

SIMULASI DINAMIKA *DIVIDING WALL COLUMN* UNTUK PEMURNIAN FENOL

Laporan Penelitian

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

oleh:

Hardian Rahmat Dewa

(2017620136)

Pembimbing:

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

Yansen Hartanto, S.T., M.T.



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

2023



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

LEMBAR PENGESAHAN

Nama : Hardian Rahmat Dewa

NPM : 2017620136

Judul : Simulasi Dinamika *Dividing Wall Column* untuk Pemurnian Fenol

CATATAN:

Telah diperiksa dan disetujui

Bandung, 24 Juli 2023

Pembimbing 1

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

Pembimbing 2

Yansen Hartanto, S.T., M.T.



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

LEMBAR REVISI

Nama : Hardian Rahmat Dewa

NPM : 2017620136

Judul : Simulasi Dinamika *Dividing Wall Column* untuk Pemurnian Fenol

CATATAN:

Telah diperiksa dan disetujui

Bandung, 1 Agustus 2023

Penguji 1

Dr. Ir. Budi Husodo Bisowarno, M.Eng.

Penguji 2

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



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hardian Rahmat Dewa

NPM : 2017620136

dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul:

SIMULASI DINAMIKA *DIVIDING WALL COLUMN* UNTUK PEMURNIAN FENOL

adalah hasil pekerjaan saya, dan seluruh ide, pendapat, 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 menanggung sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Bandung, 28 Juli 2023



Hardian Rahmat Dewa

(2017620136)

INTISARI

Fenol merupakan senyawa yang dapat diproduksi dengan mendekomposisi *cumene hydroperoxide* dibantu oleh asam sulfat sebagai katalis. Proses distilasi digunakan untuk memperoleh fenol dengan konsentrasi tinggi pada proses pembuatannya. Distilasi secara konvensional biasanya menggunakan 4 kolom dan satu kolom hanya dapat memisahkan dua komponen. Namun metode konvensional ini memerlukan biaya yang cukup besar. Perkembangan teknologi menciptakan sebuah kolom distilasi yang dimodifikasi untuk memisahkan tiga komponen sekaligus dan dapat meningkatkan efisiensi dan efektifitas produksi, yakni *dividing wall column* atau disingkat DWC. Penggunaan setiap alat termasuk DWC memerlukan kontrol yang baik dalam industri agar kualitas produk serta keselamatan kerja tetap terjaga.

Tahapan proses dalam penelitian ini diantaranya validasi DWC menggunakan data optimum, simulasi DWC pada kondisi *steady state*, simulasi DWC pada kondisi dinamik, dan penentuan fungsi alih. Validasi DWC menggunakan data optimum dilakukan dengan bantuan *software ASPEN Plus*[®] untuk mendapatkan desain dan data input awal. Simulasi pada kondisi *steady state* dilakukan untuk mengamati pengaruh dari perubahan *manipulated variable* berupa *reflux ratio* dan *reboiler duty* terhadap *controlled variable* berupa kemurnian produk fenol keluaran DWC. Simulasi dilanjutkan ke dinamik dibantu *software ASPEN Plus*[®] *Dynamic* untuk mengamati pengaruh perubahan *controlled variable* terhadap *controlled variable* dalam kurun waktu tertentu. Hasil dari simulasi model ini akan digunakan untuk penentuan fungsi alih sebagai dasar perancangan sistem kontrol dengan bantuan *software Control Station*.

Hasil penelitian menunjukkan model regresi kurva respons dinamik variasi *reflux ratio* kolom 3 memberikan hasil terbaik menggunakan keempat model pendekatan jika dibandingkan dengan hasil model regresi kurva respons dinamik variasi *reboiler duty* kolom 2 dan variasi *reflux ratio* kolom 1. Nilai R^2 tertinggi dari setiap kurva respons dinamik diperoleh menggunakan model regresi *Second Order Plus Dead Time with Lead Time* (SOPDT-L) dengan nilai 0,4587 untuk kolom 1; 0,4504 untuk kolom 2; dan 0,9188 untuk kolom 3.

