



# **STUDI DINAMIKA DISTILASI REAKTIF UNTUK MEMPRODUKSI ETIL ASETAT MENGUNAKAN ASPEN PLUS DYNAMIC**

Laporan Penelitian

Disusun untuk memenuhi tugas akhir guna mencapai gelar sarjana di bidang ilmu

Teknik Kimia

Oleh:

**Indra Sutanto**

**(2014620003)**

Pembimbing:

**I G Pandega Wiratama, S.T., M.T.**

**Dr. Tedi Hudaya, S.T., M. Eng. Sc.**



**JURUSAN TEKNIK KIMIA**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

**2018**

No kode	: TK SUT s/18
Tanggal	: 8 Februari 2019
No. absen	: 4380 - FTI /okp 36848
Divisi	:
Masukan/Bahan	:
Dari	: FTI



## LEMBAR PENGESAHAN

**JUDUL : STUDI DINAMIKA DISTILASI REAKTIF UNTUK MEMPRODUKSI  
ETIL ASETAT MENGGUNAKAN ASPEN PLUS DYNAMIC**

Catatan:

Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 20 Juli 2018

Pembimbing I

Dr. Tedi Hudaya, S.T., M.Eng.Sc.

Pembimbing II

I Gede Pandega Wiratama, S.T., M.T.



PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

### SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Indra Sutanto

NRP : 6214003

dengan ini menyatakan bahwa proposal penelitian dengan judul::

#### **STUDI DINAMIKA DISTILASI REAKTIF UNTUK MEMPRODUKSI ETIL ASETAT MENGUNAKAN ASPEN PLUS DYNAMIC**

adalah hasil pekerjaan saya dan seluruh ide, pendapat atau materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka saya bersedia menganggung sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Bandung, 20 Juli 2017

Indra Sutanto

(6214003)



## LEMBAR REVISI

**JUDUL : STUDI DINAMIKA DISTILASI REAKTIF UNTUK MEMPRODUKSI  
ETIL ASETAT MENGGUNAKAN ASPEN PLUS DYNAMIC**

Catatan:

Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, Juli 2018

Penguji

Herry Santoso, S.T., M.TM., Ph.D

Penguji

Putri Ramadhany, S.T., M.Sc., PDEng



## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur pada Tuhan Yang Maha Esa yang membimbing saya dalam pembuatan proposal penelitian ini. Proposal ini dibuat sebagai salah satu prasyarat untuk lulus di mata kuliah Proposal Penelitian.

Penulis berterima kasih kepada:

1. Pembimbing penulis bapa I. G. Pandega Wiratama, S.T., M.T dengan Dr. Tedi Hudaya, , S.T., M.Eng.Sc. yang membimbing pembuatan proposal ini
2. Pengajar di kelas Proposal Penelitian yang memberikan pengetahuannya dalam membuat proposal ini.
3. Orang tua penulis yang memberikan penulis dorongan untuk membuat proposal ini.

Diharapkan proposal ini digunakan dengan sebagai mana yang telah ditentukan.

**Tertanda Penulis**

**Indra Sutanto**



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
SURAT PERNYATAAN.....	iii
LEMBAR REVISI .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
INTISARI.....	xii
ABSTRACT .....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Identifikasi masalah .....	2
1.3 Premis .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat penelitian ini adalah:.....	3
1.5.1 Bagi Industri.....	3
1.5.2 Bagi Ilmuan.....	3
1.6 Pembatasan masalah .....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1 Dinamika proses.....	4
2.1.1 Bentuk-bentuk Umum Fungsi Alih.....	5

