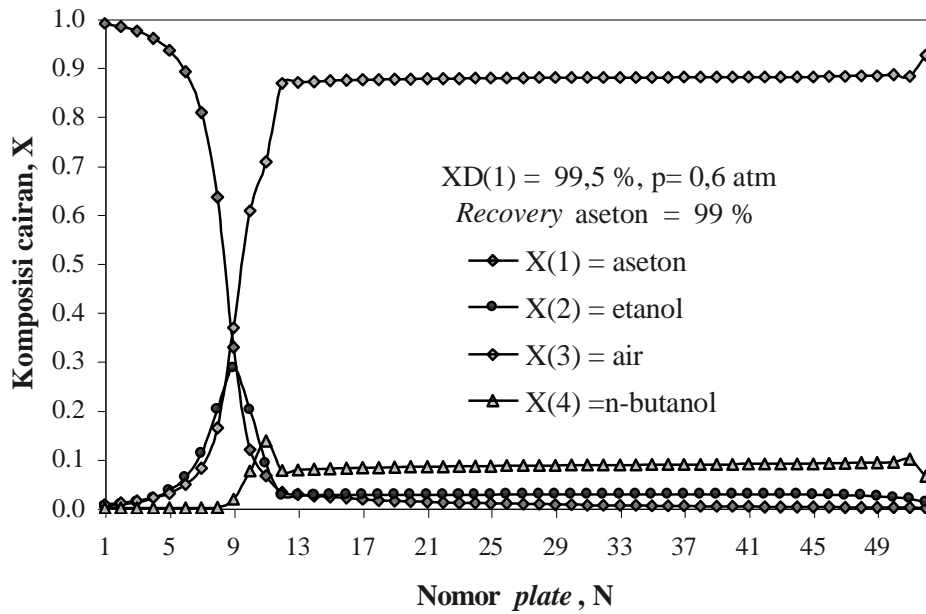
b. Pengaruh Tekanan Total Kolom terhadap Temperatur tiap *Plate*

Profil temperatur kolom aseton tiap *plate* untuk tekanan 0,7 atm dan 0,6 atm ditunjukkan Gambar 10. Bagian bawah kolom ditunjukkan nomor *plate* yang paling besar dan terus mengecil sampai bagian atas kolom.

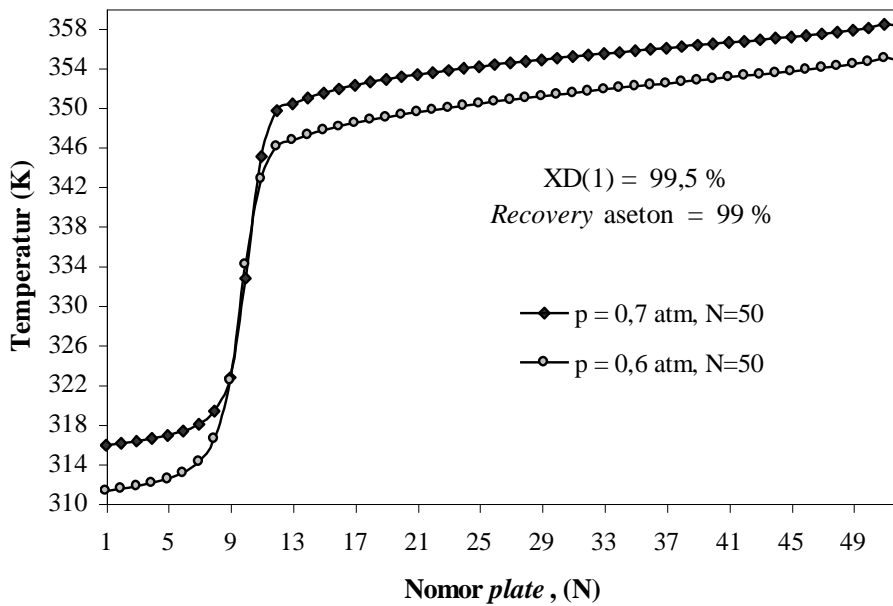
Temperatur di bagian *stripping* menurun secara konstan, kemudian terjadi penurunan yang tajam di daerah sekitar *plate* umpan. Pada bagian atas kolom penurunan temperatur konstan kembali. Temperatur atas kolom 315,88 K dan bawah kolom 358,16 K untuk tekanan 0,7 atm dan tekanan 0,6 atm temperatur atas kolom 311,22 K dan bawah kolom 354,78 K. Perhitungan temperatur tiap *plate* pada kolom berdasarkan metode *bubble point* yang tergantung dari tekanan dan komposisi cairan tiap *plate*.



Gambar 8. Profil komposisi mol cairan tiap *plate* kolom



Gambar 9. Profil komposisi cairan tiap *plate* kolom aseton tekanan 0,6 atm.