Kata Kunci: *controlled variable*, distilasi, DWC, sistem kontrol, *manipulated variable*

ABSTRACT

Phenols are compounds that can be produced by decomposing cumene hydroperoxide assisted by sulfuric acid as a catalyst. The distillation process is used to obtain phenols with a high concentration in the manufacturing process. Distillation conventionally typically uses 4 columns and one column can only separate two components. But this conventional method requires considerable costs. The development of technology creates a distillation column that is modified to separate three components at once and can increase production efficiency and effectiveness, namely dividing wall column or DWC for short. The use of every tool including DWC requires good control in the industry so that product quality and work safety are maintained.

The stages of the process in this study include DWC validation using optimum data, DWC simulation in steady state conditions, DWC simulation in dynamic conditions, and determination of transfer functions. DWC validation using optimum data is carried out with the help of ASPEN Plus® software to obtain the initial design and input data. Simulations on steady state conditions were carried out to observe the influence of manipulated variable changes in the form of reflux ratio and reboiler duty on controlled variables in the form of DWC output phenol composition. The simulation continued to dynamic assisted by ASPEN Plus® Dynamic software to observe the effect of changes in controlled variables and disturbance on controlled variables within a certain period of time. The results of this model simulation will be used to determine the transfer function as the basis for designing a control system with the help of Control Station software.

The results showed that the dynamic response curve regression model for the reflux ratio column 3 variation gave the best results using the four approach models when compared to the results of the dynamic response curve regression model for the reboiler duty column 2 variation and the reflux ratio column 1 variation. The highest R^2 value of each dynamic response curve was obtained using the Second Order Plus Dead Time with Lead Time (SOPDT-L) regression model with a value of 0,4587 for column 1; 0,4504 for column 2; and 0,9188 for column 3.

Keywords: control system, controlled variable, distillation, DWC, manipulated variable

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis haturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan proposal penelitian ini. Disusunnya proposal penelitian ini untuk memenuhi tugas akhir pendidikan sarjana Strata-1 Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.

Selama penyusunan proposal ini, penulis mendapatkan bimbingan, pengarahan, dukungan dan informasi mengenai topik yang dibahas. Maka dari itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung, terutama kepada :

1. Yansen Hartanto, S.T., M.T. dan I Gede Pandega Wiratama, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang selama proses penyusunan proposal penelitian ini telah memberikan bimbingan, pengarahan, serta saran perbaikan.
2. Orang tua dan segenap keluarga yang selalu memberikan motivasi dan dorongan.
3. Para sahabat yang telah memberikan dorongan dan semangat.
4. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung yang telah membantu dalam penyusunan proposal penelitian ini sehingga selesai tepat pada waktunya.

Dalam penyusunan proposal ini, penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dikarenakan keterbatasan kemampuan dan pengetahuan penulis. Sehingga, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari pembaca yang membangun supaya menjadi bekal bagi penulis dalam penyusunan proposal dan laporan di kemudian hari. Semoga proposal penelitian ini dapat berguna dan bermanfaat untuk semua pihak yang membaca dan membutuhkan.

Bandung, 24 Juli 2023

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
INTISARI	xi
ABSTRACT.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tema Sentral Masalah.....	2
1.3. Identifikasi Masalah.....	2
1.4. Premis	2
1.5. Hipotesis	3
1.6. Tujuan Penelitian	3
1.7. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Distilasi	4
2.1.1. Keseimbangan Uap Cair	5
2.2. <i>Dividing Wall Collumn</i>	6
2.3. Proses Pemurnian Fenol dari <i>Cumene</i>	8
2.4. Aspen Plus® Simulator.....	11
2.5. Sistem Kontrol	12
2.6. Fungsi Alih.....	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	14
3.1. Metodologi Penelitian.....	14
3.1.1 Validasi DWC Menggunakan Data Optimum	14
3.1.2 Simulasi DWC pada Kondisi <i>Steady State</i> Menggunakan <i>Software ASPEN Plus®</i> ..	16