2.1.2	Metode Penentuan Parameter Fungsi Alih.....	6
2.1.3	Respon sistem.....	8
2.2	Etil asetat.....	10
2.3	Etanol.....	10
2.4	Asam Asetat.....	11
2.5	Purolite C100H.....	12
2.6	Kinetika Reaksi Esterifikasi Etanol ( $C_2H_5OH$ ) dengan Asam Asetat ( $CH_3COOH$ ).....	12
2.7	Distilasi.....	13
2.7.1	Reactive Distillation (RD).....	15
2.7.2	Lokasi Umpan Masuk.....	20
2.7.3	Jumlah <i>Tray</i> Reaktif.....	20
2.8	Tinjauan Metode Termodinamika.....	21
BAB 3 METODE PENELITIAN.....		25
3.1	Studi literatur.....	25
3.2	Validasi sistem (Steady state).....	26
3.3	Studi Dinamika.....	26
3.4	Pencarian Nilai Parameter Fungsi Alih.....	27
3.5	Rencana Kerja Penelitian.....	28
BAB 4 PEMBAHASAN.....		29
4.1	Validasi Data.....	29
4.2	Simulasi Dinamika.....	30
4.3	Linear dan Non-linear.....	34

4.4	Model dan Fungsi Alih .....	35
4.4.1	Perubahan laju alir <i>reflux</i> (CO) terhadap komposisi etil asetat di fasa organik (CV) secara <i>step up</i> .....	35
4.4.2	Perubahan laju alir <i>reflux</i> (CO) terhadap komposisi etil asetat di fasa organik (CV) secara <i>step down</i> .....	36
4.4.3	Perubahan laju alir <i>reflux</i> (CO) terhadap komposisi etil asetat di fasa air (CV) secara <i>step up</i> .....	37
4.4.4	Perubahan laju alir <i>reflux</i> (CO) terhadap komposisi etil asetat di fasa air (CV) secara <i>step down</i> .....	38
4.4.5	Perubahan laju alir umpan asam asetat (D) terhadap komposisi etil asetat di fasa organik (CV) secara <i>step up</i> .....	39
4.4.6	Perubahan laju alir umpan asam asetat (D) terhadap komposisi etil asetat di fasa organik (CV) secara <i>step down</i> .....	40
4.4.7	Perubahan laju alir umpan asam asetat (D) terhadap komposisi etil asetat di fasa air (CV) secara <i>step up</i> .....	41
4.4.8	Perubahan laju alir umpan asam asetat (D) terhadap komposisi etil asetat di fasa air (CV) secara <i>step down</i> .....	42
4.5	Sensitivitas dan Responsivitas .....	43
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		47
5.1	Kesimpulan .....	47
5.2	Saran .....	47
DAFTAR PUSTAKA .....		48
LAMPIRAN A <i>SCRIPT</i> YANG DIPAKAI.....		50
LAMPIRAN B DAFTAR GAMBAR.....		53





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Metode Respon 63.2%.....	6
Gambar 2.2 Metode Point of Inflection.....	7
Gambar 2.3 Grafik Hubungan Antara $t_{20}$ , $t_{60}$ , $\tau$ dan $\xi$ .....	8
Gambar 2.4 (a) Diagram Block dari Sistem (b) Respon dari Sistem tersebut.....	9
Gambar 2.5 Integrasi proses pemisahan metil asetat (Kumar).....	16
Gambar 2.6 <i>Reactive Tray</i> .....	16
Gambar 2.7 Tipe-tipe RD untuk esterifikasi (William L. Luyben, 2008).....	19
Gambar 2.8 Kolom RD yang akan dipakai.....	20
Gambar 2.9 Diagram alir penentuan model termodinamika .....	22
Gambar 3.1 PFD dari sistem di aspen .....	26
Gambar 4.1 Diagram kelarutan sistem Etil asetat, etanol, dan air.....	30
Gambar 4.2 Perbandingan dengan antara hasil penelitian dengan model yang didapat.....	34
Gambar 4.3 Grafik perubahan fraksi mol etil asetat dengan perubahan <i>reflux rate</i> sebesar $\pm 10$ dan $\pm 5$ .....	35
Gambar 4.4 Profil perubahan laju <i>reflux</i> terhadap komposisi etil asetat di fasa organik (CV) secara <i>step up</i> .....	36
Gambar 4.5 Profil perubahan laju <i>reflux</i> terhadap komposisi etil asetat di fasa organik (CV) secara <i>step down</i> .....	37
Profil perubahan laju <i>reflux</i> terhadap komposisi etil asetat di fasa air (CV) secara <i>step up</i> .....	38
Gambar 4.6 Profil perubahan laju <i>reflux</i> terhadap komposisi etil asetat di fasa air (CV) secara <i>step up</i> .....	38
Gambar 4.7 Profil perubahan laju <i>reflux</i> terhadap komposisi etil asetat di fasa air (CV) secara <i>step down</i> .....	39
Gambar 4.8 Profil perubahan laju alir umpan asam asetat (D) terhadap komposisi etil asetat di fasa organik (CV) secara <i>step up</i> .....	40
Gambar 4.8 Profil perubahan laju alir umpan asam asetat (D) terhadap komposisi etil asetat di fasa organik (CV) secara <i>step down</i> .....	41

