



## Kinerja *Internal Reboiler* Tipe *Vertical Tubular Baffle* pada Proses Distilasi Etanol secara *Batch*

Yuana Susmiati<sup>1,2\*</sup>, Bambang Purwantana<sup>3\*</sup>, Nursigit Bintoro<sup>3</sup> dan Sri Rahayoe<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ilmu Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada  
Jl. Flora No.1, Bulaksumur, Yogyakarta 55281,

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Energi Terbarukan, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Jember  
Jl Mastrup no 164, Jember 68101, Jawa Timur

<sup>3</sup>Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada

Jl. Flora No.1, Bulaksumur, Yogyakarta 55281,

\* Alamat korespondensi: [yuanasusmiati@gmail.com](mailto:yuanasusmiati@gmail.com) (Y.S.); [bambang\\_pw@ugm.ac.id](mailto:bambang_pw@ugm.ac.id) (B.P)

(Submisi: 26 April 2021; Revisi: 26 Mei 2021; Penerimaan: 31 Mei 2021)

### ABSTRACT

*The performance of ethanol distillation is determined by the type of reboiler used in the distillation column. This study aims to determine the effect of differences in diameter and height of internal reboiler tubes, as well as feed content on ethanol distillate concentration and distillation yield. The research was conducted on a batch ethanol distillation process using a rectified distillation device with an internal vertical tubular baffle reboiler using different diameters and tube height, namely 1.5, 1, and 0.5 inches of diameter, and 8, 6, and 4 cm of tube heights. Materials or feeds in this study were ethanol solutions with levels of 10%, 20%, and 30% v/v. The results showed that the highest ethanol distillate content of 97.17% v/v (average) was achieved in the distillation process using an internal reboiler with a diameter of 0.5", a tube height of 8 cm, and a feed content of 10%. Geometry affected the heat transfer process in the internal reboiler of a distillation device so that it affected the distillation results.*

*Keywords:* distillation; ethanol; internal reboiler: performance

### ABSTRAK

Kinerja alat distilasi etanol ditentukan oleh jenis *reboiler* yang digunakan pada kolom distilasi. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh perbedaan diameter dan tinggi tabung internal *reboiler*, serta kadar umpan terhadap kadar etanol distilat dan rendemen distilasi. Penelitian dilakukan pada proses distilasi etanol secara *batch* menggunakan alat distilasi rektifikasi dengan *internal reboiler* jenis *Vertical Tubular Baffle* yang berbeda ukuran diameter dan tinggi tabungnya, yaitu diameter 1,5, 1 dan 0,5 inci, serta tinggi tabung 8, 6 dan 4 cm. Bahan atau umpan pada penelitian ini adalah larutan etanol berkadar 10%, 20% dan 30% v/v.

Hasil penelitian didapatkan kadar etanol distilat yang paling tinggi dengan kadar rata-rata 97,17% v/v dicapai pada proses distilasi dengan *internal reboiler* berukuran diameter 0,5 inci, dan tinggi tabung 8 cm dan kadar umpan 10%. Geometri berpengaruh pada proses perpindahan panas di dalam *internal reboiler* suatu alat distilasi sehingga berpengaruh terhadap hasil distilasi.

**Kata kunci:** distilasi; etanol; *internal reboiler*; kinerja

## 1. Pendahuluan

*Reboiler* digunakan untuk menghasilkan uap yang mendorong terjadinya proses pemisahan dalam peralatan distilasi. Pada distilasi fraksinasi tradisional, semua energi pemisahan uap berasal dari *reboiler*. Oleh karena itu pengoperasian *reboiler* yang tepat sangat penting untuk proses distilasi yang efektif (Tammami, 2008). Suhu *reboiler* menjadi salah satu faktor utama yang menentukan efisiensi proses distilasi etanol secara *batch*, dan perlu dikontrol karena berpengaruh terhadap produktivitas (Foletto, 2015). Distribusi suhu *reboiler* dipengaruhi oleh jenis *reboiler* yang digunakan dan merupakan faktor utama penentu nilai ekonomis proses. Pemilihan jenis *reboiler* ditentukan oleh faktor sifat fluida proses, tekanan operasi dan tata letak peralatan (Bhanvase dkk., 2007). Pemilihan jenis *reboiler* berarti menentukan metode sirkulasi fluida (termosifon, paksa, atau natural), dan memilih jenis penukar kalor (vertikal, horizontal, ketel atau internal). Penentuan ini dibutuhkan sebelum merancang bagian bawah di dalam menara distilasi, karena bentuk bagian dalam tersebut sangat tergantung dari jenis *reboiler* yang digunakan (Bell dkk., 2011).

Salah satu jenis *reboiler* yang digunakan pada alat distilasi adalah tipe *internal reboiler*, dan biasanya digunakan pada alat distilasi tradisional atau skala kecil. Menurut Bell dkk., (2011) dan Loraine A. H, (1999) *internal*

*reboiler* yang dikenal dengan *stab-in reboilers* atau *stab-in bundles* merupakan bundel tabung penukar kalor yang dimasukkan langsung ke dalam menara bagian bawah dan terletak di bawah *tray* sehingga penukar kalor tersebut terendam fluida secara keseluruhan. Pada penelitian ini jenis *reboiler* yang digunakan adalah *internal reboiler* yang dimodifikasi bentuknya dan dinamakan dengan tipe *vertical tubular baffle*. *Reboiler* ini menggunakan prinsip kerja penukar kalor jenis *shell and tube* di mana kolom menara bagian bawah sebagai *shell* dan beberapa tabung yang dipasang vertikal pada sebuah *baffle* sebagai *tube*. Bentuk *reboiler* yang vertikal dan hanya terdiri dari beberapa tabung diharapkan mampu memberikan perpindahan panas yang baik dan memudahkan pada proses konstruksi alat secara desain maupun biaya. *Internal reboiler* jenis ini berbeda bentuk dan arah pergerakan fluidanya jika dibandingkan dengan *reboiler* yang biasanya digunakan pada kolom distilasi skala kecil, di antaranya adalah tipe *calandria*, *helix*, dan bundel tabung horizontal (Susmiati dkk., 2019).