Gambar 10. Profil temperatur tiap *plate* kolom aseton tekanan 0,7 atm dan 0,6 atm.

Pada bagian *enriching* profil temperatur penurunannya tajam (ΔT) besar. Hal ini disebabkan bertambahnya komposisi cairan dari umpan (x_F). Pada saat mendekati bagian atas kolom penurunan temperatur konstan kembali, karena komposisi cairan *light key* mendekati murni.

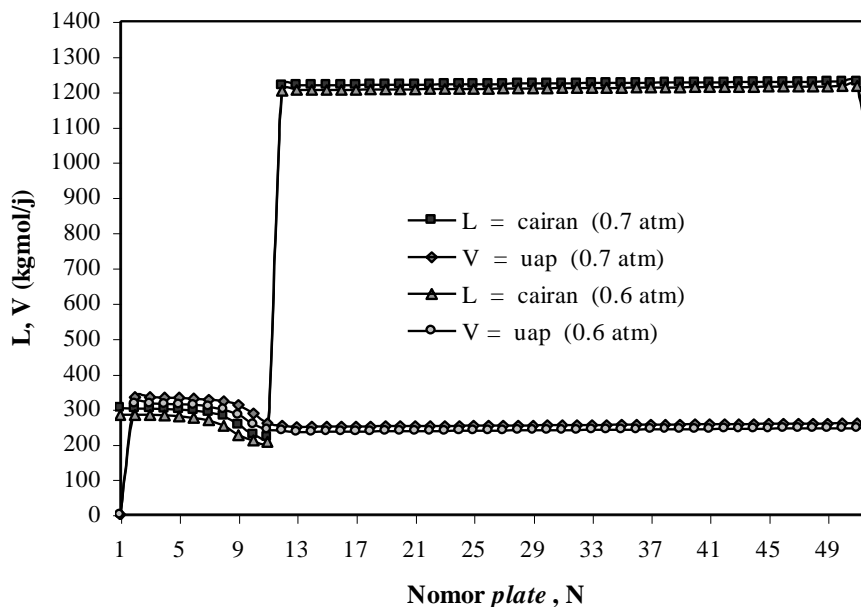
Distribusi temperatur untuk *plate* yang sama untuk tekanan total kolom 0,7 atm lebih besar daripada tekanan 0,6 atm, sehingga energi yang dibutuhkan untuk kondensor dan reboiler juga bertambah besar.

c. Pengaruh Tekanan Total Kolom terhadap Laju Cairan dan Laju Uap tiap *Plate*

Gambar 11 menunjukkan profil laju cairan (L_j) dan laju uap (V_j) tiap *plate* untuk tekanan 0,7 dan 0,6 atm. Untuk tekanan total kolom 0,7 atm bagian bawah kolom laju cairan konstan di tiap *plate* bertambah 0,1 sampai 0,3 kgmol/jam sampai pada bagian *enriching* terjadi penurunan laju cairan, sebesar ± 996 kgmol/jam, hal ini disebabkan penambahan cairan dari umpan tidak diperhitungkan lagi, sehingga cairan yang berada pada bagian *enriching* hanya cairan dari refluks pada bagian atas kolom. Selanjutnya terjadi kenaikan laju alir cairan sampai ratenya 303 kgmol/jam.

d. Pengaruh Tekanan terhadap Refluks Rasio, Laju Distilat dan Kebutuhan Energi Reboiler pada Kolom Aseton

Perubahan tekanan kolom aseton menyebabkan penurunan refluks rasio dari 9,69 menjadi 9,107 menurun 6,03 % dan laju distilat dari 31,267 menjadi 31,236 dengan *recovery* aseton 99 % dan produk 99,5 % berat aseton. Dengan penurunan tekanan kolom komponen ringan (*light key*) lebih mudah menguap, karena semakin rendah tekanan *relative volatility* (α) komponen ringan terhadap komponen berat semakin besar.



Gambar 11. Profil laju cairan dan laju uap tiap *plate* kolom aseton tekanan 0,7 dan 0,6 atm.

Untuk tekanan total kolom 0,6 atm laju alir uap bagian *stripping* konstan tiap *plate* $\pm 0,1$ sampai 0,3 atm kgmol/jam, kemudian pada bagian *enriching* terjadi kenaikan 996,26 kgmol/jam pada *plate* ke-11, selanjutnya kenaikan konstan sampai *plate* ke-1 sebesar 234,04 kgmol/jam. Hal ini terjadi karena bagian *enriching* laju molal cairan tidak diperhitungkan, sehingga kontak antara cairan dan uap menjadi lebih kecil dan uap yang meninggalkan *plate* dan konsentrasinya meningkat. Pada *plate* ke-11 konsentrasi uap meningkat karena laju uap bertambah dengan penambahan umpan berupa cairan jenuh (*saturated liquid*).

