

# PERFORMA KOLOM SIEVE TRAY DENGAN PENAMBAHAN PACKING SERABUT PADA DISTILASI ETANOL-AIR

Mahasiswa : Indi Raisa Girsang (2310100119)  
Melvina Eliana (2310100161)  
Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Nonot Soewarno, M.Eng  
Pembimbing II : Siti Nurkhamidah, ST., MS., PhD

## ABSTRAK

Pada pemisahan campuran etanol-air dengan *sieve tray* pada kolom distilasi, efisiensi yang dihasilkan kurang baik. Dengan penambahan *packing* serabut besi luas kontak untuk perpindahan masa *vapour-liquid* menjadi lebih besar. *Pressure drop* meningkat karena *interfacial area* antara *vapor* dan *liquid* menjadi lebih baik. Sehingga efisiensi Murphee juga meningkat.

Metode penelitian ini menggunakan sistem *batch* dengan penambahan *packing* serabut besi pada pada *tray* ke-3. Pada penelitian ini, digunakan hasil fermentasi molasses yang mempunyai kadar etanol sebesar 10 % volume sebagai *feed*. Penambahan *packing* dengan variabel tinggi *packing* 5 cm, 3 cm dan 2 cm.

Dari hasil penelitian didapatkan efisiensi Murphee untuk tinggi *packing* 5 cm, 3 cm, 2 cm dan tanpa *packing* adalah 74%, 67%, 57%, dan 47%. Efisiensi Murphee dengan menggunakan *packing* meningkat sebanyak 22-58% dari 47%. Dengan pengukuran dari manometer air didapatkan perbandingan *pressure drop* dengan tinggi *packing* 5 cm, 3cm, 2 cm adalah 38,33 cmH<sub>2</sub>O/m, 30 cmH<sub>2</sub>O/m, 10 cmH<sub>2</sub>O/m. Dan *interfacial area* sebesar 11,88 cm<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup>., 0,48 cm<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup> dan 0,32 cm<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup>.

**Kata Kunci:** etanol, distilasi, *packing*, *sieve tray*, serabut besi, *interfacial area*.

# PERFORMANCE OF COMBINED WIRE MESH PACKING AND SIEVE TRAY IN ETHANOL-WATER DISTILLATION

Student Name : Indi Raisa Girsang (2310100119)  
Melvina Eliana (2310100161)  
Advisor I : Prof. Dr. Ir. Nonot Soewarno, M.Eng  
Advisor II : Siti Nurkhamidah, ST., MS., PhD

## ABSTRACT

Separation of ethanol-water with sieve tray has lower efficiency. With wire mesh packing being added, providing bigger interfacial area for vapour-liquid. Pressure drop become higher but the efficiency is better than without packing.

This research method use batch system with the addition of wire mesh packing on the third tray. In this study, fermented molasses which has a 10% volume of ethanol has been used as feed. Wire mesh packing was added with height of 5, 3 and 2 cm.

The Murphee efficiency obtained from the experiment for packed with 5 cm, 3 cm, 2 cm height and without packing were 73,5%, 66,27%, 56,86%, and 46,7% respectively. Efficiency Murphee for tray with packing has increased 22-58% from 47%. Meanwhile, the pressure drop from the water manometer measurement were 38,33 cmH<sub>2</sub>O/m, 30 cmH<sub>2</sub>O/m, 10 cmH<sub>2</sub>O/m for packing with 5 cm, 3 cm, 2 cm height. And the interfacial area were 11,88 cm<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup>., 0,48 cm<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup> dan 0,32 cm<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup>.

**Keywords:** *ethanol, distillation, packing, sieve tray, wire mesh, interfacial area.*

## DAFTAR NOTASI

B	Bottom (kg/jam)
C	Konsentrasi (kg/L)
D	Distilat (kg/jam)
F	Feed (kg/jam)
L	Reflux (kg/jam)
H <sub>f</sub>	Entalpi Feed
H <sub>b</sub>	Entalpi Bottom
H <sub>d</sub>	Entalpi Distilate
P	Tekanan
$P_i^{sat}$	Tekanan jenuh suatu zat
$Q_c$	Beban condensor
$Q_B$	Beban reboiler
R	Reflux ratio
T	Temperatur
X <sub>i</sub>	Konsentrasi zat dalam fase liquid
X <sub>b</sub>	Konsentrasi kadar bottom
X <sub>d</sub>	Konsentrasi kadar distilat
X <sub>f</sub>	Konsentrasi kadar feed
Y <sub>i</sub>	Konsentrasi zat dalam fase uap
$\gamma_i$	Koefisien aktifitas suatu zat
$\varepsilon$	Porositas
$a_w$	wetted surface area of packing
Re <sub>L</sub>	Reynolds number for liquid
Fr <sub>L</sub>	Froude number for liquid
We <sub>L</sub>	Weber number for liquid
G <sub>L</sub>	liquid mass flow
$\sigma$	surface tension
$\mu_L$	viscosity of liquid
$a_p$	pecific surface of packing
g	gravity acceleration
$\alpha$	<i>relative volatility</i>
$\rho_G$	densitas <i>vapor</i>

$\rho_L$

densitas *liquid*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Etanol *anhydrous*, dikenal juga sebagai etanol absolut adalah cairan yang jernih, tidak berwarna dan homogen serta tidak tersuspensi. Merupakan biofuel yang digunakan sebagai *renewable* energi. Dan merupakan bahan bakar yang tidak menghasilkan polusi. Etanol absolut mengandung paling sedikit 89,4% mol etanol pada tekanan atmosferik. Etanol absolut dapat diproduksi melalui fermentasi sukrosa, distilasi dan adsorpsi menggunakan *molecular sieve*. (Kumar et al., 2010)

### 2.1. Fermentasi Molases

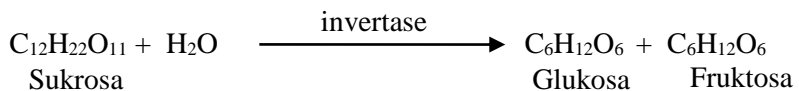
Molase atau tetes tebu mengandung kurang lebih 60% selulosa dan 35,5% hemiselulosa. Kedua bahan polisakarida ini dapat dihidrolisis menjadi gula sederhana yang selanjutnya dapat difermentasi menjadi etanol. Salah satu produk samping dari industri gula pasir dari tebu adalah molase. Molases mengandung gula yang tidak mengkristal. (Juwita Ratna, 2012)

**Tabel 2.1** Komposisi Kimia Molases

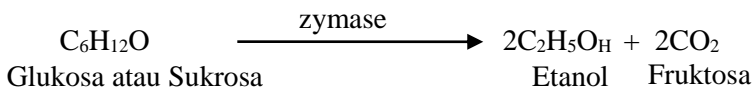
Komposisi	Presentase (%)
Bahan kering	77 – 84
Total gula sebagai gula invert	52 – 67
C	
N	0,4 - 1,5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,6 - 2,0
CaO	0,1 - 1,1
MgO	0,03 - 0,1

K <sub>2</sub> O	2,6 - 5,0
SiO <sub>2</sub>	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
Fe <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
Total abu	7- 11

Molases berbentuk cair dengan kandungan glukosa 21,7% mass, sukrosa 34,19% mass, air 26,49% mass, abu 17,62% mass (Syaichurrozi, 2012). Fermentasi sukrosa dapat dilakukan menggunakan yeast komersial seperti *Saccharomyces cerevisiae*. Reaksi kimia dari fermentasi ini terdiri dari hidrolisis enzimatik sukrosa yang dilanjutkan dengan fermentasi gula sederhana. Enzim invertase (enzim yang terdapat dalam yeast) mengkatalisis hidrolisis sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa melalui reaksi:



Selanjutnya, enzim zymase (juga terdapat dalam yeast) mengkonversi glukosa dan fruktosa menjadi etanol dan CO<sub>2</sub>, menurut reaksi :



(Pelzar, M. Z, 1983)

Hal - hal yang perlu diperhatikan untuk memperoleh hasil yang optimal dalam proses fermentasi molases antara lain adalah temperatur, pH, lamanya waktu proses fermentasi, dan kadar gula

dalam molases. Adapun kondisi optimum dalam proses fermentasi molases adalah fermentasi dengan temperatur 35°C, pH 4,0, dan waktu selama 72 jam untuk molases dengan kadar gula sebesar 300 gram/liter (*Periyasami et al., 2009*).

## 2.2. Azeotrop

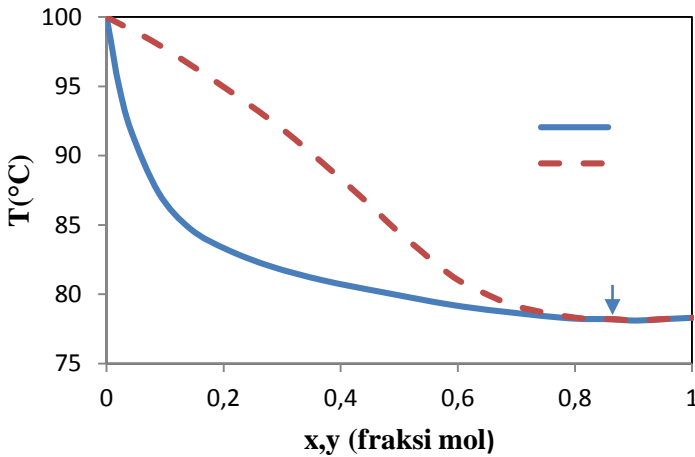
Pada range tekanan rendah sampai sedang, hubungan antara komposisi fase *vapor* dan *liquid* pada kesetimbangan dapat dinyatakan sebagai fungsi total tekanan sistem, tekanan uap masing – masing komponen, dan koefisien aktivitas fase *liquid* masing – masing komponen idi dalam campuran.

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

Pada sistem yang menunjukkan perilaku fase *liquid* ideal, koefisien aktivitas ( $\gamma$ ) sama dengan 1 dan persamaan di atas menyederhanakan hukum Raoult. Untuk perilaku *liquid* non ideal, sistem menunjukkan deviasi negatif dari hukum Raoult jika  $\gamma_i < 1$ , dan sebaliknya, akan menghasilkan deviasi positif jika  $\gamma_i > 1$ . Pada sistem non ideal, nilai deviasi sangat besar pada puncak diagram fase temperatur – komposisi, seperti pada gambar 1. Pada titik *azeotrop*, komposisi *vapor* dan *liquid* dalam kesetimbangan, sehingga

$$y_i = x_i$$

Dan sistem ini disebut membentuk sebuah *azeotrop*, berasal dari bahasa Yunani yang berarti tidak dapat berubah dengan pemanasan. Sistem *azeotrop* menunjukkan minimum pada diagram T-x,y ketika deviasi dari hukum Raoult bernilai positif dan maksimum ketika deviasi hukum Raoult bernilai negatif. (*Perry,1997*)



**Gambar 2.1** Diagram T-x-y pada campuran etanol - air

### 2.3. Distilasi

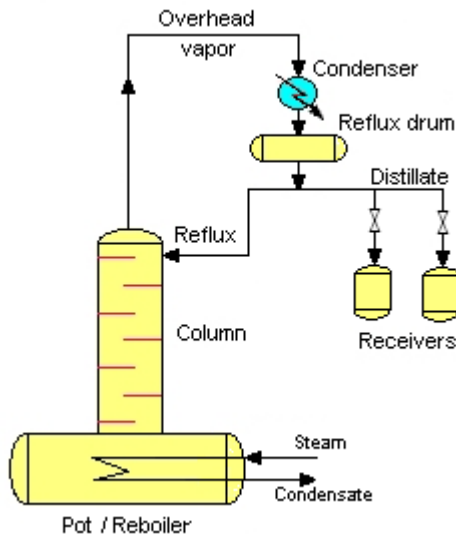
Proses distilasi sering digunakan untuk memisahkan campuran etanol – air. Distilasi adalah sebuah metode pemisahan komponen – komponen larutan yang tergantung terhadap distribusi zat antara fase *liquid* dan *vapor*, berlaku untuk kasus dimana semua komponen terdapat di kedua fase. Sebagai ganti untuk memasukkan zat yang baru ke dalam campuran untuk melengkapi fase kedua, baik di dalam absorpsi gas maupun desorpsi, fase baru dibentuk dari larutan asli dengan cara *vaporisasi* atau kondensasi. (Treybal, 1981)

Distilasi memiliki dua prinsip metode. Metode yang pertama merupakan produksi uap dari pemanasan campuran *liquid* untuk dipisahkan dan mengkondensasi uap dan tidak ada *liquid* yang kembali ke kolom. Metode yang kedua kondensat dikembalikan ke kolom agar berkontak lagi dengan uap. (McCabe, 2001)

Proses distilasi menggunakan fase *vapor* dan *liquid* pada suhu dan tekanan yang sama untuk zona yang sama. Berbagai –



macam peralatan seperti *random* atau *structured packing*, dan *plate* atau *tray* digunakan untuk mengontakkan kedua fase tersebut dengan baik. *Tray* disusun di atas *tray* yang lain dan tertutup di dalam sebuah bejana silinder untuk membentuk sebuah kolom. *Packing* juga terdapat di dalam sebuah bejana silinder di antara *plate* penyangga. (Perry,1997)



**Gambar 2.2** Diagram Alir Kolom Distilasi

**Gambar 2.2** menunjukkan diagram alir kolom distilasi untuk tipe distilasi *batch*. Campuran dibebankan pada reboiler, dan energi panas dipasok melalui kumparan atau melalui dinding bejana hingga cairan mencapai titik didih dan kemudian menguap. Uap meninggalkan reboiler saat berada dalam kesetimbangan dengan cairan, tapi karena uap mengandung lebih banyak dalam komponen yang lebih *volatile*, komposisi cairan dan uap tidak konstan.