Gambar 4.9 Profil perubahan laju alir umpan asam asetat (D) terhadap komposisi etil asetat di fasa air (CV) secara <i>step up</i> .....	42
Gambar 4.10 Profil perubahan laju alir umpan asam asetat (D) terhadap komposisi etil asetat di fasa air (CV) secara <i>step down</i> .....	43
Gambar 4.11 Perbandingan sensitivitas perubahan laju alir <i>reflux</i> .....	44
Gambar 4.12 Perbandingan sensitivitas perubahan laju alir umpan asam asetat .....	45



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik dari Etil asetat (Science Lab.com Inc) .....	10
Tabel 2.2 Karakteristik dari Etanol (Science Lab.com Inc).....	11
Tabel 2.3 Karakteristik Asam Asetat (Science Lab Inc) .....	11
Tabel 2.4 Sifat dari <i>Amberlyst-36 wet</i> .....	12
Tabel 2.7 Alur Penentuan Model Termodinamika .....	23
Tabel 3.1 Spesifikasi Kolom .....	25
Tabel 3.2 Matrix Percobaan Studi Dinamika .....	27
Tabel 3.3 Tabel hasil penelitian.....	28
Tabel 3.4 Rencana kerja penelitian.....	28
Tabel 4.1 Komposisi Etil Asetat.....	29
Tabel 4.2 Matrix studi dinamika.....	31
Tabel 4.3 Hasil penelitian.....	32



## INTISARI

Dalam sebuah industri proses, sistem pengendalian merupakan salah satu hal yang terpenting untuk menjamin mutu produksi dan keselamatan kerja. Dalam merancang sistem kendali diperlukan model dinamika proses dalam bentuk fungsi alih, yaitu persamaan yang menggambarkan hubungan antara variabel *output* terhadap *input*. Akan tetapi, model dinamika proses umumnya sulit didapat melalui model-model fundamental, terlebih dalam suatu proses yang kompleks. Oleh karena itu, model dinamika suatu proses yang kompleks biasanya merupakan *black box model*, di mana hubungan antara variabel *output* dan *input* didapatkan dari regresi data-data dinamik.

Salah satu proses yang kompleks yang bisa didapati di industri kimia adalah *reactive distillation* (RD). RD merupakan intensifikasi proses yang menggabungkan reaktor dan distilasi dalam satu alat. Penggabungan ini mengakibatkan proses pemisahan dan reaksi terjadi dalam satu kolom sehingga metode ini lebih efektif, efisien dan ekonomis. Sistem kendali dalam kolom RD biasanya meninjau komposisi produk atas dan bawah sebagai *output* atau *controlled variable* (CV) sedangkan *input* berupa *disturbance* (D) adalah temperatur umpan ataupun komposisi umpan, yang ada hubungannya dengan laju umpan air. *Manipulated variable* (MV) atau *controller output* (CO) yang bisa dipakai untuk mengendalikan komposisi keluaran kolom adalah beban *reboiler*, beban kondensor dan/atau laju alir *reflux*.