Perancangan termal pada penukar kalor tipe *shell and tube* biasanya mencakup penentuan luas perpindahan panas, jumlah tabung, panjang dan diameter tabung, tata letak tabung, susunan tabung, jumlah sekat, jenis dan ukurannya, jenis penukar kalornya (rangkaian tabung tetap atau bundel tabung

yang dapat dilepas), juga penurunan tekanan sisi *shell* dan tabung (Nptel, 2006). Pada penukar kalor jenis *shell and tube*, dua fluida dengan temperatur berbeda mengalir melalui penukar kalor; satu mengalir melalui tabung (sisi tabung) dan aliran lainnya mengalir di luar tabung tetapi di dalam cangkang (*shell*). Panas dipindahkan dari satu fluida ke fluida lainnya melalui dinding tabung, baik dari sisi tabung ke sisi cangkang atau sebaliknya (Bichkar dkk., 2018). Laju perpindahan panas pada penukar kalor *shell and tube* bergantung pada beberapa parameter seperti panjang tabung, jumlah sekat dan potongan sekat serta ditentukan oleh bilangan *Reynolds* dan *Prandtl*, pada kondisi aliran laminar maupun turbulen (Ranaware dkk., 2015).

Koefisien perpindahan panas dipengaruhi oleh geometri alat penukar panas, seperti penelitian yang dilakukan oleh Shirgire dkk., (2014) tentang keuntungan relatif penggunaan alat penukar kalor kumparan heliks terhadap alat penukar kalor pipa lurus. Pada penelitian tersebut ditemukan bahwa perpindahan panas dalam tabung lingkaran heliks lebih tinggi dibandingkan dengan tabung lurus karena faktor bentuknya. Pada penukar kalor jenis *shell and tube*, panjang tabung dianggap sebagai faktor penting dalam menyeimbangkan penurunan tekanan dan koefisien perpindahan panas. Bertambahnya panjang tabung meningkatkan tekanan operasi dan koefisien perpindahan panas secara keseluruhan karena luas penampang berbanding lurus dengan panjang tabung (Ali dkk., 2018). Percobaan yang lain dilakukan pada penukar kalor dengan diameter tabung tetap tetapi panjangnya berbeda sehingga ada variasi rasio L/D. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa pada L/D yang berbeda, terjadi

peningkatan perpindahan panas dengan adanya peningkatan panjang pipa (Roul dan Nayak, 2012).

Jenis *reboiler* serta bentuk dan ukuran tabung *reboiler* (geometri) sangat berpengaruh terhadap distribusi panas pada kolom distilasi dan berpengaruh terhadap produktivitas. Parhi dkk., (2019) menyatakan bahwa produksi tahunan pada proses distilasi *batch* campuran benzena dan toluena dapat berubah atau meningkat dengan mengoptimalkan masukan panas *reboiler* dan rasio refluks. Total produksi tahunan dapat ditingkatkan dan kebutuhan bahan baku dapat diturunkan secara signifikan dengan menggunakan kolom distilasi *batch* yang dioperasikan pada panas *reboiler* yang berubah-ubah dibandingkan dengan panas *reboiler* tetap. Badi dkk., (2001) juga menyatakan bahwa waktu retensi dan suhu *reboiler* pada proses regenerasi (distilasi) *monoethylene glycol* (MEG) berpengaruh terhadap produk degradasi MEG, yaitu asam organik. Selain itu, waktu retensi *reboiler* yang lebih singkat memberikan produksi asam organik lebih kecil. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menentukan bagaimana pengaruh bentuk dan ukuran tabung dari *internal reboiler* tipe *vertical tubular baffle* yang digunakan pada kolom distilasi untuk proses pemurnian etanol secara *batch* terhadap hasil distilasi yang meliputi kadar etanol distilat dan rendemen distilasi.

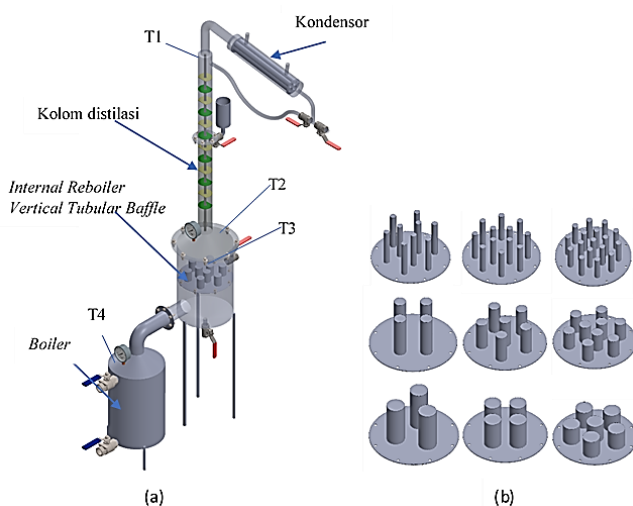
## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Bahan Penelitian