Dari segi kebutuhan panas dan pendingin kolom aseton semakin rendah tekanan kolom kebutuhan panas dari $10,8999 \cdot 10^6$ menjadi $10,4316 \cdot 10^6$ KJ/jam menurun 4,3% dan kebutuhan pendingin dari $10,3898 \cdot 10^6$ menjadi $9,8923 \cdot 10^6$ KJ/jam menurun 4,78 % .

Energi yang dibutuhkan untuk memvacumkan kolom aseton 0,7 atm sebesar 104,51 KJ/jam sedangkan untuk 0,6 atm 125,169 KJ/jam. Penurunan tekanan kolom dari 0,7 atm menjadi 0,6 atm akan menurunkan kebutuhan reboiler $468,3 \cdot 10^3$ KJ/jam. Penurunan tekanan pada kolom aseton dengan memperhatikan media pendingin pada kondensor digunakan air. Penambahan kebutuhan memvacumkan

kolom dan penurunan energi reboiler dan kondensor dapat menghemat energi 4,3% ($468,278.10^3$ KJ/jam).

Dari perhitungan di atas penggunaan energi dapat dihemat, jadi ditentukan kolom aseton yang dipakai dalam perancangan ini tekanan 0,6 atm.

- Jumlah *plate* kolom, buah : 50
- Letak *plate* umpan ke- : 12
- Refluks rasio : 9,107
- Laju distilat, kgmol/jam : 31,236
- Kebutuhan energi kondensor, Gkal/jam : 2,365
- Kebutuhan energi reboiler, Gkal/jam : 2,495

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal :

1. Penentuan jumlah *plate* kolom aseton tergantung letak *plate* umpan yang optimum ditunjukkan oleh refluks rasio dan beban panas reboiler yang paling kecil.
2. Kondisi yang optimum untuk memisahkan campuran aseton-etanol-air-n-butanol menjadi kemurnian 99,5 % aseton kolom pemisah dioperasikan pada tekanan 0,6 atm.
3. Penurunan tekanan total kolom aseton menyebabkan :
 - penurunan refluks rasio
 - penurunan beban kondensor dan reboiler
 - penurunan distribusi temperatur tiap *plate*
 - penurunan laju molar uap dan cairan tiap *plate*

Saran

Kondisi operasi kolom pada tekanan *vacuum* yang optimum diperoleh pada tekanan 0,6 atm, perlu dikaji lebih lanjut bagaimana jika kolom dioperasikan pada tekanan atmosferik. Pada kondisi atmosferik energi untuk mem*vacuum*kan kolom tidak diperlukan, sehingga dapat diketahui apakah pada kondisi ini kinerja dan spesifikasi produk yang dihasilkan akan sama seperti pada kondisi *vacuum* dimana pertimbangan utilitas/energi yang paling diperhatikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Dagdar, A.M., dan Foutch G.L. (1988), "Improving The Acetone-Butanol Fermentation Process with Liquid-Liquid Extraction", Biotech. Prog., 4, p. 26.
- Gmehling, J., dan Onken U. (1977), *Vapor-Liquid Equilibrium Data Collection*, DECHEMA Chemistry Data Series, I, DECHEMA, Frankfurt.
- Henley, E. J., dan Seader J. D. (1981), *Equilibrium-Stage Separation Operation in Chemical Engineering*, John Wiley & Sons, Singapore.
- Ismartono, T. dan Syamsul, A.W. (1997), *Pengukuran Kesetimbangan Uap-Cair Sistem Biner Etanol(1)-n-Butanol(2), Aseton(1)-Etanol(2), dan Aseton(1)-n- Butanol(2) pada Tekanan Atmosfir*, Skripsi S-1, ITS, Surabaya.
- Prausnitz, J. M., Sherwood, T.K., dan Poling B.E. (1977), *The Properties of Gases & Liquid*, Edisi 3, McGraw-Hill Book Co., Singapore.
- Reid, R.C., Prausnitz, J.M, B.E. (1987), *The Properties of Gas and Liquid*, Mc. Graw Hill International edition, 4th edition, Singapore.
- Roffler, S., Blanch, H.W, dan Wilke, C.R. (1987), *Extractive Fermentation of Acetone and Butanol: Process Design and Economic Evaluation*, Biotech. Prog., 3, p. 131.
- Renanto, H. dan Iryanti, F.N. (2001), *Pengaruh Tekanan terhadap Kinerja Kolom Distilasi Aseton dan Etanol pada Pemisahan Campuran Aseton-Etanol-Air-n-Butanol*, Majalah IPTEK, vol 3 p.134.
- Smith, J.M., dan H.C. Van Ness (1996), *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*, 5th, McGraw-Hill, Singapore.