Untuk menunjukkan bagaimana perubahan komposisi terhadap waktu, maka dimisalkan  $n_0$  adalah mol campuran yang dibebankan pada sistem *batch*. Misalkan  $n$  adalah mol cairan yang tersisa pada waktu tertentu dan  $y$  dan  $x$  adalah komposisi uap dan cairan. Total mol komponen A yang tersisa di  $n_{A}$  akan

$$n_A = x_n \quad (2.1)$$

Jika sejumlah kecil *liquid* menguap, perubahan mol komponen A adalah  $dn$ , atau  $dn_A$ . Lalu didiferensiasikan

$$dn_A = d(x_n) = n dx + x dn \quad (2.2)$$

Sehingga

$$n dx + x dn = y dn \quad (2.3)$$

Disusun kembali menjadi,

$$dn/n = dx/(y-x) \quad (2.4)$$

Persamaan diintegrasikan antara batas-batas, yaitu konsentrasi awal dan akhir,  $x_0$  dan  $x_1$ ,

$$\int_{n_0}^{n_1} \frac{dn}{n} = \int_{x_0}^{x_1} \frac{dx}{y-x} = \ln \frac{n_1}{n_0} \quad (2.5)$$

Persamaan (2.5) dikenal sebagai persamaan Rayleigh. Fungsi  $dx / (y-x)$  dapat diintegrasikan secara grafis atau numerik menggunakan data kesetimbangan ditabulasi atau kurva keseimbangan. Untuk campuran yang ideal persamaan Rayleigh dapat disederhanakan dengan mendiferensiasikan persamaan tersebut berdasarkan pada volatilitas relatif. Meskipun suhu dalam kolom meningkat selama distilasi *batch*, volatilitas relatif, yang merupakan rasio dari tekanan uap, hampir tidak berubah dan nilai rata-rata dapat digunakan dari

$$\frac{y_A}{y_B} = \alpha_{AB} \frac{x_A}{x_B} \quad (2.6)$$

Jika campuran memiliki  $n_A$  mol A dan  $n_B$  B mol B, rasio  $n_A/n_B$  sama dengan  $x_A/x_B$ ; ketika mol  $dn$  menguap, perubahan A adalah  $y_A dn$  atau  $dn_A$ , dan perubahan B adalah  $y_B dn$  or  $dn_B$ . Disubstitusi menjadi

$$\frac{\frac{dn_A}{dn}}{\frac{dn_B}{dn}} = \frac{dn_A}{dn_B} = \alpha_{AB} \frac{n_A}{n_B} \quad (2.7)$$

atau

$$\frac{dn_A}{n_A} = \alpha_{AB} \frac{dn_B}{n_B} \quad (2.8)$$

Setelah integrasi antara batas

$$\ln \frac{n_A}{n_{oA}} = \alpha_{AB} \ln \frac{n_B}{n_{oB}} \quad (2.9)$$

atau

$$\frac{n_B}{n_{oB}} = \left( \frac{n_A}{n_{oA}} \right)^{\frac{1}{\alpha_{AB}}} \quad (2.10)$$

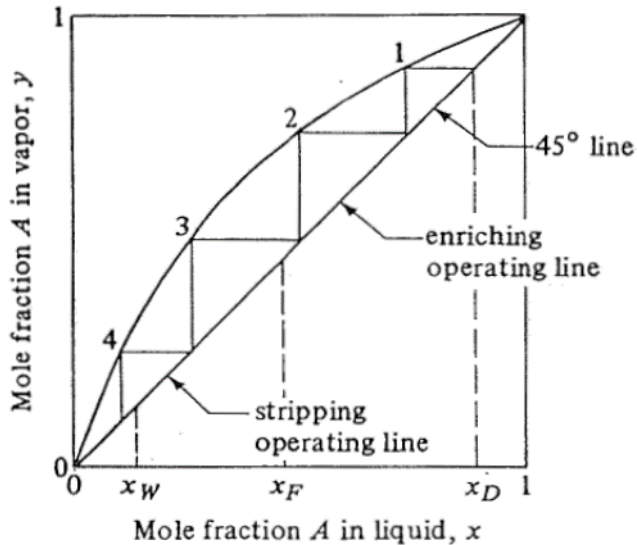
Persamaan (2.10) dapat diplot sebagai garis lurus pada koordinat logaritmik untuk membantu mengikuti berlangsungnya proses distilasi *batch* atau dapat digunakan secara langsung jika *recovery* dari salah satu komponen ditentukan. (McCabe, 2001)

### Total Reflux

Batas maksimum dari rasio refluks adalah total refluks, atau  $R = \infty$ . Karena  $R = L_n / D$  dan

$$V_{n+1} = L_n + D \quad (2.11)$$

Jumlah  $L_n$  sangat besar, dengan uap yang mengalir adalah  $V_n$ . Hal ini mengakibatkan *slope*  $R / (R + 1)$  dari garis operasi *enriching* menjadi 1.0 dan garis operasi kedua bagian kolom bertepatan  $45^\circ$  dengan garis diagonal.



**Gambar 2.3** Total Refluks dengan metode McCabe – Thiele

(Geankoplis, 1993)

### **Overall tray efficiency**

*Overall tray* atau *plate efficiency*,  $E_o$  untuk seluruh kolom dan mudah untuk digunakan namun sangat penting.  $E_o$  merupakan ratio jumlah *tray* teoritis atau *tray* ideal yang dibutuhkan di dalam kolom dibandingkan dengan jumlah *tray* aktual yang digunakan.

$$E_o = \frac{\text{jumlah tray ideal}}{\text{jumlah tray aktual}} \quad (2.12)$$

(Geankoplis, 1993)

### **Murphree efficiency**

*Murphree efficiency* ( $E_{MV}$ ) adalah perubahan komposisi *vapor* dari satu *tray* ke *tray* lainnya dibagi dengan jika *vapor* meninggalkan *tray* dalam keadaan kesetimbangan dengan *liquid* yang meninggalkan *tray*.

$$E_{MV} = \frac{y_n - y_{n+1}}{y_n^* - y_{n+1}} \quad (2.13)$$

Keterangan :

$y_n$  = konsentrasi aktual *vapor* meninggalkan *tray*

$y_{n+1}$  = konsentrasi aktual *vapor* masuk ke *tray*

$y_n^*$  = konsentrasi *vapor* dalam kesetimbangan dengan *liquid* masuk ke *downcomer* dari *tray* ke n

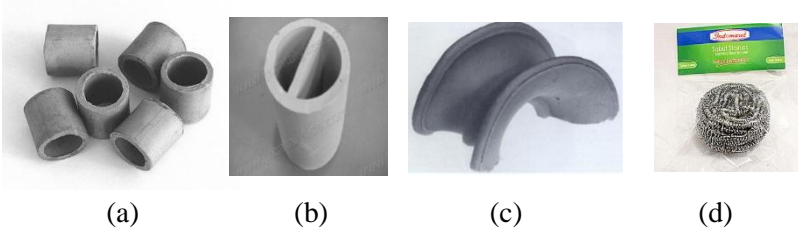
(McCabe, 2001)

### 2.3.1 Packed Column

*Packed column* digunakan untuk mengontakkan *liquid* dan *vapor* secara continue baik aliran secara *counter current* ataupun *cocurrent*. *Liquid* terdistribusi dan mengakibatkan hanya terdapat tetesan (tidak lagi mengalir secara langsung) dalam melewati *packed bed*, mengakibatkan terjadinya permukaan kontak yang luas dengan *vapor*.

Beberapa karekteristik *packing* sehingga biasa digunakan dalam kolom *packing* adalah

1. Menyediakan permukaan kontak yang luas antara *vapor* dan *liquid*
2. Memiliki karekteristik aliran *fluid*
3. Secara kimia inert terhadap *fluid* yang diproses
4. Memiliki struktur yang kuat sehingga dapat memudahkan dalam penanganan dan instalasi
5. Biaya yang rendah



**Gambar 2.4** Macam - Macam *Packing* a) Rasching ring, b) Lessing Ring, c) Intalox saddle , d) Wire Mesh

Serabut logam adalah logam jenis stainless steel dengan properties seperti pada tabel di bawah ini :

**Tabel 2.2** Properties Serabut Logam

Properties Fisik Serabut	
Bahan	: Stainless steel
Warna	: Silver mengkilat
Bentuk	: Pita
Tebal	: 0.3 mm
Lebar	: 0.28 mm
Densitas	: 3.07 g/ml

Serabut logam yang bentuknya tidak beraturan dimasukkan ke dalam *support pack* dan dikarakterisasi properties setiap *pack*. (Nonot Soewarno, 2013)

### ***Specific Surface of packing***

$$\alpha = a_p \left[ \left( 1 + 0.78e^{0.00058a_p} \right) \left( \frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{0.25} \right]^2 \quad (2.14)$$

- $\alpha$  = relative volatility  
 $\rho_G$  = densitas vapor (kg/m<sup>3</sup>)  
 $\rho_L$  = densitas liquid (kg/m<sup>3</sup>)  
 $a_p$  = specific surface of packing (cm<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup>)

### ***Effective Interfacial Area***

$$a_W = a_p \cdot \left\{ 1 - \exp \left[ -1.45 \cdot \text{Re}_L^{0.1} \cdot \text{Fr}_L^{-0.05} \cdot \text{We}_L^{0.2} \cdot \left( \frac{\sigma}{\sigma_c} \right)^{-0.75} \right] \right\} \quad (2.15)$$

$$\text{Re}_L = \frac{G_L}{a_p \cdot \mu_L} \quad (2.16)$$

$$\text{We}_L = \frac{G_L^2}{a_p \cdot \sigma \cdot \rho_L} \quad (2.17)$$

$$\text{Fr}_L = \frac{a_p \cdot G_L^2}{g \cdot \rho_L^2} \quad (2.18)$$

- $a_w$  = wetted surface area of packing (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)  
 $\text{Re}_L$  = Reynolds number for liquid  
 $\text{Fr}_L$  = Froude number for liquid  
 $\text{We}_L$  = Weber number for liquid  
 $G_L$  = liquid mass flow (kg/h.m<sup>2</sup>)  
 $\sigma$  = surface tension (N/m)  
 $\mu_L$  = viscosity of liquid (kg/m.s)  
 $a_p$  = specific surface of packing (cm<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup>)  
 $g$  = gravity acceleration

( Marisa, 2011)

### 2.3.2 *Pressure drop*

Di dalam kolom distilasi sistem aliran dari *vapor* dan *liquid* yang mengikuti arah alirannya dapat mengakibatkan terjadinya friksi akibat adanya ekspansi ataupun kontraksi seperti yang terjadi pada orifice yang mana dalam hal ini diekspresikan sebagai *pressure drop*. *Pressure drop* yang terlalu besar dapat mengakibatkan *flooding* yang mana *liquid* dipaksa untuk kembali ke *downcomer tray* di atasnya. Khususnya dalam kolom distilasi, terjadinya *pressure drop* yang cukup besar dapat mengakibatkan meningkatnya kebutuhan energi untuk meningkatkan tekanan uap *vapor*, hal ini tidak diinginkan karena merupakan pemborosan energi. (Mark Pilling, 2009)

Berikut adalah beberapa penyebab terjadinya *pressure drop* yang disebabkan oleh fase *liquid* ataupun *vapor* pada kolom distilasi :

#### *Liquid*

1. Friksi yang disebabkan oleh aliran *liquid* yang melewati *downcomer*
2. Friksi yang disebabkan oleh aliran *liquid* dibagian pojok bawah *downcomer*, diantara *downcomer* dan *weir*
3. Kontraksi dan ekspansi yang diakibatkan oleh adanya perbedaan luasan yang dilewati oleh *liquid*

#### *Vapor*

1. Kontraksi aliran *vapor* dari ruang dibawah *plate* melewati lubang di *plate*
2. Friksi yang terjadi akibat adanya *friction drag*
3. Ekspansi yang terjadi bila aliran *vapor* melewati *bubble cap* ataupun melewati *vessel*.