Pada penelitian ini, umpan atau bahan yang digunakan adalah etanol teknis 96% v/v dan aquades. Etanol teknis tersebut

diencerkan menjadi etanol berkadar rendah 10%, 20% dan 30% v/v. Proses distilasi dilakukan secara *batch* dengan alat distilasi rektifikasi skala laboratorium, yang dilengkapi *reboiler* berjenis *internal Vertical Tubular Baffle* dengan 9 jenis ukuran diameter dan tinggi tabung yaitu variasi diameter 1,5, 1 dan 0,5 inci dengan tinggi tabung 8, 6 dan 4 cm. Setiap proses distilasi menggunakan jenis *internal reboiler* yang ukuran diameter dan tinggi tabungnya berbeda, tetapi mempunyai luas permukaan yang sama, sehingga jumlah tabungnya berbeda-beda.

Alat distilasi terdiri dari komponen utama kondensor dengan panjang 32 cm dan diameter 6,35 cm, kolom distilasi dengan panjang 76 cm dan diameter 5,08 cm, kolom *reboiler* dengan tinggi 30 cm dan diameter 20 cm, dan boiler dengan tinggi 30 cm dan diameter 20 cm. Jenis *tray* di dalam kolom distilasi adalah *baffle tray*, dengan irisan juring di salah satu sisinya yang disusun berseberangan satu sama lain sesuai dengan Gambar 1.



**Gambar 1.** (a) Alat distilasi rektifikasi skala laboratorium, (b) variasi *internal reboiler* tipe *Vertical Tubular Baffle*

Kadar etanol hasil distilasi diukur menggunakan metode piknometer sesuai *Indian Standart Table for Alcoholometry, Pyknometer Method* (Kisan dkk., 1989). Alat yang digunakan pada pengukuran alkohol adalah piknometer dengan volume 10 ml dan timbangan analitis dengan ketelitian 2 angka di belakang koma. Rendemen distilasi dihitung berdasarkan persamaan Sukasem dkk., (2017) yang ditampilkan pada Persamaan (1).

$$\text{Rendemen distilasi (\%)} = \frac{\text{total volume distilat}}{\text{volume umpan}} \times 100 \quad (1)$$

## 2.2 Cara Penelitian

Proses distilasi dilakukan dengan volume umpan yang sama pada masing-masing jenis *reboiler*, dan diulang tiga kali untuk setiap jenis. Proses distilasi dilakukan pada alat distilasi rektifikasi secara *batch* dengan volume umpan sebanyak 3.500 ml. Proses distilasi diawali dengan pemasukan umpan ke dalam kolom distilasi dan tertampung di dalam kolom *reboiler* secara bersamaan, dilanjutkan dengan pemanasan *boiler* dan diatur pada suhu 105 °C. Suhu uap memasuki *reboiler* 97,4 °C (T4), yang kemudian memanaskan tabung-tabung *reboiler* dan panas tertransfer pada bahan yang ada di dalam *reboiler* sehingga suhu bahan tersebut meningkat dari 27 °C menjadi 83,9 – 96,2 °C (T3) dan bervariasi pada setiap jenis *reboiler*. Penguapan komponen volatil di dalam bahan terjadi di ruang *reboiler* dan suhunya 79,3 – 92,9 °C (T2), sehingga panas terus merambat ke kolom distilasi melalui *baffle tray* dan suhu di kolom bagian atas mencapai 56,4 – 79,8 °C (T1). Proses distilasi dihentikan pada waktu distilat sudah tidak menetes lagi yaitu ketika suhu di T1 menurun menjadi 45,37 – 67,67 °C. Distilat menetes dengan volume dan kadar

etanol (komponen volatil) yang berubah-ubah. Distilat ditampung dan dikumpulkan selama proses distilasi, sehingga didapatkan volume distilat terakumulasi. Setelah proses selesai, residu berupa komponen tidak menguap yang terdapat di *reboiler* dikeluarkan secara bersamaan. Proses distilasi tersebut dikatakan sebagai distilasi *batch* sebagaimana disampaikan oleh Van Duc Long dkk., (2020). Proses ini berbeda dengan distilasi kontinyu yang memasukkan *feed* secara bertahap, mengeluarkan residu di kolom *reboiler (bottom)* secara bertahap, serta menghasilkan distilat dengan volume dan kadar secara tetap di setiap waktu.

Kadar etanol distilat merupakan kadar etanol yang diukur pada volume akumulasi hasil distilasi. Kadar etanol di distilat diukur pada akhir proses berlangsung, dan merupakan kadar etanol campuran hasil distilasi, menggunakan metode gravimetri/piknometer pada suhu 25 °C. Rendemen distilasi ditentukan berdasarkan kadar distilasi pada volume akumulasi dan volume umpan. Data yang diperoleh selama penelitian dianalisis dengan SPSS 25 untuk mengetahui pengaruh perbedaan jenis *reboiler* terhadap parameter distilasi (kadar etanol distilat dan rendemen distilasi) dan penentuan jenis *internal reboiler* yang memberikan hasil tertinggi pada masing-masing parameter ditentukan dengan uji Duncan. Selain itu data dianalisis secara grafik untuk menunjukkan hubungan antara parameter penelitian (kadar etanol distilat dan rendemen distilasi) dengan perbandingan tinggi dan diameter tabung *reboiler* (L/D).