Penelitian ini bertujuan untuk mencari bentuk fungsi alih yang menghubungkan antara CV dan D terhadap CO, serta nilai-nilai parameter fungsi alih tersebut. Untuk mencapai tujuan ini, mula-mula akan dibuat model *steady state* kolom RD dalam *Aspen Plus* dari data kinetik reaksi yang terdapat di literatur. Setelah dimodelkan, akan dilakukan simulasi dinamik dengan cara *step test* menggunakan *Aspen Plus Dynamics*, sehingga didapatkan data-data dinamik. Kumpulan data tersebut kemudian diregresi menggunakan beragam model fungsi alih sehingga didapatkan model fungsi alih yang paling sesuai untuk menggambarkan hubungan antara CV atau D terhadap CO. Adapun proses kimia yang diaplikasikan dalam kolom RD ini adalah produksi etil asetat dari reaksi esterifikasi antara etanol dan asam asetat.

**Kata kunci:** *Reactive Distillation* (RD), parameter, fungsi alih, etil asetat



## ABSTRACT

In a process industry, the control system is one of the most important things to ensure the quality of production and safety. Designing the control system is required a model of process dynamics in the form of the transfer function, which is the equation that describes the relationship between output variables to input. However, the process dynamics model is generally difficult to obtain through fundamental models, especially in a complex process. Therefore, the dynamic model of a complex process is usually modeled in a black box model, where the relationship between output and input variables is obtained from dynamic data regression.

One of the more complex processes that can be found in the chemical industry is reactive distillation (RD). RD is an intensification process that combines reactor and distillation in one device. This merger results in separation and reaction processes occurring in a single column so that this method is more effective, efficient and economical. The control system in the RD column usually reviews the product composition of top and bottom as output or controlled variable (CV) while the input of disturbance (D) is the feed temperature or feed composition, where feed composition have a relation with feed component input. Manipulated variable (MV) or controller output (CO) that can be used to control the composition of the column output is the reboiler duty, the condenser duty and / or the reflux flow.

This study aims to find the form of the transfer function that links between CV to CO, and the values of the parameter of the transfer function. To achieve this goal, a steady state RD model will be created in Aspen Plus with existing literature data. After validation, dynamic simulation will be done by step test using Aspen Plus Dynamics to obtain the dynamic data. The dynamic will be regressed using a variety of transfer function models to obtain the most appropriate transfer function model to illustrate the relationship between CV or D and CO. The chemical process applied in this RD column is the production of ethyl acetate from an esterification reaction between ethanol and acetic acid.

**Keywords:** Reactive Distillation (RD), parameter, transfer function, ethyl acetate



## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar belakang

Dalam sebuah industri proses, sistem pengendali merupakan suatu hal yang penting untuk menjamin kualitas dari produksi dan keselamatan kerja. Dalam merancang sistem kendali diperlukan model dinamika proses dalam wujud fungsi alih, yaitu persamaan yang memperlihatkan hubungan antara variable output dengan input. Output yang dimaksud adalah besaran dari suatu proses yang mau dijaga nilainya, biasanya disebut sebagai *control variable*. Input dalam suatu sistem ada 2 jenis: *disturbance* dan *controller output*. *Disturbance* merupakan gangguan yang dapat terjadi di dalam proses, dan *controller output* merupakan keluaran sistem pengendali yang bisa membuat *controlled variable* tetap nilainya walaupun terjadi gangguan. Model dinamika proses umumnya sulit didapat dari model-model fundamental, terutama dalam proses yang kompleks. Model dinamika suatu proses yang kompleks biasanya berupa *black box model*, di mana hubungan antara variable input dan output didapat dari regresi data-data dinamik.

Salah satu proses yang kompleks yang terdapat di industri kimia adalah *reactive distillation* (RD). RD merupakan intensifikasi proses dimana menggabungkan 2 alat, kolom distilasi dengan reaktor, menjadi 1 alat. Sistem kendali dalam RD biasanya melihat komposisi produk atas dan bawah sebagai output atau *controlled variable* (CV) sedangkan input berupa *disturbance* (D) adalah suhu umpan, atau komposisi umpan. *Manipulated variable* yang dipakai untuk mengendalikan kolom RD tersebut adalah aliran massa yang masuk dan keluar dari kolom dengan tambahan tekanan didalam kolom, tinggi cairan didasar kolom atau tinggi cairan di tangki penampungan setelah kondensor, dan komposisi di produk atas dan produk bawah (Gambar 2.7) (Kister, 2008)