(Van Winkle, 1967)

### 2.3.3 *Void Fraction*

*Void fraction* ( $\epsilon$ ) adalah salah satu parameter penting yang digunakan untuk mengelompokkan aliran dua fasa. Parameter ini dapat diartikan sebagai derajat “kekosongan” pada suatu bahan dan



fraksi volume dari *void* terhadap volume total, antara 0-1 (0-100%).

*Void fraction* digunakan untuk mendapatkan parameter-parameter penting lainnya, seperti densitas dua fasa dan viskositas dua fasa, kecepatan rata-rata relatif dari dua fasa, perpindahan panas dan *pressure drop*.

*Void fraction* ( $\epsilon$ ) didefinisikan sebagai :

$$\epsilon = \frac{\text{volume void pada packing}}{\text{total volume packing}} \quad (2.19)$$

Luas permukaan spesifik dari partikel ( $a_v$ ,  $m^{-1}$ ) didefinisikan sebagai :

$$a_v = \frac{S_p}{v_p} = \frac{2pl+2pt}{p \ l \ t} \quad (2.20)$$

dimana  $s_p$  adalah luas permukaan partikel ( $m^2$ ) dan  $v_p$  adalah volume partikel ( $m^3$ ). Untuk partikel *spherical* :

$$a_v = \frac{6}{D_p} \quad (2.21)$$

dimana  $D_p$  adalah diameter (m). Untuk *packing* partikel *nonspherical*, diameter efektif partikel  $D_p$ , didefinisikan sebagai :

$$D_p = \frac{6}{a_v} \quad (2.22)$$

Karena  $(1 - \epsilon)$  adalah *fraction volume* partikel, maka :

$$a = a_v(1 - \epsilon) = \frac{6}{D_p} (1 - \epsilon) \quad (2.23)$$

dimana  $a$  adalah rasio total luas permukaan pada kolom terhadap total volume *packing* (*void volume* ditambah volume partikel,  $m^{-1}$ ). *Hydraulic radius*,  $r_H$ , didefinisikan sebagai :

$$r_H = \frac{\varepsilon}{6(1-\varepsilon)} Dp = \frac{\varepsilon}{a} \quad (2.24)$$

Karena diameter ekuivalen untuk *channel* adalah  $D = 4r_H$ , maka Reynolds number:

$$N_{Re} = \frac{(4r_H)v\rho}{\mu} = \frac{4\varepsilon}{6(1-\varepsilon)} Dp \frac{v'\rho}{\varepsilon\mu} = \frac{4}{6(1-\varepsilon)} \frac{Dp v'\rho}{\mu} \quad (2.25)$$

dan  $v' = \varepsilon v$ .

Untuk aliran laminar, persamaan Hagen-Poiseuille dapat dikombinasikan dengan persamaan (2.13) :

$$\Delta p_f = (p_1 - p_2)_f = \frac{32\mu v(L_2 - L_1)}{D^2} \quad (2.26)$$

sehingga :

$$\Delta p = \frac{32\mu v(\Delta L)}{D^2} = \frac{32\mu(\frac{v'}{\varepsilon})\Delta L}{(4r_H)^2} = \frac{72\mu v'\Delta L(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3 Dp^2} \quad (2.27)$$

(Geankoplis, 1993)

**Tabel 2.3** Penelitian Terdahulu yang Relevan

No	Nama Penulis	Judul	Keterangan
1	Gerdathias Putra dan Ricky Reza N	Mendapatkan Kondisi Operasi Kolom Distilasi Yang Menghasilkan Kadar 96% V/V Dalam Pembuatan Etanol Absolut	Pemisahan air dari Etanol menggunakan <i>fixed-bed adsorber</i> dan umumnya menggunakan <i>molecular sieve</i>
	Irsyad Pradana P dan Agustia Rizal A	Pengaruh Penambahan <i>Packing</i> Dalam Kolom <i>Sieve Tray</i> Pada Proses Distilasi Etanol-Air	Pengaruh penambahan <i>Packing</i> dalam kolom distilasi <i>sieve-tray</i> terhadap kadar distilat dan energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan tiap liter distilat

---

3	Koko Yuwono dan Dimas Ardiyanta	Optimasi <i>Feed Plate</i> dan Temperatur <i>Feed</i> <i>Adsorber</i>	Pemisahan campuran etanol-air skala rumah tangga menggunakan kolom distilasi 16 <i>tray</i> ( <i>sieve tray</i> ), dihasilkan kadar etanol mak simal 89% massa etanol dan refluks ratio 3,5. Ini menye babkan tingginya energi dalam proses adsorbs dan adsorben menjadi cepat jenuh
---	---------------------------------------	---	--

---

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

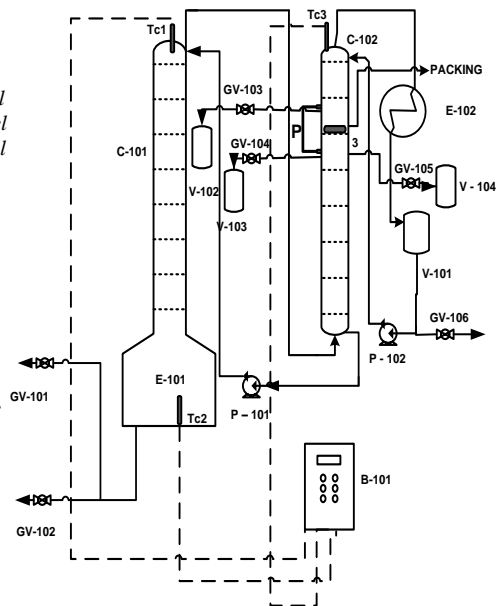
# BAB III METODOLOGI PENELITIAN

## 3.1 Peralatan Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan sebuah kolom distilasi yang dilengkapi dengan *heater*, *thermocouple*, *condenser*, pompa, dan tanki penampung. Kolom distilasi yang digunakan adalah tipe *sieve tray* dengan jumlah *plate* sebanyak 16 *plate*. *Packing* diletakkan di atas bagian *active area* dari *tray*. Secara rinci peralatan distilasi ditunjukkan dalam **Gambar 3.1**.

Keterangan :

- C-101 : Distillation Column 1
- C-102 : Distillation Column 2
- V-101 : Receiver drum
- V-102 : Vapor Sampling Vessel
- V-103 : Liquid Sampling Vessel
- V-104 : Vapor Sampling Vessel
- E-101 : Boiler
- E-102 : Condenser Distillate
- P-101 : Liquid Pump to C-101
- P-102 : Reflux Pump
- B-101 : Control Panel
- GV-101 : Bottom Valve
- GV-102 : Drain Valve
- GV-103 : Vapor Sampling Valve
- GV-104 : Vapor Sampling Valve
- GV-105 : Liquid Sampling Valve
- GV-106 : Distillate Valve
- Tc1 : Top Column 1 Thermocouple
- Tc2 : Boiler Thermocouple
- Tc3 : Top Column 2 Thermocouple
- P : Pressure Indicator



**Gambar 3.1** Skema Rangkaian Peralatan Penelitian



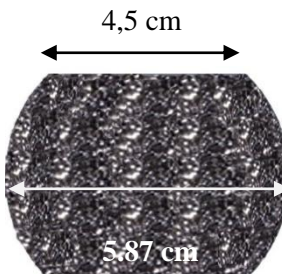
(a)

(b)



(c)

**Gambar 3.2** Bentuk *Tray Penyusun Kolom*, (a) Tampak Atas (*Active Area*), (b) Tampak Bawah (*Downflow*), (c) Tampak Samping (*Tray Spacing*)



**Gambar 3.3** *Steel Wool Packing*

**Tabel 3.1** Spesifikasi Kolom Distilasi

No	Keterangan	Ukuran
1	Diameter kolom	5.87 cm
2	<i>Tray Spacing</i>	30 cm
3	Diameter <i>hole</i>	2 mm
4	Tinggi kolom	2.5 m
5	Jumlah <i>Tray</i>	16
6	Jenis <i>Tray</i>	Sieve <i>Tray</i>
7	Tinggi Weir	5 cm

### 3.2 Bahan yang Digunakan

Bahan – bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Molases
2. Aquades
3. Pupuk urea
4. Fermipan (Yeast *Saccharomyces cerevisiae*)
- 5.

### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel tetap pada penelitian ini adalah :

1. Tekanan 760 mmHg (atmosferik)
2. *Feed* : etanol - air 10 % massa dari hasil fermentasi molases



3. Penambahan *packing* pada *tray* ke – 3
4. *Void fraction* = 0.94

Adapun variabel bebas penelitian adalah distilasi dengan kolom *sieve tray* :

1. Tanpa penambahan *packing*
2. Penambahan *packing* dengan tinggi = 2 cm
3. Penambahan *packing* dengan tinggi = 3 cm
4. Penambahan *packing* dengan tinggi = 5 cm

Variabel respon pada penelitian ini :

1. Efisiensi Murphree *tray*

### **3.4 Prosedur Penelitian**

#### **3.4.1 Tahap Persiapan Feed**

Persiapan feed dilakukan dengan membuat campuran etanol-air 10 % dari fermentasi molases menggunakan *yeast Saccharomyces cerevisiae*.

Tahapan prosedur fermentasi adalah sebagai berikut.

1. Pengenceran molases dengan *aquadest* (1: 3 volume)
2. Menambahkan pupuk urea (kandungan N = 46 %) ke dalam larutan dimana C: N ratio adalah 35.2
3. Menentukan jumlah *yeast* dengan massa yeast 0.2 % massa gula yang terkandung dalam larutan
4. Mengambil larutan yang digunakan sebagai *starter* dengan volume 10 kali volume *yeast*
5. Memasukkan yeast ke dalam larutan starter
6. Menginkubasikan larutan *starter* selama 12 jam pada suhu 30°C
7. Mencampur larutan *starter* dengan larutan induk dan memfermentasi selama 48 jam

8. Menganalisa kadar etanol dalam *feed*.

### 3.4.2 Analisa Kadar Etanol Hasil Fermentasi

1. Peralatan
  - a. Labu distilasi
  - b. Erlenmeyer 250 ml
  - c. Gelas ukur 100 ml
  - d. *Thermometer*
  - e. *Condensor liebig*
  - f. *Heater*
  - g. *Proof*
  - h. Klem holder
  - i. Statis
2. Prosedur Analisa
  - a. Merangkai peralatan distilasi
  - b. Memasukkan 150 ml *broth* fermentasi kedalam labu distilasi
  - c. Mengalirkan air pada *condensor liebig*
  - d. Menyalakan heater hingga pembacaan suhu *thermometer* 78 °C
  - e. Mendistilasi hingga distilat mencapai 50 ml
  - f. Mendinginkan distilat hingga mencapai suhu 15 °C, kemudian mengukur kadar distilat menggunakan *alcoholmeter*.

### 3.4.3 Tahap Pelaksanaan Penelitian

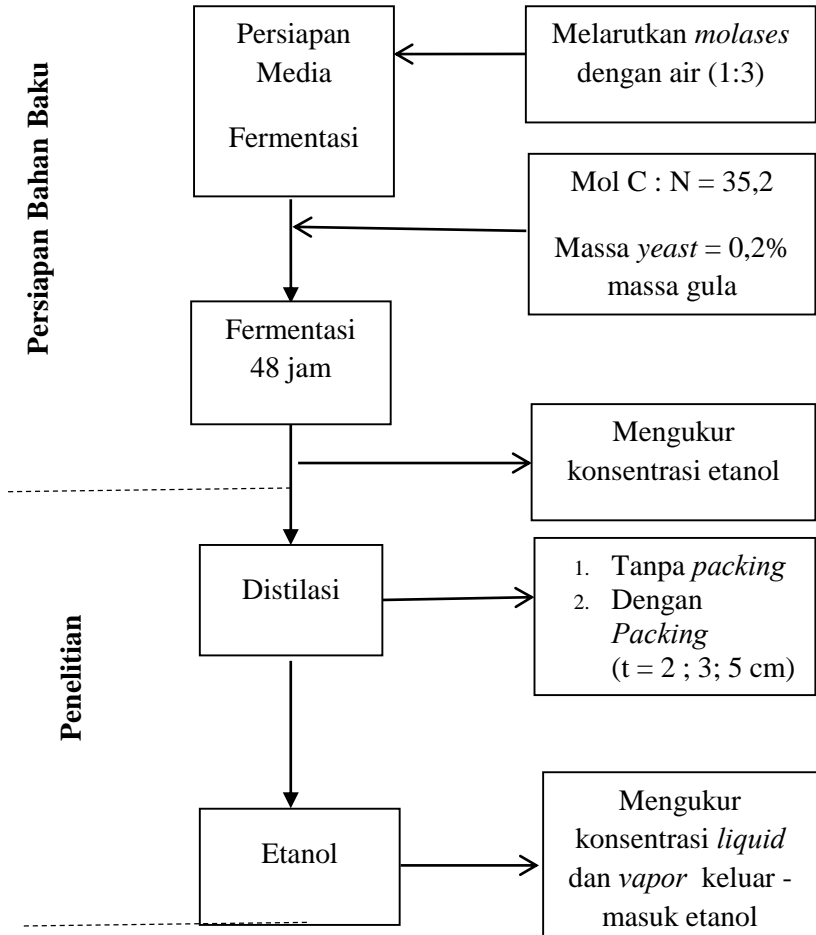
Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

Sebagai contoh menggunakan variabel tanpa *packing*.