### 3. Hasil dan Pembahasan

Parameter kinerja alat distilasi tergantung pada ketersediaan panas atau NTU (*number of transfer unit*) dan efektivitas kinerja dari *reboiler* yang berperan sebagai penukar kalor pada kolom distilasi. Sebagaimana disampaikan oleh (Foletto, 2015) bahwa suhu *reboiler* yang lebih tinggi menunjukkan laju penguapan cairan yang lebih tinggi dan menghasilkan laju aliran uap yang lebih tinggi.

Karakteristik perpindahan panas pada suatu alat penukar kalor ditunjukkan dengan besarnya koefisien perpindahan panas (Prasad dkk., 2013). Proses perpindahan panas pada penukar kalor terjadi karena adanya perbedaan temperatur pada suatu fluida yang mengalir pada tabung alat penukar kalor, sehingga terjadi perpindahan panas secara konveksi. Koefisien perpindahan panas dalam alat penukar kalor dipengaruhi oleh turbulensi, yaitu ketika turbulensi meningkat maka laju aliran massa fluida dan perpindahan panas juga meningkat (Gavade dkk., 2015).

#### 3.1 Kadar Etanol Distilat dengan Variasi Jenis Reboiler dan Umpan

Hasil pengukuran kadar etanol distilat pada suhu 25 °C dari proses distilasi yang menggunakan jenis *internal reboiler* berbeda pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1. Data tersebut merupakan data rata-rata setiap variasi yang dilakukan 3 ulangan. Data kadar etanol distilat dianalisis statistik Anova dengan SPSS 25 untuk mengetahui pengaruh variasi perlakuan terhadap hasil yang didapatkan. Berdasarkan hasil analisis tersebut diketahui bahwa pada tingkat kepercayaan 95%, perbedaan tinggi tabung *reboiler* berpengaruh nyata terhadap kadar

etanol distilat. Sedangkan perbedaan diameter *reboiler* dan kadar etanol umpan berpengaruh sangat nyata terhadap kadar etanol distilat. Interaksi antara diameter dan kadar umpan juga berpengaruh sangat nyata terhadap kadar etanol distilat. Kadar etanol distilat yang tertinggi ditentukan berdasarkan uji Duncan dan diperoleh pada perlakuan diameter tabung 0,5 inci (0,0127 m), tinggi tabung 8 cm (0,08 m), dan kadar etanol umpan 10%. Hal itu menunjukkan bahwa semakin kecil diameter dan semakin tinggi tabung *reboiler* serta kadar umpan yang rendah memberikan kadar etanol distilat yang semakin tinggi.

**Tabel 1.** Kadar Etanol Distilat pada Berbagai Konsentrasi Umpan pada Suhu 25 °C

D (m)	L (m)	L/D	N tabung	F 10% (%)	F 20% (%)	F 30% (%)
0,0127	0,04	3,15	17	95,77	90,47	90,50
	0,06	4,72	12	97,23	90,73	90,83
	0,08	6,30	9	97,17	92,90	91,60
0,0254	0,04	1,57	9	90,93	88,00	88,50
	0,06	2,36	6	90,23	87,63	88,23
	0,08	3,15	4	93,30	89,97	88,90
0,0381	0,04	1,05	6	84,30	84,40	83,73
	0,06	1,57	4	83,70	84,90	84,77
	0,08	2,10	3	85,87	85,47	86,90

Pada Tabel 1 ditunjukkan bahwa semakin kecil diameter tabung *reboiler* maka semakin tinggi kadar etanol distilat pada masing-masing perlakuan kadar umpan. Nilai tertinggi kadar etanol distilat pada semua variasi kadar etanol umpan terdapat pada diameter tabung 0,5 inci dengan tinggi tabung *reboiler* 8 cm. Pada diameter tabung 0,5 inci, semakin tinggi tabung *reboiler* maka semakin tinggi pula kadar etanol distilat, karena pada tabung yang diameternya kecil dan panjang, nilai koefisien perpindahan panasnya lebih tinggi. Menurut Ali dkk.,

(2018) koefisien perpindahan panas dan penurunan tekanan bertambah dengan bertambahnya panjang tabung.

Terjadinya perpindahan panas pada penukar kalor merupakan akibat dari adanya perbedaan suhu, sehingga suhu dapat dikatakan sebagai faktor utama. Rata-rata suhu bahan di dalam *reboiler* dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2. Perubahan suhu bahan pada penukar kalor berpengaruh terhadap laju aliran massa fluida dan turbulensi yang terjadi sehingga berpengaruh terhadap koefisien perpindahan panas (Gavade, dkk., 2015).

**Tabel 2.** Rata-rata Suhu Bahan di dalam *Reboiler* pada Berbagai Konsentrasi Umpan

D (m)	L (m)	L/D	N tabung	F 10% (°C)	F 20% (°C)	F 30% (°C)
0,0127	0,04	3,15	17	93,43	91,21	89,68
	0,06	4,72	12	93,19	91,46	89,67
	0,08	6,3	9	93,25	91,14	89,47
0,0254	0,04	1,57	9	94,53	92,12	90,42
	0,06	2,36	6	94,3	92,32	90,64
	0,08	3,15	4	94,01	91,82	90,09
0,0381	0,04	1,05	6	94,44	92,08	90,69
	0,06	1,57	4	94,76	92,39	90,29
	0,08	2,1	3	94,53	92,47	90,17

Berdasarkan data Tabel 2, pada masing-masing perlakuan kadar umpan, semakin besar diameter tabung *reboiler* maka semakin tinggi suhunya. Hal tersebut seperti yang disampaikan Alimoradi (2017) bahwa peningkatan diameter dan panjang tabung koil pada penukar kalor meningkatkan efektivitas area permukaan sehingga efektivitas termalnya meningkat. Mirgolbabaei (2018) juga menyatakan bahwa efek pengurangan luas permukaan kumparan penukar kalor dominan pada kenaikan koefisien perpindahan panas sehingga terjadi penurunan efektivitas penukar kalor yang

konsisten. Semakin tinggi suhunya, semakin cepat penguapan komponen ringan (etanol) sehingga produktivitas meningkat (Foletto, 2015).