RD cocok digunakan untuk menjalankan reaksi-reaksi eksotermal kesetimbangan, seperti esterifikasi. Salah satu produk ester yang bernilai tinggi adalah etil asetat, yang didapat dari esterifikasi dari etanol dengan asam asetat. Etil asetat merupakan bahan kimia yang banyak dibutuhkan dalam dunia industri, contohnya sebagai solvent. Harga etil asetat di tahun 2016 \$819-823 per metric ton etil asetat (S&P Global, 2016) Etil asetat selain sebagai solvent

bisa juga dipakai dibidang obat-obatan untuk mengekstrak dan memurnikan antibiotik, sebagai *intermediate* dari pembuatan berbagai macam pembuatan obat-obatan, pembuatan cita rasa dan *essences*.

Berdasarkan fakta bahwa etil asetat dipakai di berbagai macam industri, sehingga diperlukan dalam jumlah yang banyak. Maka lebih cocok diproduksi dengan cara esterifikasi di dalam kolom RD dan penting dikendalikan prosesnya agar menjaga kualitas produk, maka yang harus dilakukan pertama kali adalah mendapatkan fungsi alih yang sesuai dan nilai-nilai parameternya.

## 1.2 Identifikasi masalah

1. Bagaimana dinamika laju umpan air terhadap temperatur distilat?
2. Bagaimana dinamika laju umpan air terhadap temperatur *bottom*?
3. Bagaimana dinamika *reboiler duty* terhadap temperatur distilat?
4. Bagaimana dinamika *reboiler duty* terhadap temperatur *bottom*?

## 1.3 Premis

1. Model termodinamika yang digunakan pada reaksi esterifikasi antara etanol dan asam asetat adalah model NTRL (Ahmad, 2015)
2. Semakin tinggi laju alir masukan maka laju produksi akan meningkat dan kemurnian menurun, begitu juga sebaliknya. (William L. Luyben, 2008)
3. Sistem kesetimbangan reaksi esterifikasi etanol dan asam asetat merupakan sistem *Vapour Liquid Equilibrium*. (Ahmad, 2015) (Calvar, 2007) (Zhixian Huang)

## 1.4 Tujuan Penelitian

1. Mampu mensimulasikan dinamika laju *reflux* terhadap komposisi etil asetat di fasa organik.
2. Mampu mensimulasikan dinamika laju *reflux* terhadap komposisi etil asetat di fasa air.
3. Mampu mensimulasikan dinamika laju umpan asam asetat terhadap komposisi etil asetat di fasa organik.

4. Mampu mensimulasikan dinamika laju umpan asam asetat terhadap komposisi etil asetat di fasa air.

## **1.5 Manfaat penelitian ini adalah:**

### **1.5.1 Bagi Industri**

1. Mengetahui kelakuan dinamik *controlled variable* (CV) dan *Disturbance* (D) terhadap *controller output* (CO) dalam kolom *reactive distillation* (RD) yang nantinya berguna untuk merancang sistem pengendalian.

### **1.5.2 Bagi Ilmuan**

1. Mampu melakukan simulasi dinamik produksi esterifikasi menggunakan *software*.
2. Mampu mengembangkan proses *reactive distillation* dalam produksi etil asetat.

## **1.6 Pembatasan masalah**

1. *Software* yang dipakai dalam proposal ini untuk melakukan permodelan dan simulasi reaksi esterifikasi etil asetat dan pemisahannya dengan proses distilasi reaktif adalah Aspen Plus v8.8 dan Aspen Plus Dynamics v8.8.
2. Dalam reaksi esterifikasi etil asetat menggunakan resin penukar ion asam *Amberlyst-36 wet*. (Zhixian Huang)
3. Dalam menyimulasikan proses esterifikasi etil asetat dengan distilasi reaktif digunakan metode termodinamika NTRL.