1. Mengecek keadaan peralatan distilasi, memastikan semua *valve* tertutup.

2. Mengalirkan air pendingin ke dalam *condensor* E-102.
3. Mengisi boiler dengan hasil fermentasi (etanol 10 % massa) dan menyalakan *boiler* E-101.
4. Menjaga temperatur *top tower* pada 78,2°C dengan cara mengatur temperatur *boiler*.
5. Mengambil sampel hasil distilasi untuk dianalisa dengan cara membuka *valve* GV-106.
6. Mengambil sampel *liquid* keluar, *vapor* masuk dan keluar *tray* ke - 3 untuk dianalisa
7. Mengulangi untuk variabel penambahan *packing* serabut dengan tinggi 2 cm, 3 cm, 5 cm

### 3.5 Diagram Alir Penelitian



(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

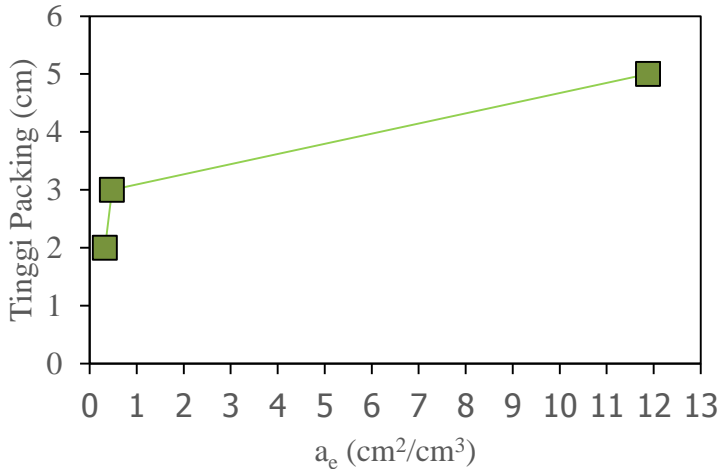
## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada kolom distilasi, penggunaan *sieve tray* merupakan alternatif yang mudah dalam proses desain dan biaya yang terjangkau dibandingkan dengan *packing* kolom. *Packing* kolom memiliki kontak antara *vapor* dan *liquid* yang lebih luas daripada kolom *sieve tray*. Sedangkan pada *sieve tray* kontak antara *liquid* dan *vapor* rendah sehingga perlu penambahan *packing*. Karena dengan penambahan *packing* akan memperbesar *interfacial area*. Pada penelitian ini menggunakan *packing* serabut besi dengan variable tinggi *packing* 2 cm, 3 cm, dan 5 cm dengan *void fraction* 0,94 dan luas alas 20,5 cm<sup>2</sup> yang kemudian dibandingkan dengan penggunaan tanpa *packing*.

Pada percobaan ini menggunakan sistem *batch* dan *reflux total*. Hal ini dilakukan karena pada sistem *batch* biasanya digunakan untuk komponen yang memiliki *relative volatility* tinggi. Dan menggunakan *reflux total* agar memperbaiki performa dari sistem *batch* itu sendiri (McCabe, 2001). Karena dengan sistem *batch*, seiring lama nya waktu distilasi kadar distilat akan semakin berkurang sehingga apabila menggunakan *reflux total*, produk atas akan lebih murni.

Karena menggunakan sistem *batch*, maka digunakan persamaan Rayleigh (Van Winkle, 1967) untuk memperkirakan berapa *residue* yang didapatkan. *Feed* yang digunakan adalah 12,56 liter campuran antara larutan etanol-air, produk bawah yang didapatkan adalah 10 liter campuran. Dari *liquid* yang tersisa didistilasi dengan menggunakan kondensor Liebig untuk mencari berapa kadar etanol-air yang tersisa. Kadar air pada *feed* awalnya adalah 0,967 fraksi mol atau 90% volume *feed*. Setelah didistilasi kadar air menjadi 0,96 fraksi mol atau 88% volume *residue*. Kadar air seharusnya berkurang drastis pada *residue* dan meningkat pada distilat (Van Winkle, 1967). Sehingga kadar distilat semakin lama seharusnya semakin menurun, namun karena hanya ingin mengambil sampel pada *tray* ketiga maka

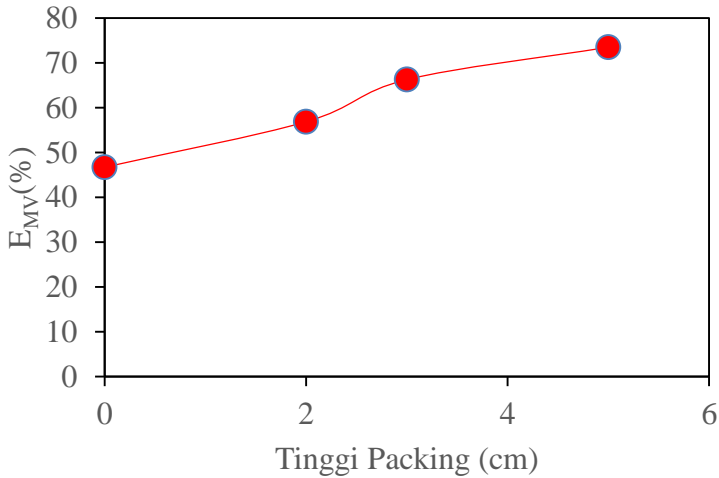
distilasi dilakukan pada waktu yang tidak terlalu lama, pada saat 20 menit sesudah keluarnya distilat pertama. Lama waktu distilasi mempengaruhi kadar air dan etanol pada distilat.



**Gambar 4.1** Perbandingan Antara  $a_e$  ( $\text{cm}^2/\text{cm}^3$ ) dengan Tinggi Packing (cm)

Pada **Gambar 4.1** didapatkan *interfacial area* ( $a_e$ ) pada tinggi *packing* 2 cm, 3 cm dan 5 cm sebesar  $0,32 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ ,  $0,48 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ , dan  $11,88 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ . *Interfacial area* semakin meningkat seiring dengan semakin tingginya *packing*. Karena semakin tinggi *packing* maka kontak antara *liquid* dan *vapor* akan semakin besar. Karena gelembung-gelembung yang melewati *packing* akan menjadi lebih kecil dan homogen sehingga saat gelembung berkontak dengan *liquid* yang turun dari downcomer akan menimbulkan *froth*. Semakin tinggi *froth* maka kontak antara *liquid* dan *vapor* akan semakin lama. Karena *interfacial area* yang semakin besar maka efisiensi akan semakin meningkat (Chen et al, 1990).

Namun, pada tinggi *packing* 2 cm dan 3 cm memiliki perbedaan slope *interfacial area* yang cukup besar. Hal ini disebabkan oleh besarnya rongga-rongga pada tinggi *packing* 2 cm, sehingga *vapor* yang melewati rongga-rongga tersebut memiliki aliran yang kurang plug flow. Aliran ini akan mempengaruhi kontak antara *vapor* dan *liquid* menjadi kurang baik dibandingkan dengan tinggi *packing* 3 cm dan 5 cm.



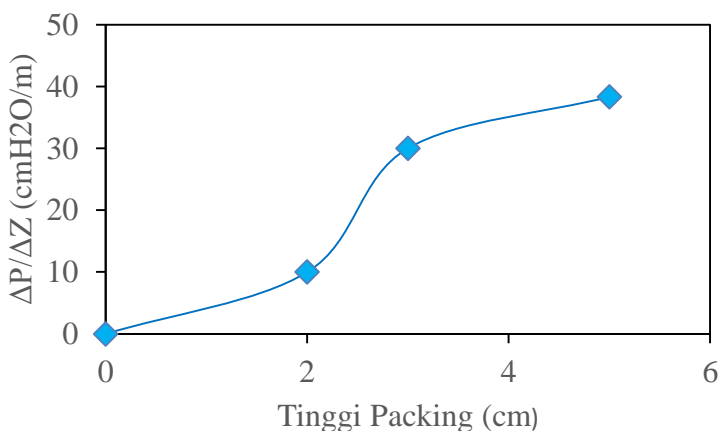
**Gambar 4.2** Perbandingan antara  $E_{MV}(\%)$  dengan Tinggi *Packing* (cm)

Pada **Gambar 4.2** Untuk mendapatkan efisiensi Murphee diperlukan untuk mengambil sampel  $y_n$ ,  $y_{n+1}$  dan  $x_n$ . Dari  $x_n$  bisa didapatkan  $y_n^*$  yang dibaca dari kurva kesetimbangan etanol-air (Perry, 1997). Pada  $y_n$  dan  $y_{n+1}$  merupakan fraksi mol dari komponen yang lebih *volatile* pada *vapor* diatas dan dibawah tes *tray*, sedangkan  $y_n^*$  merupakan fraksi mol dari *vapor* diatas tes *tray* yang berkesetimbangan dengan *liquid* yang meninggalkan *tray* (Geankoplis, 1993).



Didapatkan  $E_{MV}$  47% pada *sieve tray* tanpa menggunakan *packing* dan pada *packing* dengan tinggi 5 cm didapatkan  $E_{MV}$  74%, meningkat 58% dari 47%. Sedangkan pada *packing* dengan tinggi 3 cm didapatkan  $E_{MV}$  66%, meningkat 42% dari 47%. Dan pada *packing* dengan tinggi 3 cm didapatkan  $E_{MV}$  57%, meningkat 22% dari 47%. Sehingga efisiensi Murphee meningkat 21-57% dari tanpa menggunakan *packing*.

Meningkatnya efisiensi Murphee karena dengan penambahan *packing* meningkatkan kontak antara *liquid* dan *vapor* seperti yang dijelaskan pada **Gambar 4.1**. *Surface tension* juga ikut menurun seiring dengan semakin kecilnya ukuran gelembung-gelembung pada *froth* (Spagnolo dan Chuang, 1984).



**Gambar 4.3** Perbandingan antara  $\Delta P / \Delta Z$  (cmH<sub>2</sub>O)/(m) dengan Tinggi *Packing* (cm)

Dari **Gambar 4.3** menunjukkan pada tinggi *packing* 2 cm, 3 cm dan 5 cm memiliki perbandingan pressure drop dengan tinggi *packing* sebesar 10 cmH<sub>2</sub>O/m, 30 cmH<sub>2</sub>O/m dan 38,33 cmH<sub>2</sub>O/m. Pressure drop meningkat seiring dengan semakin besarnya *interfacial area* karena dibutuhkan energi yang lebih

banyak untuk memecah gelembung-gelembung uap yang melewati *packing* menjadi gelembung yang lebih kecil dan homogen, semakin kecil dan banyaknya gelembung menyebabkan ketinggian *froth* meningkat. (Chen et al, 1992).

Namun pada tinggi *packing* 2 cm dan 3 cm memiliki *slope pressure drop* yang cukup jauh karena keduanya memiliki perbedaan *interfacial area* yang besar seperti yang dijelaskan pada **Gambar 4.1**.

Menurut Chen et al (1992) dengan menggunakan *packing* lebih kecil kemungkinan terjadi weeping dan entrainment, namun *froth* dan *pressure drop* menjadi sedikit lebih besar. *Entrainment* dan *weeping* dapat menurun karena dengan adanya *packing* dapat memecah *vapor* yang melewati *packing* menjadi gelembung-gelembung yang lebih kecil, sehingga akan lebih banyak *vapor* yang naik ke *tray* berikutnya. Apabila *liquid* juga ikut terbawa oleh *vapor* ke *tray* berikutnya, hal ini dapat menyebabkan berkurangnya efisiensi Murphee. Sedangkan untuk *weeping* ikut menurun karena dengan semakin tingginya *froth* maka *liquid* tidak akan jatuh ke *tray* dibawahnya melalui lubang-lubang pada *tray*.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Efisiensi Murphee untuk tinggi *packing* 5 cm, 3cm, 2 cm dan tanpa *packing* adalah 73,5%, 66,27%, 56,86%, dan 46,7%. Pada *packing* dengan tinggi 5 cm,  $E_{MV}$  meningkat 58% dari 47%. Sedangkan pada *packing* dengan tinggi 3 cm,  $E_{MV}$  meningkat 42% dari 47% . Dan pada *packing* dengan tinggi 3 cm,  $E_{MV}$  meningkat 22% dari 47%.
2. Pada tinggi *packing* 2 cm, 3 cm dan 5 cm memiliki perbandingan *pressure drop* dengan tinggi *packing* sebesar 10 cmH<sub>2</sub>O/m, 30 cmH<sub>2</sub>O/m dan 38,33 cmH<sub>2</sub>O/m.
3. *Pressure drop dan efisiensi* akan semakin meningkat seiring dengan bertambah tinggi *packing*, karena *interfacial area* semakin baik. Tetapi dibutuhkan energi yang lebih untuk memecah gelembung-gelembung yang melewati *packing* sehingga menyebabkan *pressure drop* dan *froth* meningkat

#### **5.2 Saran**

Dari hasil peneltian dapat diberikan saran sebagai berikut.