### 3.2 Rendemen distilasi dengan Variasi Jenis *Reboiler* dan Umpan

Rendemen distilasi dihitung berdasarkan Persamaan (1) di metode penelitian dan diukur pada suhu 25 °C. Rendemen distilasi menunjukkan efisiensi proses distilasi. Semakin tinggi rendemen distilasi maka semakin efisien proses distilasi yang berlangsung. Data rata-rata rendemen distilasi pada penelitian tercantum pada Tabel 3. Penentuan pengaruh perbedaan diameter dan tinggi tabung *reboiler* serta kadar etanol umpan terhadap rendemen distilasi dianalisis dengan statistik Anova menggunakan SPSS 25. Berdasarkan hasil analisis tersebut, didapatkan bahwa perbedaan perlakuan diameter tabung, tinggi tabung, dan kadar umpan berpengaruh sangat nyata terhadap rendemen distilasi. Interaksi antara diameter dan kadar etanol umpan juga berpengaruh sangat nyata terhadap rendemen distilasi.

**Tabel 3.** Rendemen Distilasi pada Berbagai Konsentrasi Umpan pada Suhu 25 °C

D (m)	L (m)	L/D	N tabung	F 10% (%)	F 20% (%)	F 30% (%)
0,0127	0,04	3,15	17	34,18	61,36	73,52
	0,06	4,72	12	29,25	55,15	69,89
	0,08	6,30	9	19,83	56,10	69,97
0,0254	0,04	1,57	9	51,99	69,28	77,39
	0,06	2,36	6	46,12	69,31	77,30
	0,08	3,15	4	45,44	69,74	75,21
0,0381	0,04	1,05	6	62,39	76,79	80,79
	0,06	1,57	4	60,48	73,44	79,82
	0,08	2,10	3	54,78	69,94	82,96

Rendemen etanol tertinggi ditentukan berdasarkan uji Duncan pada perlakuan

diameter tabung 1,5 inci (0,0381 m) tinggi tabung 4 cm (0,04 m) dan kadar etanol umpan 30%. Jika ditinjau dari kadar etanol umpan, rata-rata rendemen distilasi yang tinggi didapatkan pada kadar umpan 30% pada semua variasi diameter dan tinggi tabung *reboiler*. Semakin tinggi kadar etanol umpan, dihasilkan rendemen distilasi yang semakin tinggi juga. Semakin tinggi kadar etanol umpan berarti semakin besar komponen yang mudah menguap sehingga volume distilat yang dihasilkan juga semakin banyak sehingga meningkatkan rendemen distilasi.

Pada Tabel 3 dapat diketahui bahwa diameter tabung *reboiler* 1,5 inci pada semua perlakuan memberikan nilai rata-rata rendemen distilasi tertinggi. Rendemen distilasi meningkat selaras dengan peningkatan diameter tabung *reboiler*. Secara umum tinggi tabung 4 cm memberikan nilai rendemen distilasi lebih tinggi dibandingkan dengan tinggi tabung 6 cm dan 8 cm. Penguapan bahan di dalam kolom distilasi ditentukan oleh kecepatan perpindahan panas pada *reboiler*. Semakin tinggi kecepatan perpindahan panas pada *reboiler*, berarti semakin tinggi nilai koefisien perpindahan panasnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bentuk, ukuran, dan susunan dari tabung *reboiler* berpengaruh terhadap koefisien perpindahan panas *internal reboiler*. Hal tersebut seperti yang disampaikan oleh Ranavare dkk., (2015) dan Shirgire dkk., (2014) bahwa koefisien perpindahan panas dipengaruhi oleh geometri alat penukar kalor. Rosa dkk., (2014) dan Rosa dkk., (2017) juga menyatakan bahwa koefisien perpindahan panas pada suatu penukar kalor merupakan fungsi *Nusselt*, *Reynold* dan *Prandtl* yang nilainya

dipengaruhi oleh bentuk atau geometri dari alat tersebut.

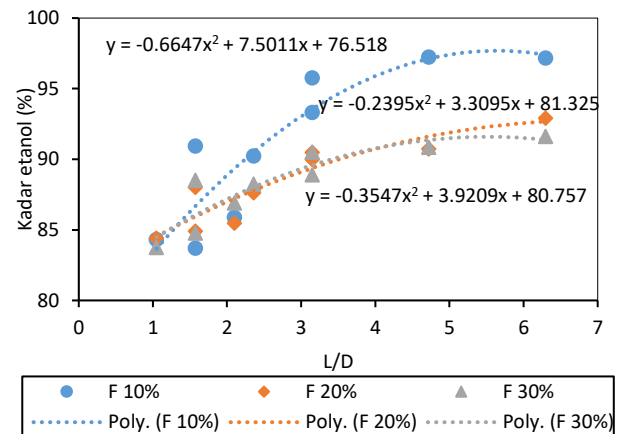
Pada proses distilasi etanol, semakin cepat penguapan yang terjadi, komponen air yang terikut semakin banyak sehingga kadar etanolnya rendah, tetapi rendemennya tinggi. Sebagaimana ditunjukkan Tabel 1, 2 dan 3, pada masing-masing kadar umpan kenaikan diameter menurunkan kadar etanol distilat, meningkatkan suhu, dan meningkatkan rendemen distilasi.