1. Menggunakan kolom yang terbuat dari *pyrex* sehingga dapat terlihat apabila terjadi *entrainment*, *weeping* dan *flooding*.
2. Menggunakan *Gas Chromatography* untuk mendapatkan beberapa titik yang digunakan untuk mengkalibrasi *alcoholmeter*, menganalisa kadar etanol *vapor* yang masuk *tray*, *vapor* yang keluar *tray* dan *vapor* yang berkesetimbangan dengan *liquid*. Hal ini

dilakukan agar didapatkan data analisa yang lebih akurat.

3. Mencoba menggunakan *packing* pada *tray* yang lain (selain *tray* ke-3) untuk menghitung efisiensi Murphee.

## APPENDIKS A CARA PERHITUNGAN

$$\text{Tinggi Packed} = 5 \text{ cm}$$

$$\rho \text{ ethanol} = 0,75 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho \text{ air} = 0,95838 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{BM ethanol} = 46 \text{ g/mol}$$

$$\text{BM air} = 18 \text{ g/mol}$$

$$V \text{ sample} = 5 \text{ ml}$$

$$V \text{ sample} + \text{air} = 25 \text{ ml}$$

Pengukuran dengan alkohol meter didapatkan

$$\% \text{ Vol} = 19$$

$$\% \text{ Mass} = 15$$

Menghitung fraksi mol Distilat

$$V \text{ Etanol} = \% V \text{ Etanol} \times V (\text{Sampel} + \text{Air})$$

$$V \text{ Etanol} = 4,75 \text{ ml}$$

$$V \text{ Air} = V \text{ Sampel} - V \text{ Etanol} = 0,25 \text{ ml}$$

$$\% \text{ Volume Air} = \frac{\text{Volume Air}}{\text{Volume Sampel}} \times 100\% = 0,05$$

$$\% \text{ Volume Etanol} = \frac{\text{Volume Etanol}}{\text{Volume Sampel}} \times 100\% = 0,95$$

$$\text{Massa Air} = \text{Volume Air} \times \rho \text{ Air} = 0,240 \text{ gram}$$

$$\text{Massa Etanol} = V \text{ Etanol} \times \rho \text{ Etanol} = \text{ ,56 gram}$$

$$\text{Mol Air} = \frac{\text{Massa Air}}{\text{BM Air}} = 0,0133 \text{ mol}$$

$$\text{Mol Etanol} = \frac{\text{Massa Etanol}}{\text{BM Etanol}} = 0,077 \text{ mol}$$

$$\text{Fraksi Mol Etanol}(xd) = \frac{\text{Mol Etanol}}{\text{Mol Etanol} + \text{Mol Air}} = 0,853$$

$$\text{Tinggi Packed} = 5 \text{ cm}$$

$$\rho \text{ ethanol} = 0,75 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho \text{ air} = 0,95838 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{BM ethanol} = 46 \text{ g/mol}$$

$$\text{BM air} = 18 \text{ g/mol}$$

$$V \text{ sample} = 5 \text{ ml}$$

$$V \text{ sample} + \text{air} = 23 \text{ ml}$$

Pengukuran dengan alkohol meter didapatkan

$$\% \text{ Vol} = 17,5$$

$$\% \text{ Mass} = 14$$

Menghitung fraksi mol liquid (xn)

$$V \text{ Etanol} = \% V \text{ Etanol} \times V (\text{Sample} + \text{Air}) =$$

$$V \text{ Etanol} = 4,025 \text{ ml}$$

$$V \text{ Air} = V \text{ Sampel} - V \text{ Etanol} = 0,975 \text{ ml}$$

$$\% \text{ Volume Air} = \frac{\text{Volume Air}}{\text{Volume Sampel}} \times 100\% = 0,195$$

$$\% \text{ Volume Etanol} = \frac{\text{Volume Etanol}}{\text{Volume Sampel}} \times 100\% = 0,805$$

$$\text{Massa Air} = \text{Volume Air} \times \rho \text{ Air} = 0,934 \text{ gram}$$

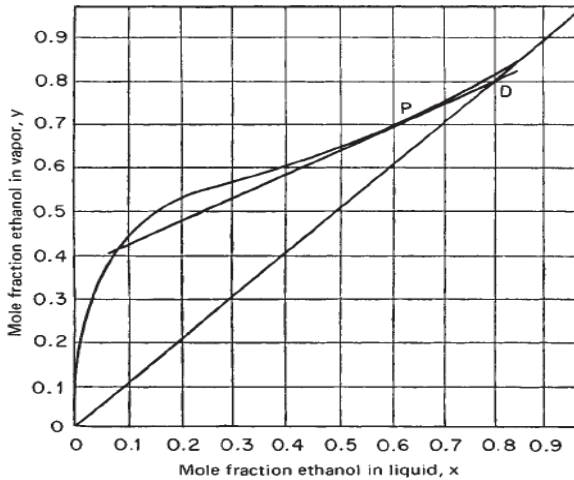
$$\text{Massa Etanol} = V \text{ Etanol} \times \rho \text{ Etanol} = 3,02 \text{ gram}$$

$$\text{Mol Air} = \frac{\text{Massa Air}}{\text{BM Air}} = 0,052 \text{ mol}$$

$$\text{Mol Etanol} = \frac{\text{Massa Etanol}}{\text{BM Etanol}} = 0,066 \text{ mol}$$

$$\text{Fraksi Mol Etanol}(x_n) = \frac{\text{Mol Etanol}}{\text{Mol Etanol} + \text{Mol Air}}$$

$$x_n = 0,558$$



(Perry 7th ed, 2008)

Mencari fraksi mol etanol dalam vapor dengan membaca pada grafik diatas didapatkan

$y_n^* = 0,71$  (konsentrasi vapor yang berkesetimbangan dengan  $x_n$ )



Tinggi Packed = 5 cm

$\rho$  ethanol = 0,75 g/cm<sup>3</sup>

$\rho$  air = 0,95838 g/cm<sup>3</sup>

BM ethanol = 46 g/mol

BM air = 18 g/mol

V sample = 11,5 ml

V sample + air = 32 ml

Pengukuran dengan alkohol meter didapatkan

% Vol = 30,5

% Mass = 26

Menghitung fraksi mol etanol pada vapor atas (yn)

$$V \text{ Etanol} = \% V \text{ Etanol} \times V (\text{Sample} + \text{Air}) =$$

$$V \text{ Etanol} = 9,76 \text{ ml}$$

$$V \text{ Air} = V \text{ Sampel} - V \text{ Etanol} = 1,74 \text{ ml}$$

$$\% \text{ Volume Air} = \frac{\text{Volume Air}}{\text{Volume Sampel}} \times 100\% = 0,151$$

$$\% \text{ Volume Etanol} = \frac{\text{Volume Etanol}}{\text{Volume Sampel}} \times 100\% = 0,849$$

$$\text{Massa Air} = \text{Volume Air} \times \rho \text{ Air} = 1,668 \text{ gram}$$

$$\text{Massa Etanol} = V \text{ Etanol} \times \rho \text{ Etanol} =$$

$$\text{Massa Etanol} = 7,32 \text{ gram}$$

$$\text{Mol Air} = \frac{\text{Massa Air}}{\text{BM Air}} = 0,0926 \text{ mol}$$

$$\text{Mol Etanol} = \frac{\text{Massa Etanol}}{\text{BM Etanol}} = 0,159 \text{ mol}$$

$$\text{Fraksi Mol Etanol}(y_n) = \frac{\text{Mol Etanol}}{\text{Mol Etanol} + \text{Mol Air}} = 0,632$$

$y_n$  adalah konsentrasi vapor yang keluar tray

$$\text{Tinggi Packed} = 5 \text{ cm}$$

$$\rho \text{ ethanol} = 0,75 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho \text{ air} = 0,95838 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{BM ethanol} = 46 \text{ g/mol}$$

$$\text{BM air} = 18 \text{ g/mol}$$

$$V \text{ sample} = 11,5 \text{ ml}$$

$$V \text{ sample} + \text{air} = 32 \text{ ml}$$

Pengukuran dengan alkohol meter didapatkan

$$\% \text{ Vol} = 26$$

$$\% \text{ Mass} = 25,5$$

Menghitung fraksi mol etanol pada vapor bawah ( $y_{n+1}$ )

$$V \text{ Etanol} = \% V \text{ Etanol} \times V (\text{Sample} + \text{Air}) =$$

$$V \text{ Etanol} = 8,32 \text{ ml}$$

$$V \text{ Air} = V \text{ Sampel} - V \text{ Etanol} = 3,18 \text{ ml}$$

$$\% \text{ Volume Air} = \frac{\text{Volume Air}}{\text{Volume Sampel}} \times 100\% = 0,277$$

$$\% \text{ Volume Etanol} = \frac{\text{Volume Etanol}}{\text{Volume Sampel}} \times 100\% = 0,723$$

$$\text{Massa Air} = \text{Volume Air} \times \rho \text{ Air} = 3,048 \text{ gram}$$

$$\text{Massa Etanol} = V \text{ Etanol} \times \rho \text{ Etanol} =$$

$$\text{Massa Etanol} = 6,24 \text{ gram}$$

$$\text{Mol Air} = \frac{\text{Massa Air}}{\text{BM Air}} = 0,1693 \text{ mol}$$

$$\text{Mol Etanol} = \frac{\text{Massa Etanol}}{\text{BM Etanol}} = 0,136 \text{ mol}$$

$$\text{Fraksi Mol Etanol}(y_{n+1}) = \frac{\text{Mol Etanol}}{\text{Mol Etanol} + \text{Mol Air}}$$

$$y_{n+1} = 0,445$$

$y_{n+1}$  adalah konsentrasi vapor yang masuk tray

Pada feed

BM etanol= 46 g/mol  
BM air = 18 g/mol  
 $\rho$  ethanol = 0,75 g/cm<sup>3</sup>  
 $\rho$  air = 0,95838 g/cm<sup>3</sup>  
Volume feed= 12,56 Liter  
kadar etanol = 0,1 vol  
kadar air= 0,9 vol

Volume feed= 12560 ml  
kadar etanol = 1256 ml  
kadar air= 11304 + ml  

---

12560 ml

kadar etanol = 942 gram  
kadar air= 10833,528 + gram  

---

11775,528 gram  
massa larutan= 11775,53 gram

mol etanol = 20,48 mol  
mol air = 601,86 + mol  

---

Total mol (L1) 622,34 mol

(L1 adalah mol awal pada feed di Boiler)

fraksi mol etanol = 0,033  
fraksi mol air = 0,97 +  

---

1

## Relative volatility

$$\alpha_{AB} = \frac{P_1^s}{P_2^s}$$

## Raoult's law

Komponen	Koefisien Antoine		
	A	B	C
Ethanol	16,6758	3674,49	226,45
Water	16,262	3799,89	226,35

(Smith Van Ness , Table 10.5 )

Ethanol(1)/Water(2)

kondisi feed

$$x_1 = 0,1 \text{ fraksi mol}$$

$$T_1 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$x_2 = 0,9 \text{ fraksi mol}$$

$$T_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\ln P_1^{\text{sat}} = A - \frac{B}{C+T}$$

$$P_1^{\text{sat}} = 225,856 \text{ kpa}$$

$$P_2^{\text{sat}} = 101,331 \text{ kpa}$$

$$\alpha_{ab} = 2,23$$

## Rayleigh equation

$$\ln \frac{L_1}{L_2} = \frac{1}{\alpha - 1} \left( \ln \frac{x_{i1}}{x_{i2}} + \alpha \ln \frac{1 - x_{i2}}{1 - x_{i1}} \right)$$

$$\begin{aligned}
 x_{i1} &= 0,97 \\
 x_{i2} &= 0,963 \\
 L1/L2 &= 1,241 \\
 L2 &= 501,35 \text{ mole}
 \end{aligned}$$

(Residue yang tersisa di Boiler)

Keterangan	Air	Ethanol	Total
mol	482,80	18,55	501,35
gram	8690,42	853,30	9543,72
ml	9067,82	1137,73	10205,55
Liter	9,07	1,14	10,21

$$\begin{aligned}
 \text{air} &= 88,85 \quad \% \text{ vol} \\
 \text{ethanol} &= \frac{11,148}{100} + \% \text{ vol} \\
 \text{Total} &= 100 \quad \% \text{ vol}
 \end{aligned}$$

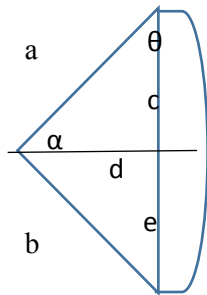
Menghitung luas alas dan massa

Tinggi packed = 3 cm  
 void fraction = 0,94  
 Diameter kolom = 5,87 cm  
 $\rho$  serabut = 3,07 gr/cm<sup>3</sup>

Menghitung luas alas packed

Volume = La x t

$$\text{Luas lingkaran} = \frac{1}{4} \pi D^2 = 27,05 \text{ sq cm}$$



a = 2,935 cm  
 b = 2,935 cm  
 c = 2,25 cm

0,76660988

Dengan menggunakan rumus pythagoras

$$a^2 = c^2 + d^2$$

d = 1,885 cm

$$\sin \alpha = \frac{c}{a} = 50,05$$



$$\sin \theta = \frac{d}{a} = 39,96$$

$$\text{Luas juring} = \frac{2\alpha}{360} \frac{1}{4} \pi D^2 = 7,52 \text{ sq cm}$$

$$\text{Luas segitiga} = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot (d \cdot c) = 4,24 \text{ sq cm}$$

$$\text{Luas tembereng} = (\text{Luas juring} - \text{Luas segitiga}) \times 2$$

$$\text{Luas tembereng} = 6,56 \text{ sq cm}$$

$$\text{Luas alas} = \text{Luas lingkaran} - \text{Luas tembereng}$$

$$\text{Luas alas} = 20,49 \text{ sq cm}$$

$$\text{void fraction} = \frac{V \text{ packing} - V \text{ serabut}}{V \text{ packing}}$$

$$\text{Volume packing} = \text{Luas alas} \times t = 61,46 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume serabut} = 3,69 \text{ cm}^3$$

$$\frac{\text{massa serabut}}{\rho \text{ serabut}} = \text{volume serabut}$$

$$\text{Massa serabut} = 11,32 \text{ gram}$$

$$l \text{ serabut} = 0,28 \text{ cm}$$

$$t \text{ serabut} = 0,3 \text{ cm}$$

$$\text{Volume serabut} = p \times l \times t$$

$$\text{panjang serabut} = 43,90 \text{ cm}$$

$$\text{panjang serabut} = 0,44 \text{ m}$$

$$a's = (2 \times p \times l) + (2 \times p \times t) = 50,93 \text{ cm}^2$$

(luas total satu packed +serabut)

$$\text{Tinggi Weir} = 5 \text{ cm}$$

$$V_{\text{tray}} = 102,44 \text{ cm}^3$$

$$a_p = a's / (V_{\text{total}}) = 0,48 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$$

$$a_p = a's / (V_{\text{total}}) = 47,987 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

(specific area packing)

$$a_w = a_p (1 - \exp(-1,45 \cdot \text{ReL}^{0,1} \cdot \text{FrL}^{-0,05} \cdot \text{WeL}^{0,2} \cdot (\sigma/\sigma_c)^{-0,75}))$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\text{ReL} = \text{GL} / (a_p \cdot \mu L) = 17358,11$$

$$\text{WeL} = \text{GL}^2 / (a_p \cdot \sigma \cdot \rho L) = 41,430$$

$$\text{FrL} = (a_p \cdot \text{GL}^2) / (g \cdot \rho L^2) = 0,665$$

$$a_w = 47,97 \text{ m}^2/\text{m}^3 = 0,48 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$$

$$a_e = 0,48 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$$

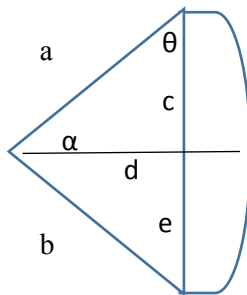
Menghitung luas alas dan massa

Tinggi packed = 5 cm  
 void fraction = 0,94  
 Diameter kolom = 5,87 cm  
 $\rho$  serabut = 3,07 gr/ml

Menghitung luas alas packed

Volume = La x t

$$\text{Luas lingkaran} = \frac{1}{4} \pi D^2 = 27,05 \text{ sq cm}$$



a = 2,935 cm  
 b = 2,935 cm  
 c = 2,25 cm

0,76660988

Dengan menggunakan rumus pythagoras

$$a^2 = c^2 + d^2$$

d = 1,885 cm

$$\sin \alpha = \frac{c}{a} = 50,05$$

$$\sin \theta = \frac{d}{a} = 39,96$$

$$\text{Luas juring} = \frac{2\alpha}{360} \frac{1}{4} \pi D^2 = 7,52 \text{ sq cm}$$

$$\text{Luas segitiga} = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot (d \cdot c) = 4,24 \text{ sq cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tembereng} &= (\text{Luas juring} - \text{Luas segitiga}) \times 2 \\ \text{Luas tembereng} &= 6,56 \text{ sq cm} \\ \text{Luas alas} &= \text{Luas lingkaran} - \text{Luas tembereng} \\ \text{Luas alas} &= 20,49 \text{ sq cm} \end{aligned}$$

$$\text{void fraction} = \frac{V \text{ packing} - V \text{ serabut}}{V \text{ packing}}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume packing} &= \text{Luas alas} \times t = 102,44 \text{ cm}^3 \\ \text{Volume serabut} &= 6,15 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\frac{\text{massa serabut}}{\rho \text{ serabut}} = V \text{ serabut}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa serabut} &= 18,87 \text{ gram} \\ l \text{ serabut} &= 0,28 \text{ cm} \\ t \text{ serabut} &= 0,3 \text{ cm} \\ \text{Volume serabut} &= p \times l \times t \\ \text{panjang serabut} &= 73,17 \text{ cm} \\ \text{panjang serabut} &= 0,73 \text{ m} \end{aligned}$$

$$a's = (2 \times p \times l) + (2 \times p \times t) = 84,88 \text{ cm}^2$$

(luas total satu packed +serabut)

$$\text{Tinggi Weir} = 5 \text{ cm}$$

$$V_{\text{tray}} = 102,44 \text{ cm}^3$$

$$a_p = a's / (V_{\text{total}}) = 13,81 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$$

$$a_p = a's / (V_{\text{total}}) = 1380,952 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

(specific area packing)

$$a_w = a_p (1 - \exp(-1,45 \cdot \text{ReL}^0,1 \cdot \text{FrL}^{-0,05} \cdot \text{WeL}^0,2 \cdot (\sigma/\sigma_c)^{-0,75}))$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\text{ReL} = GL / (a_p \cdot \mu L) = 298,58$$

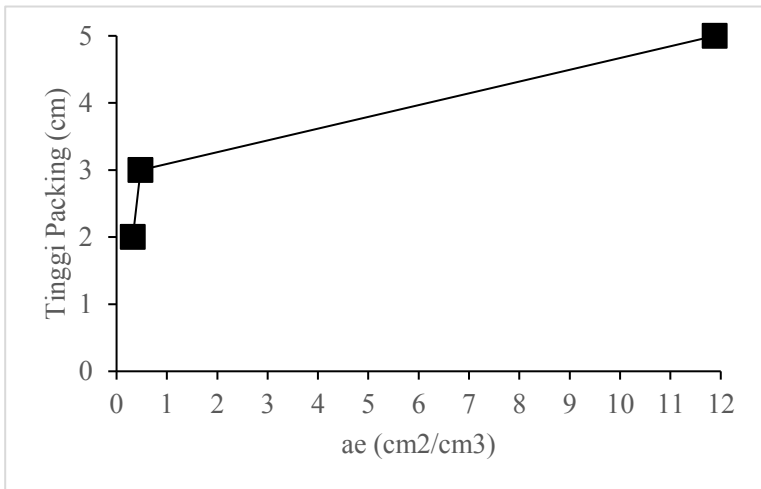
$$\text{WeL} = GL^2 / (a_p \cdot \sigma \cdot \rho L) = 0,345$$

$$\text{FrL} = (a_p \cdot GL^2) / (g \cdot \rho L^2) = 2,749$$

$$a_w = 1188,48 \text{ m}^2/\text{m}^3 = 11,88 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$$

$$a_e = 11,88 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$$

Tinggi (cm)	ap (cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup> )	ae (cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup> )	Aa cm <sup>2</sup>
5	13,81	11,88	20,49
3	0,48	0,48	
2	0,32	0,32	



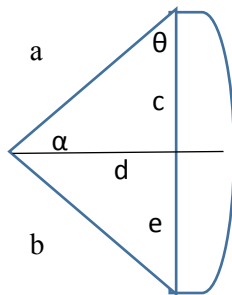
Menghitung luas alas dan massa

Tinggi packed = 2 cm  
 void fraction = 0,94  
 Diameter kolom = 5,87 cm  
 $\rho$  serabut = 3,07 gr/cm<sup>3</sup>

Menghitung luas alas packed

Volume = La x t

$$\text{Luas lingkaran} = \frac{1}{4} \pi D^2 = 27,05 \text{ sq cm}$$



a = 2,935 cm  
 b = 2,935 cm  
 c = 2,25 cm

0,76660988

Dengan menggunakan rumus pythagoras

$$a^2 = c^2 + d^2$$

d = 1,885 cm

$$\sin \alpha = \frac{c}{a} = 50,05$$

$$\sin \theta = \frac{d}{a} = 39,96$$

$$\text{Luas juring} = \frac{2\alpha}{360} \cdot \frac{1}{4} \pi D^2 = 7,52 \text{ sq cm}$$

$$\text{Luas segitiga} = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot (d \cdot c) = 4,24 \text{ sq cm}$$

$$\text{Luas tembereng} = (\text{Luas juring} - \text{Luas segitiga}) \times 2$$

$$\text{Luas tembereng} = 6,56 \text{ sq cm}$$

$$\text{Luas alas} = \text{Luas lingkaran} - \text{Luas tembereng}$$

$$\text{Luas Alas} = 20,49 \text{ sq cm} = 0,002 \text{ sq m}$$

$$\text{void fraction}(\varepsilon) = \frac{V \text{ packing} - V \text{ serabut}}{V \text{ packing}}$$

$$\text{Volume packing} = \text{Luas alas} \times t = 40,97 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume serabut} = 2,46 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume serabut} = 2458,47743 \text{ mm}^3$$

$$\frac{\text{massa serabut}}{\rho \text{ serabut}} = \text{volume serabut}$$

$$\text{Massa serabut} = 7,55 \text{ gram}$$

$$l \text{ serabut} = 0,28 \text{ cm}$$

$$t \text{ serabut} = 0,3 \text{ cm}$$

$$\text{Volume serabut} = \rho_s \times l_s \times t_s$$

$$\text{panjang serabut} = 29,27 \text{ cm}$$



$$\begin{aligned}
\text{panjang serabut} &= 0,29 \text{ m} \\
a's &= (2 \times p \times l) + (2 \times p \times t) = 33,95 \text{ cm}^2 \\
&\text{(luas total satu packed +serabut)} \\
\text{Tinggi Weir} &= 5 \text{ cm} \\
V_{\text{tray}} &= 102,44 \text{ cm}^3 \\
a_p &= a's/(V_{\text{total}}) = 0,32366071 \text{ cm}^2/\text{cm}^3 \\
a_p &= a's/(V_{\text{total}}) = 32,3660714 \text{ m}^2/\text{m}^3 \\
&\text{(specific area packing)} \\
a_w &= a_p(1 - \exp(-1,45 \cdot \text{ReL}^{0,1} \cdot \text{FrL}^{-0,05} \cdot \text{WeL}^{0,2} \cdot (\sigma/\sigma_c)^{-0,75})) \\
g &= 9,81 \text{ m/s}^2 \\
\text{ReL} &= GL/(a_p \cdot \mu L) = 14069,96 \\
\text{WeL} &= GL^2/(a_p \cdot \sigma \cdot \rho L) = 10,890 \\
\text{FrL} &= (a_p \cdot GL^2)/(g \cdot \rho L^2) = 0,065 \\
a_w &= 32,34 \text{ m}^2/\text{m}^3 = 0,32 \text{ cm}^2/\text{cm}^3 \\
a_e &= 0,32 \text{ cm}^2/\text{cm}^3
\end{aligned}$$

**APPENDIKS B**  
**DATA HASIL PERCOBAAN**

02-Jun-14

Packed = 5 cm

Distilat

Distilat				
No	waktu ke (min)	Vsample (ml)	V+air (ml)	Vol% (ml)
1	10	5	25	19
2	20	5	25	18,5
3	30	5	25	18,5

Mass % (ml)	$\Delta P$ (cmH <sub>2</sub> O)
15	4
14	4
14	3,75

$\rho$  ethanol = 0,75 g/cm<sup>3</sup>

$\rho$  air = 0,95838 g/cm<sup>3</sup>

BM ethanol= 46 kg/kmol

BM air= 18 kg/kmol

V ethanol ml	V air ml	%V ethanol di sample	%Vair di sample	$\rho$ larutan
4,75	0,25	0,95	0,05	0,758
4,625	0,375	0,925	0,075	0,762
4,625	0,375	0,925	0,075	0,762

m Ethanol (gram)	Mol Ethanol
3,563	0,0774
3,469	0,0754
3,469	0,07541

m larutan (gram)	m Air (gram)	Mol Air	fraksi mol ethanol xd
3,79	0,229	0,0127064	0,86
3,81	0,343	0,0190787	0,80
3,81	0,343	0,0190787	0,80