### 3.3 Hubungan antara Kadar Etanol Distilat dan Rendemen Distilasi dengan Rasio Panjang dan Diameter Tabung *Reboiler*

Perbandingan tinggi dan diameter tabung *reboiler* (L/D) merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap perpindahan panas yang terjadi di dalam *reboiler* sehingga hal tersebut juga berpengaruh terhadap kadar etanol dan rendemen distilasi. Pada penelitian ini, nilai L/D merupakan nilai pada luas permukaan yang sama sehingga L/D di sini hanya menunjukkan variasi geometri. Pada luas permukaan yang sama, nilai L/D semakin besar jika semakin tinggi nilai L pada nilai D yang sama, dan semakin kecil nilai D pada nilai L yang sama. Nilai L/D bisa jadi sama dengan nilai L dan D yang berbeda, dan hal tersebut akan berpengaruh pada banyaknya tabung sehingga geometri berubah.

Perbedaan geometri pada penukar kalor tipe *vertical tubular baffle* memberikan performa yang berbeda pula. Tinggi, diameter, dan jumlah tabung berpengaruh terhadap nilai koefisien perpindahan panas secara keseluruhan. Pada luas permukaan yang sama dengan tinggi dan diameter tabung berbeda, koefisien perpindahan panas secara keseluruhan juga berbeda (Susmiati

dkk., 2019). Pada luas area yang sama dengan bentuk yang berbeda, penyerapan panas pada suatu alat penukar kalor juga berbeda. Contohnya pada penukar kalor pipa lurus, dibutuhkan ukuran yang lebih besar sedangkan bentuk pipa helix lebih kompak untuk kecepatan perpindahan panas sama (Gurav, 2015).



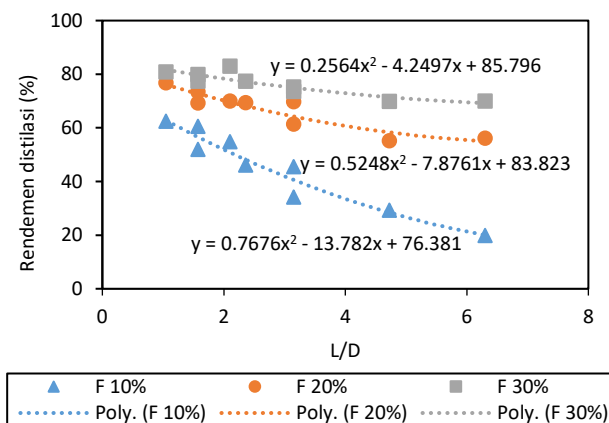
**Gambar 2.** Hubungan antara kadar etanol distilat dengan rasio L/D tabung *reboiler*

Hubungan antara kadar etanol distilat dengan L/D ditunjukkan pada Gambar 2. Secara umum semakin tinggi nilai L/D maka semakin tinggi juga kadar etanol distilat yang diperoleh pada semua perlakuan kadar etanol umpan. Tingginya nilai L/D juga terkait dengan banyaknya tabung *reboiler*. Semakin tinggi L/D semakin sedikit jumlahnya dan pada diameter yang sama semakin tinggi ukuran tabung pada *reboiler*. Distribusi suhu pada penukar kalor dengan L/D yang berbeda untuk panjang pipa yang berbeda yang diamati oleh Roul dan Nayak (2012) menunjukkan terjadinya peningkatan perpindahan panas dengan peningkatan panjang pipa. Pada masing-masing kadar umpan L/D yang semakin tinggi suhu *reboiler* semakin rendah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2, sehingga komponen volatil



(etanol) lebih banyak yang menguap karena titik didih etanol pada suhu 78 °C. Suhu *reboiler* pada L/D yang tinggi mendekati titik didih etanol tersebut.

Berdasarkan Gambar 2, kadar etanol umpan 10% memberikan kadar etanol distilat lebih tinggi dibandingkan dengan kadar etanol umpan 20% dan 30%. Pada kadar umpan 10%, suhu *reboiler* lebih tinggi dibandingkan dengan kadar umpan 20% dan 30% sehingga hampir semua komponen volatil yang ada menguap. Tingginya suhu pada *reboiler* dengan kadar 10% juga dipengaruhi oleh viskositas larutan. Semakin banyak kadar etanolnya semakin tinggi viskositasnya dan semakin rendah suhunya. Turbulensi yang terjadi pada kadar umpan 10% lebih tinggi dibandingkan dengan kadar umpan lainnya. Peningkatan turbulensi mengakibatkan secara signifikan bercampurnya fluida di dalam tabung sehingga koefisien perpindahan panas meningkat (Gurav, 2015). Pada kadar etanol umpan 20% dan 30%, nilai kadar etanol distilat hampir sama, sehingga grafik terlihat berhimpit, dan nilai-nilai konstanta pada persamaan tidak terlalu jauh berbeda.