### Liquid

Liquid				
No	waktu (min)	Vsample (ml)	V+air (ml)	Vol% (ml)
1	1	5	23	17,5

Mass % (ml)
14

V ethanol ml	V air ml	%V ethanol di sample	%Vair di sample	$\rho$ larutan
4,025	0,975	0,805	0,195	0,78321

m Ethanol (gram)	Mol Ethanol
3,019	0,066

m larutan	m Air	Mol Air	fraksi mol ethanol	
(gram)	(gram)		xn	yn*
3,92	0,90	0,05	0,57	0,71

Vapor atas

Vapor atas				
No	waktu (min)	Vsample (ml)	V+air (ml)	Vol% (ml)
1	1	11,5	32	30,5

Mass % (ml)
26

V ethanol	V air	%Vsample	%Vair	ρ larutan
ml	ml			
9,76	1,74	0,849	0,151	0,77551

Mass Ethanol	Mol Ethanol
(gram)	
7,320	0,159

m larutan	Mass Air	Mol Air	fraksi mol ethanol
(gram)	(gram)		yn
8,918	1,598	0,089	0,642

Vapor bawah

Vapor bawah				
No	waktu (min)	Vsample (ml)	V+air (ml)	Vol% (ml)
1	1	11,5	32	26

Mass % (ml)
25,5

V ethanol ml	V air ml	%Vsample	%Vair	$\rho$ larutan
8,32	3,18	0,723	0,277	0,798

m Ethanol (gram)	Mol Ethanol
6,240	0,1357

m larutan (gram)	m Air (gram)	Mol Air	fraksi mol ethanol $y_{n+1}$
9,177	2,937	0,1631523	0,45

$$EMV = (y_n - y_{n+1}) / (y_n^* - y_{n+1})$$

$$\%EMV = 73,37$$

03-Jun-14

Packed =

5 cm

Distilat

Distilat				
No	waktu ke (min)	Vsample (ml)	V+air (ml)	Vol% (ml)
1	10	5	25	18,5
2	20	5	25	18,5
3	30	5	25	19

Mass % (ml)	$\Delta P$ (cmH <sub>2</sub> O)
13,5	4
13,5	4
15	3,75

$\rho$  ethanol = 0,75 g/cm<sup>3</sup>

$\rho$  air = 0,95838 g/cm<sup>3</sup>

BM ethanol= 46 kg/kmol

BM air= 18 kg/kmol

V ethanol ml	V air ml	%Vsample	%Vair	$\rho$ larutan
4,625	0,375	0,925	0,075	0,762433
4,625	0,375	0,925	0,075	0,762433
4,75	0,25	0,95	0,05	0,758243

Mass Ethanol (gram)	Mol Ethanol
3,469	0,0754
3,469	0,0754
3,563	0,0774

Mass larutan (gram)	Mass Air (gram)	Mol Air	fraksi mol ethanol	
			xd	
3,812	0,343	0,019079	0,798	
3,812	0,343	0,019079	0,798	
3,791	0,229	0,012706	0,859	

Liquid

Liquid				
No	waktu (min)	Vsample (ml)	V+air (ml)	Vol% (ml)
1	1	5	25	16

Mass % (ml)
12

V ethanol ml	V air ml	%Vsample	%Vair	$\rho$ larutan
4	1	0,80	0,2	0,784097

Mass Ethanol (gram)	Mol Ethanol
3,000	0,065

Mass larutan (gram)	Mass Air (gram)	Mol Air	fraksi mol ethanol	
			xn	yn*
3,92	0,920	0,051138	0,561	0,7

Vapor atas

Vapor atas				
No	waktu (min)	Vsample (ml)	V+air (ml)	Vol% (ml)
1	1	10	34	25

Mass % (ml)
19,5

V ethanol ml	V air ml	%Vsample	%Vair	$\rho$ larutan
8,5	1,5	0,85	0,15	0,775285

Mass Ethanol (gram)	Mol Ethanol
6,375	0,1386

Mass larutan (gram)	Mass Air (gram)	Mol Air	fraksi mol ethanol yn
7,753	1,378	0,077	0,644

Vapor bawah

Vapor bawah				
No	waktu (min)	Vsample (ml)	V+air (ml)	Vol% (ml)
1	1	7	35	15



Mass % (ml)
3

V ethanol ml	V air ml	%Vsample	%Vair	ρ larutan
5,25	1,75	0,75	0,25	0,793111

Mass Ethanol (gram)	Mol Ethanol
3,938	0,0856

Mass larutan (gram)	Mass Air (gram)	Mol Air	fraksi mol ethanol yn+1
5,55	1,614	0,089682	0,488

$$EMV = \frac{(y_n - y_{n+1})}{(y_n^* - y_{n+1})}$$

$$\%EMV = 73,63$$

Packed = 3 cm

Run 2

Distilat

Distilat				
No	waktu ke	Vsample (ml)	V+air (ml)	Vol% (ml)
	(min)			
1	10	5	25	18
2	20	5	25	18
3	30	5	25	17,5

Mass % (ml)	$\Delta P$ (cmH <sub>2</sub> O)
14,5	3,5
13	
14	

$\rho$  ethanol = 0,75 g/cm<sup>3</sup>

$\rho$  air = 0,95838 g/cm<sup>3</sup>

BM ethanol= 46 kg/kmol

BM air= 18 kg/kmol

V ethanol ml	V air ml	%Vsample	%Vair	$\rho$ larutan
4,5	0,5	0,9	0,1	0,76667
4,5	0,5	0,9	0,1	0,76667
4,375	0,625	0,875	0,125	0,770953

Mass Ethanol (gram)	Mol Ethanol
3,375	0,0734
3,375	0,0734
3,281	0,0713

Mass larutan	Mass Air	Mol Air	fraksi mol ethanol
(gram)	(gram)		xd
3,833	0,458	0,0255	0,742
3,833	0,458	0,0255	0,742
3,855	0,574	0,0319	0,691

Volume distilat tanpa diencerkan 660 ml

$$xd = \begin{array}{l} 0,895 \text{ vol} \\ 0,805 \text{ mass} \end{array}$$

Liquid

Liquid				
No	waktu (min)	Vsample (ml)	V+air (ml)	Vol% (ml)
1	1	10	33	18

Mass % (ml)
22,5

V sample sebenarnya= 12 ml

V ethanol ml	V air ml	%Vsample	%Vair	$\rho$ larutan
5,94	4,06	0,59	0,41	0,822618

Mass Ethanol (gram)	Mol Ethanol
4,455	0,0968

Mass larutan (gram)	Mass Air (gram)	Mol Air	fraksi mol ethanol	
8,226	3,771		xn	yn*
		0,20951	0,316	0,62

Vapor atas

Vapor atas				
No	waktu (min)	Vsample (ml)	V+air (ml)	Vol% (ml)
1	1	9	33,5	21,5

Mass % (ml)
19

V sample sebenarnya= 9,5 ml

V ethanol ml	V air ml	%Vsample	%Vair	$\rho$ larutan
7,2025	1,7975	0,80	0,20	0,784048

Mass Ethanol (gram)	Mol Ethanol
5,402	
	0,1174

Mass larutan (gram)	Mass Air (gram)	Mol Air	fraksi mol ethanol
7,056428848	1,655		yn
		0,09192	0,561

Vapor bawah

Vapor bawah				
No	waktu (min)	Vsample (ml)	V+air (ml)	Vol% (ml)
1	1	7	25	20

Mass % (ml)
19

V sample sebenarnya= 9,5 ml

V ethanol ml	V air ml	%Vsample	%Vair	$\rho$ larutan
5	2	0,71	0,29	0,799678

Mass Ethanol (gram)	Mol Ethanol
3,750	0,0815

Mass larutan (gram)	Mass Air (gram)	Mol Air	fraksi mol ethanol yn+1
5,5977	1,848	0,102653	0,443

$$EMV = \frac{(y_n - y_{n+1})}{(y_n^* - y_{n+1})}$$

$$\%EMV = 66,70$$

05-Jun-14

Packed = 3 cm

Run 1

Distilat

Distilat				
No	waktu ke (min)	Vsample (ml)	V+air (ml)	Vol% (ml)
1	10	5	28	16
2	20	5	29	15,5
3	30	5	28	16

Mass % (ml)	$\Delta P$ (cmH <sub>2</sub> O)
12	3,5
13	
12	

$\rho$  ethanol = 0,75 g/cm<sup>3</sup>

$\rho$  air = 0,95838 g/cm<sup>3</sup>

BM ethanol= 46 kg/kmol

BM air= 18 kg/kmol

V ethanol ml	V air ml	%Vsample	%Vair	$\rho$ larutan
4,48	0,52	0,896	0,104	0,767352
4,495	0,505	0,899	0,101	0,76684
4,48	0,52	0,896	0,104	0,767352

Mass Ethanol (gram)	Mol Ethanol
3,360	0,0730
3,371	0,0733
3,360	0,0730

Mass larutan (gram)	Mass Air (gram)	Mol Air	fraksi mol ethanol
			xd
3,837	0,477	0,026	0,734
3,834	0,463	0,026	0,740
3,837	0,477	0,026	0,734

Volume distilat tanpa diencerkan 660 ml

$$xd = \begin{matrix} 0,71 \text{ vol} \\ 0,635 \text{ mass} \end{matrix}$$

Liquid

Liquid				
No	waktu (min)	Vsample (ml)	V+air (ml)	Vol% (ml)
1	1	4	33	7

Mass % (ml)
1,5

V sample sebenarnya= 7 ml

V ethanol ml	V air ml	%Vsample	%Vair	$\rho$ larutan
2,31	1,69	0,5775	0,4225	0,825867

Mass Ethanol	Mol Ethanol
(gram)	
1,733	0,0377

Mass larutan	Mass Air	Mol Air	fraksi mol ethanol	
(gram)	(gram)		xn	yn*
3,303	1,571	0,087	0,301	0,6

Vapor atas

Vapor atas				
No	waktu (min)	Vsample (ml)	V+air (ml)	Vol% (ml)
1	1	3	36	6,5

Mass % (ml)
4

V ethanol	V air	%Vsample	%Vair	ρ larutan
ml	ml			
2,34	0,66	0,780	0,220	0,787678

Mass Ethanol	Mol Ethanol
(gram)	
1,755	0,0382

Mass larutan	Mass Air	Mol Air	fraksi mol ethanol
(gram)	(gram)		yn
2,363	0,608	0,034	0,53



Vapor bawah

Vapor bawah				
No	waktu (min)	Vsample (ml)	V+air (ml)	Vol% (ml)
1	1	6	30	9

Mass % (ml)
2,5

V ethanol ml	V air ml	%Vsample	%Vair	ρ larutan
2,7	3,3	0,45	0,55	0,851872

Mass Ethanol (gram)	Mol Ethanol
2,025	0,1125

Mass larutan (gram)	Mass Air (gram)	Mol Air	fraksi mol ethanol yn+1
5,111	3,086	0,171457	0,40

$$EMV = (y_n - y_{n+1}) / (y_n^* - y_{n+1})$$

$$\%EMV = 65,85$$

07-Jun-14

Packed = 2 cm

Run 1

Distilat

Distilat				
No	waktu ke (min)	Vsample (ml)	V+air (ml)	Vol% (ml)
1	10	5	25	17
2	20	5	25	17
3	30	5	25	16,5

Mass % (ml)	$\Delta P$ (cmH <sub>2</sub> O)
13	2
13	
12,5	

$\rho$  ethanol = 0,75 g/cm<sup>3</sup>

$\rho$  air = 0,95838 g/cm<sup>3</sup>

BM ethanol= 46 kg/kmol

BM air= 18 kg/kmol

V ethanol ml	V air ml	%Vsample	%Vair	$\rho$ larutan
4,25	0,75	0,85	0,15	0,775285
4,25	0,75	0,85	0,15	0,775285
4,125	0,875	0,825	0,175	0,779666

Mass Ethanol	Mol Ethanol
(gram)	
3,188	
3,188	
3,094	0,0673

Mass larutan	Mass Air	Mol Air	fraksi mol ethanol
(gram)	(gram)		xd
3,8764	0,6889	0,038274	0,644
3,8764	0,6889	0,038274	0,644
3,8983	0,8046	0,044699	0,601

Volume distilat tanpa diencerkan 930 ml

$$xd = \begin{matrix} 0,84 \text{ vol} \\ 0,79 \text{ mass} \end{matrix}$$

Liquid

Liquid				
No	waktu (min)	Vsample (ml)	V+air (ml)	Vol% (ml)
1	1	5	32	6

Mass % (ml)
5

V ethanol	V air	%Vsample	%Vair	$\rho$ larutan
ml	ml			
1,92	3,08	0,38	0,62	0,865987

Mass Ethanol (gram)	Mol Ethanol
1,440	

Mass larutan (gram)	Mass Air (gram)	Mol Air	fraksi mol ethanol	
4,33	2,890		xn	yn*
		0,161	0,163	0,52

Vapor atas

Vapor atas				
No	waktu (min)	Vsample (ml)	V+air (ml)	Vol% (ml)
1	1	6	30,5	14,5

Mass % (ml)
11

V ethanol ml	V air ml	%Vsample	%Vair	ρ larutan
4,4225	1,5775			
		0,74	0,26	0,795474

Mass Ethanol (gram)	Mol Ethanol
3,317	

Mass larutan (gram)	Mass Air (gram)	Mol Air	fraksi mol ethanol
4,773	1,456		yn
		0,080887	0,471

Vapor bawah

Vapor bawah				
No	waktu (min)	Vsample (ml)	V+air (ml)	Vol% (ml)
1	1	5	38	9

Mass % (ml)
5

V ethanol ml	V air ml	%Vsample	%Vair	ρ larutan
3,42	1,58	0,684	0,316	0,805333

Mass Ethanol (gram)	Mol Ethanol
2,565	0,0558

Mass larutan (gram)	Mass Air (gram)	Mol Air	fraksi mol ethanol yn+1
4,02666271	1,462	0,081203	0,4071

$$EMV = (y_n - y_{n+1}) / (y_n - y_{n+1})$$

$$\%EMV = 56,86$$

Tanpa Packed

Run 2

Distilat

Distilat				
No	waktu ke (min)	Vsample (ml)	V+air (ml)	Vol% (ml)
1	10	5	32	10
2	20	5	32	10

Mass % (ml)	$\Delta P$ (cmH <sub>2</sub> O)
10,5	1,25
12	

$\rho$  ethanol = 0,75 g/cm<sup>3</sup>

$\rho$  air = 0,95838 g/cm<sup>3</sup>

BM ethanol= 46 kg/kmol

BM air= 18 kg/kmol

V ethanol ml	V air ml	%Vsample	%Vair	$\rho$ larutan
3,2	1,8	0,64	0,36	0,813691
3,2	1,8	0,64	0,36	0,813691

Mass Ethanol (gram)	Mol Ethanol
2,400	0,1333
2,400	0,1333

Mass larutan (gram)	Mass Air (gram)	Mol Air	fraksi mol ethanol xd
4,068	1,668	0,092692	0,590

4,068	1,668	0,092692	0,590
-------	-------	----------	-------

Volume distilat tanpa diencerkan 350 ml

$$x_d = \begin{matrix} 0,8 \text{ vol} \\ 0,74 \text{ mass} \end{matrix}$$

Liquid

Liquid				
No	waktu (min)	Vsample (ml)	V+air (ml)	Vol% (ml)
1	1	5,5	32,5	6

Mass % (ml)
5

V ethanol ml	V air ml	%Vsample	%Vair	$\rho$ larutan
1,95	3,35	0,35	0,65	0,872439

Mass Ethanol (gram)	Mol Ethanol
1,463	0,0318

Mass larutan (gram)	Mass Air (gram)	Mol Air	fraksi mol ethanol	
			xn	yn*
4,798	3,336	0,185329	0,146	0,5

Vapor atas

Vapor atas				
No	waktu (min)	Vsample (ml)	V+air (ml)	Vol% (ml)
1	1	5,5	32	12,5

Mass % (ml)
9

V sample sebenarnya =7,5 ml

V ethanol ml	V air ml	%Vsample	%Vair	$\rho$ larutan
4	1,5	0,727273	0,272727	0,797278

Mass Ethanol (gram)	Mol Ethanol
3,000	0,0652

Mass larutan (gram)	Mass Air (gram)	Mol Air	fraksi mol ethanol yn
4,385	1,385	0,076946	0,459

Vapor bawah

Vapor bawah				
No	waktu (min)	Vsample (ml)	V+air (ml)	Vol% (ml)
1	1	6	31	13,5

Mass % (ml)
5,5



V ethanol	V air	%Vsample	%Vair	ρ larutan
ml	ml			
4,185	1,815	0,70	0,30	0,802802

Mass Ethanol	Mol Ethanol
(gram)	
3,139	0,0682

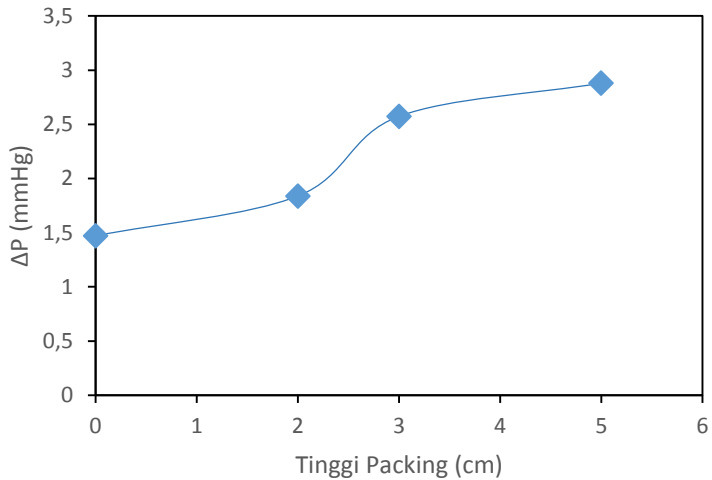
Mass larutan	Mass Air	Mol Air	fraksi mol ethanol
(gram)	(gram)		yn+1
4,817	1,678	0,093226	0,423

$$EMV = \frac{(y_n - y_{n+1})}{(y_n^* - y_{n+1})}$$

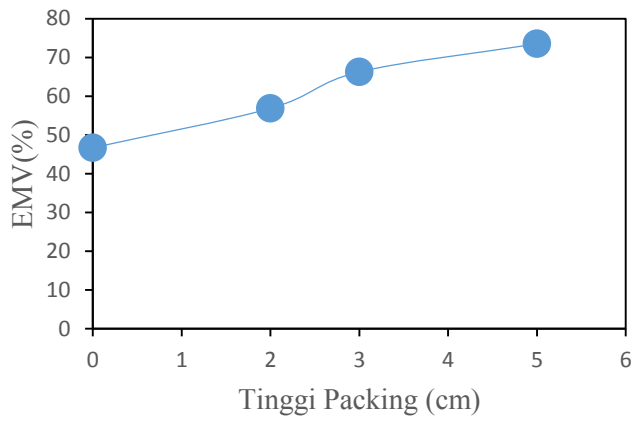
$$\%EMV = 46,70$$

Tinggi Packed (cm)	Emv (%)	DeltaP cmH2O	Kadar Etano Pada Distilat	Delta P mmHg
5	74	3,92	0,925	2,8799
3	66	3,5	0,896	2,57353
2	57	2,5	0,825	1,83824
0	47	2	0,64	1,47059

Increasing Emv(%)	DeltaP cmH2O/m
57,39	38
41,91	30
21,75	10
0,00	0

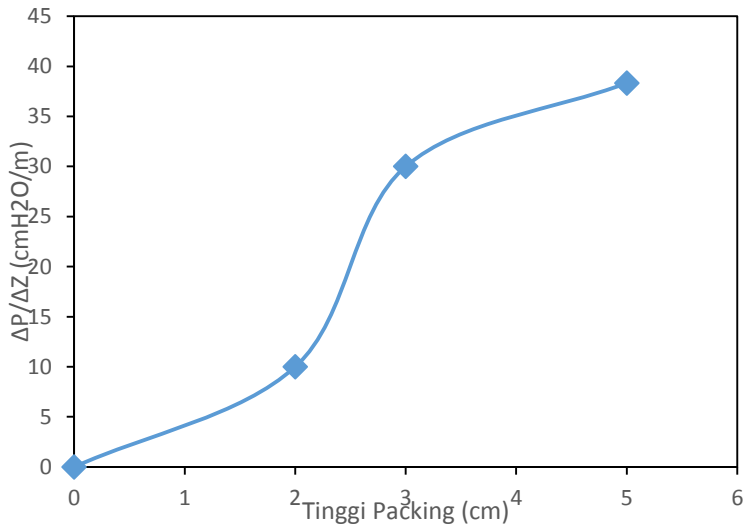


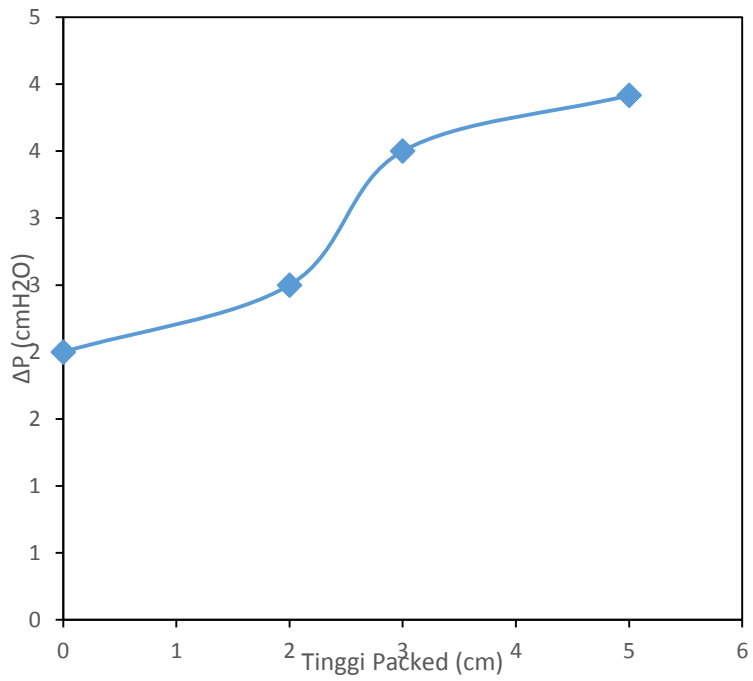
**Gambar A.1** Perbandingan antara  $\Delta P$ (mmHg) dengan Tinggi Packing (cm)



**Gambar A.2** Perbandingan antara EMV(%) dengan Tinggi Packing (cm)

Tinggi Packed (cm)	Emv (%)	Delta P (cmH2O)	Increasing Emv(%)	DeltaP cmH2O/m
5	73,50	3,92	57,39	38,33
3	66,27	3,5	41,91	30
2	56,86	2,5	21,75	10
0	46,70	2,0	0,00	0





## RIWAYAT HIDUP PENULIS



Melvina Eliana, penulis lahir di Jakarta, 7 Agustus 1992. Sejak lahir hingga sekarang berdomisili di Jakarta, namun untuk sementara tinggal di Surabaya karena sedang menempuh jenjang S-1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Teknik Kimia sejak 2010. Penulis telah menempuh pendidikan formal diantaranya SDK Sang Timur, SMP Regina Pacis, SMAN 78. Penulis aktif dalam organisasi bernama HIMATEKK (Himpunan Teknik Kimia ITS) pada periode 2011-2012. Dan menjadi wakil ketua pada Chemical Games 2012. Dan menjalankan kerja praktek di Pertamina RU V Balikpapan pada tahun 2013 selama dua bulan. Pada tahun 2013, penulis menjadi salah satu anggota Laboratorium Teknik Distilasi (LTD) untuk menjalankan Tugas Akhir Pra Desain Pabrik yang berjudul **“Thermal Cracking-Visbreaking Unit”** dan skripsi **“Performa Kolom Sieve Tray Dengan Penambahan Packing Serabut Pada Distilasi Etanol-Air”**. Argatha, Rucita, Brian, Novita, Anita, dan Desy) yang telah mendukung penulis dalam pembuatan tugas akhirnya. Penulis dapat dihubungi melalui email : [melvina10@mhs.chem-eng.its.ac.id](mailto:melvina10@mhs.chem-eng.its.ac.id)

## RIWAYAT HIDUP PENULIS



Indi Raisa Girsang lahir di Pematangsiantar, 1 Januari 1993. Penulis telah menempuh pendidikan formal sebagai berikut : SD Methodist Pematangsiantar, SMP Santo Thomas 4 Medan, SMA Santo Thomas 1 Medan. Saat ini penulis sedang menempuh jenjang S1 di Teknik Kimia ITS Surabaya. Selama kuliah penulis aktif dalam organisasi seperti HIMATEKK (Himpunan Teknik Kimia ITS) pada periode 2011/2012 & 2012/2013 ; MBP ITS. Pada tahun ketiga masa perkuliahannya, penulis melaksanakan kerja praktek di Pertamina RU V Balikpapan, Kalimantan Timur, selama dua bulan. Pada tahun 2013, penulis menjadi salah satu anggota Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa untuk menyelesaikan Tugas Akhir Pra Desain Pabrik yang berjudul “**Thermal Cracking-Visbreaking Unit**” dan skripsi “**Performa Kolom Sieve Tray Dengan Penambahan Packing Serabut Pada Distilasi Etanol-Air**”. Penulis dapat dihubungi melalui email : [indi.raisa.girsang@hotmail.co.id](mailto:indi.raisa.girsang@hotmail.co.id)