**Gambar 3.** Hubungan antara rendemen distilasi dengan rasio L/D tabung *reboiler*

Rendemen distilasi juga dipengaruhi oleh perbandingan tinggi dan diameter tabung *reboiler*. Nampak pada Gambar 3, bahwa semakin tinggi nilai perbandingan tinggi dan diameter tabung *reboiler* (L/D) maka semakin rendah rendemen distilasi. Rendahnya rendemen distilasi disebabkan oleh semakin sedikitnya volume distilat yang didapatkan. Fenomena tersebut merupakan kebalikan dari kadar etanol distilat. Secara umum kadar etanol umpan 30% memberikan nilai rendemen distilasi lebih tinggi dibandingkan dengan kadar etanol umpan 10% dan 20%. Pada kadar etanol umpan 10% rendemen distilasi memberikan nilai paling rendah.

Kadar etanol distilat dan rendemen distilasi mempunyai kecenderungan nilai yang bertolak belakang pada masing-masing perlakuan. Kadar etanol umpan 10% memberikan nilai kadar distilat paling tinggi, tetapi nilai rendemen distilasi yang paling rendah. Demikian juga sebaliknya kadar etanol 30% memberikan nilai rendemen distilasi tertinggi, tetapi nilai kadar etanol distilat paling rendah. Kecenderungan nilai kadar etanol distilat terhadap L/D berbanding terbalik dengan nilai rendemen distilasi terhadap L/D. Secara umum, semakin besar L/D tabung *reboiler* maka semakin tinggi kadar etanol distilat, tetapi semakin rendah rendemen distilasi pada semua kadar etanol umpan.

Rendemen distilasi sangat tergantung pada banyak sedikitnya volume yang dihasilkan pada proses distilasi. Semakin tinggi kadar etanol umpan, maka semakin banyak komponen volatil yang mudah menguap, dan akan meningkatkan volume distilat. Semakin besar diameter dan semakin pendek tabung *reboiler*, maka semakin banyak air yang ikut menguap pada kolom

distilasi sehingga semakin rendah kadar etanol distilat. Pada tabung yang rendah dan diameter yang lebar, turbulensi yang terjadi lebih tinggi, sehingga proses penguapan bahan lebih cepat dan banyak sehingga rendemen distilasinya tinggi. Sebaliknya pada tabung diameter kecil dan tinggi, fluida yang menempel pada tabung lebih banyak, dan air lebih banyak terkondensasi pada dinding tabung sedangkan yang menguap hanya bagian volatil saja. Hal tersebut meninggikan kadar etanol pada distilat. Pada kondisi tersebut, juga terdapat pengaruh bilangan Reynold yaitu bilangan Reynold meningkat dengan adanya peningkatan diameter pada kondisi fluida yang sama dan ditunjukkan dengan persamaan  $Re = \frac{D\rho v}{\mu}$  dengan  $\rho$ ,  $v$ ,  $\mu$ , berturut-turut merupakan densitas, kecepatan dan viskositas bahan/fluida. Fouda dkk., (2018) menyatakan bahwa peningkatan bilangan Reynold dapat meningkatkan koefisien perpindahan panas keseluruhan. Perbedaan bilangan Reynold sangat dipengaruhi oleh perbedaan L/D dalam suatu penukar kalor tipe *shell and tube*, dan hal tersebut berpengaruh terhadap perpindahan panas (Aicher & Martin, 1997). Perubahan pada parameter geometris dapat memberikan area pertukaran panas yang lebih tinggi (Fernández-seara dkk., 2014). Pada penelitian ini reboiler dengan luas area yang sama, perbedaan diameter dan tinggi tabung menyebabkan perbedaan jumlah tabung. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Feng dkk. (2019) bahwa kinerja pada penukar kalor *shell and tube* dapat ditingkatkan dengan pemilihan fluida kerja yang sesuai, laju aliran massa fluida panas, dan jumlah tabung.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, bentuk dan ukuran dari internal *reboiler* tipe *vertical tubular baffle* berpengaruh terhadap hasil distilasi. Kadar etanol hasil distilasi meningkat dengan meningkatnya rasio L/D tabung reboiler dan semakin rendah kadar etanol umpan maka semakin tinggi kadar etanol hasil distilasi. Kebalikannya rendemen distilasi menurun dengan adanya peningkatan rasio L/D dan semakin rendah kadar etanol umpan maka rendemen distilasi juga semakin rendah.

#### Daftar Notasi

- $F$  = jenis umpan (%)
- $D$  = diameter tabung reboiler (meter)
- $L$  = tinggi tabung reboiler (meter)
- $N$  = banyaknya tabung reboiler

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada LPDP RI yang telah memberikan pendanaan pada studi dan penelitian ini dalam bentuk beasiswa BUDI-DN. Terimakasih disampaikan juga kepada Teknisi dan Pengelola Laboratorium Energi dan Mesin Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada demi terselenggaranya penelitian ini.

#### Daftar Pustaka

- Aicher, T., and Martin, H., 1997, New correlations for mixed turbulent natural and forced convection heat transfer in vertical tubes. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 40(15), 3617-3626.
- Ali, A., Qasim, M., and Zaki, S., 2018, Performance analysis of shell and tube heat exchanger: Parametric study, *Case*

- Studies in Thermal Engineering, 12, 563–568.
- Alimoradi, A., 2017, Study of thermal effectiveness and its relation with NTU in shell and helically coiled tube heat exchangers, *Case Studies in Thermal Engineering*, 9, 100–107
- Badi, D., Al Helal, A., Lagat, C., Phan, C., and Barifcani, A., 2021, Evaluation of reboiler temperature retention time on MEG degradation products at varying MEG concentrations, *J. Pet. Sci. Eng.*, 196, No. 107735.  
<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.107735>
- Bell, J. A., Bouck, D., Farone, J. P., Flowers, J., Grave, E., Kister, H. Z. and Yeoman, N., 2011, Reboiler circuits for trayed columns, *Chemical Engineering-Essentials for the CPI Professional*, <https://www.chemengonline.com/reboiler-circuits-for-trayed-columns/>
- Bhanvase, B. A., Deosarkar, M. P., Shirsath, S. R., and Gaikwad, R. W., 2007, Internal reboiler in distillation column, *Chemical Engineering World*, 42(6), 86–88.
- Bichkar, P., Ojas, D., Pranita, D., Rhushabh, G., and Dey, T., 2018, Study of shell and tube heat exchanger with the effect of types of baffles, *Procedia Manufacturing*, 20, 195–200
- Feng, H., Chen, L., Wu, Z., and Xie, Z., 2019, Constructal design of a shell-and-tube heat exchanger for organic fluid evaporation process. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 131, 750–756.
- Fernández-seara, J., Piñeiro-pontevedra, C., and Dopazo, J. A., 2014, On the performance of a vertical helical coil heat exchanger: Numerical model and experimental validation, *Appl. Therm. Eng.*, 62 (2), 680–689
- Foletto, E. L., 2015, Operation parameters of a small scale batch distillation column for hydrous ethanol fuel (HEF) production, *Ingeniería e Investigación*, 35(1), 31–35.
- Fouda, A., Nada, S. A., Elattar, H. F., Refaey, H. A., and Bin-mahfouz, A. S., 2018, Thermal performance modeling of turbulent flow in multi tube in tube helically coiled heat exchangers, *International Journal of Mechanical Sciences*, 135, 621–638
- Gavade, P. P., Malgave, S. S., Patil, D. D., Bhore, H. S., and Wadkar, V. V., 2015, Analysis of tube in tube helical coil and straight tube heat, *Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 3 (2), 14–19.
- Gurav, S. R., 2015, Parametric comparison of heat transfer in helical and straight tube-in-tube heat exchanger, *International Journal of Science and Research*, 4(8), 2013–2016.
- Kisan, M., Sangathan, S., Nehru, J., and Pitroda, S. G., 1989, *Indian Standard Tables for Alcoholometry (Pyknometer Method) First Revision*, Bureau of Indian Standards, New Delhi, June 1991.
- Lorraine A. Huchler, P. E., 1999, *Managing Reboiler Steam-side Operation Improves Equipment Reliability and Steam Quality*, MarTech Systems, Inc., Lawrenceville, New Jersey USA, p.17.
- Mirgolbabaie, H., 2018, Numerical investigation of vertical helically coiled tube heat exchangers thermal performance, *Appl. Therm. Eng.*, 136, 252–259.
- Nptel, 2006, Lecture 1: Heat Exchangers Classifications. *Chemical Engineering Design - II*, 1–41.

- Parhi, S. S., Rangaiah, G. P., and Jana, A. K., 2019, Optimizing reboiler duty and reflux ratio profiles of vapor recompressed batch distillation, *Sep. Purif. Technol.*, 213, 553–570.
- Prasad, B., Sujith, V., K, M. S., Haneef, S., Sandeep, N., and Raj, V., 2013, Comparison of heat transfer between a helical and straight tube heat exchanger, *Int. Journal of Engineering Research and Technology*, 6(1), 33–40.
- Ranaware, N. D., Molawade, K. N., and Mane, L.N., 2015, A review on comparison between shell and tube heat exchanger and helical coil heat exchanger, *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*, 2(2), 1–9.
- Rosa, S., Moraes, M. S. De, To, J., Campos, D., and Toneli, L., 2014, External heat transfer coefficient in agitated vessels using a radial impeller and vertical tube baffles, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 53, 13797-
- Rosa, S., Elena, M., Taqueda, S., Luis, J., Paiva, D., Silva, M., and Moraes, D., 2017, Nusselt's correlations in agitated tanks using the spiral coil with Rushton turbine and PBT 45 ° impeller: Comparison with tanks containing vertical tube baffles, *Appl. Therm. Eng.*, 110, 1331–1342.
- Roul, M. K., and Nayak, R. C., 2012, Experimental investigation of natural convection heat transfer through heated vertical tubes, *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, 2(6), 1088–1096.
- Shirgire, N. D., Thakur, A., and Singh, S., 2014, Comparative study and analysis between helical coil and straight tube heat exchanger, *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, 4(8). 130-133
- Sukasem, N., Hareemao, T., and Sudawong, C., 2017, The mimic of fractional distillation technology for development of homegrown pot distillery for ethanol distillation, *Energy Procedia*, 138, 985–990.
- Susmiati, Y., Purwantana, B., Bintoro, N., Rahayoe, S., 2019, Design and testing of vertical tubular baffle heat exchanger as an internal reboiler in the distillation device, *The 3rd International Symposium on Agricultural and Biosystem Engineering*, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 355.
- Tammami, B., 2008, How to select the best reboiler for your processing operation, *Hydrocarbon Processing*, 87(3), 91–94.
- Van Duc Long, N., Lee, D. Y., Park, S. Y., Hwang, B. B., and Lee, M., 2020, HETP measurement using industrial-scale batch distillation, *Chem. Eng. Process. - Process Intensification*, 148, 107800.