3.1.3 Simulasi DWC pada Kondisi Dinamik Menggunakan <i>Software</i> ASPEN Plus <i>Dynamic</i> [®]	16
3.1.4 Penentuan Fungsi Alih Komposisi Setiap Keluaran DWC Menggunakan <i>Software</i> <i>Control Station</i>	17
3.2. Lokasi dan Jadwal Kerja Penelitian	17
BAB IV PEMBAHASAN.....	18
4.1. Validasi DWC Menggunakan Data Optimum	18
4.2. Simulasi DWC pada Kondisi <i>Steady State</i> Menggunakan <i>Software</i> ASPEN Plus [®]	20
4.3 Simulasi DWC pada Kondisi Dinamik Menggunakan <i>Software</i> ASPEN Plus <i>Dynamic</i> [®]	23
4.4. Penentuan Fungsi Alih Kemurnian Fenol pada Keluaran DWC Menggunakan <i>Software</i> <i>Control Station</i> [®]	26
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	33
5.1. Kesimpulan	33
5.2. Saran	33
Daftar Pustaka	34
LAMPIRAN A CONTOH PERHITUNGAN.....	35
A.1. Perhitungan Dimensi <i>Reflux Drum</i>	35
A.2. Perhitungan Dimensi <i>Sump Tank</i>	35
LAMPIRAN B HASIL ANTARA.....	37
B.1. Hasil Variasi Percobaan <i>Steady State</i>	37
B.2. Data Respons Dinamik.....	42
B.2.1. <i>Reflux Ratio</i> Kolom 1	42
B.2.2. <i>Reboiler Duty</i> Kolom 2	45
B.2.3. <i>Reflux Ratio</i> Kolom 3	48
B.3. Hasil Regresi Model dan Koefisien Laplace.....	51
B.3.1. Hasil R ² Regresi Model	51
B.3.2. Koefisien Laplace	51
LAMPIRAN C GRAFIK	52
C.1. Simulasi <i>Steady State</i>	52
C.2. Simulasi Dinamik.....	54
C.3. Penentuan Fungsi Alih	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Kolom Distilasi Biasa (Kiss,2013)	5
Gambar 2.2 Skema kesetimbangan fasa pada <i>tray</i> kolom distilasi (Budiman,2015).....	6
Gambar 2.3 Skema Model Konfigurasi <i>Direct Sequence</i> (a) dan <i>Indirect Sequence</i> (b) untuk Pemisahan Tiga Komponen (Kiss,2013)	7
Gambar 2.4 Skema Kolom Petlyuk (Kiss,2013)	7
Gambar 2.5 Skema DWC (Kiss,2013)	8
Gambar 2.6 Tahapan Proses Pemurnian <i>Cumene</i> menjadi Fenol (Nptel.ac.in,2019)	9
Gambar 2.7 Reaksi Hidrolisis <i>Cumene Hydroperoxide</i> (Quimica,2009).....	9
Gambar 2.8 Reaksi Hidrolisis Dimetil-Fenil Karbinol (Quimica,2009)	10
Gambar 2.9 Proses Pembuatan Fenol dengan <i>Dividing Wall Collumn</i> (Halomoan,2019)	10
Gambar 3.1 Diagram Alir Simulasi Penelitian.....	14
Gambar 3.2 Model Simulasi Kolom DWC pada <i>software</i> ASPEN Plus® (Halomoan, 2019)	15
Gambar 4.1 <i>Flowsheet</i> Validasi DWC	19
Gambar 4.2 Profil Kemurnian Fenol terhadap <i>Reflux Ratio</i> Kolom 1	20
Gambar 4.3 Profil Kemurnian Fenol terhadap <i>Reboiler Duty</i> Kolom 2	21
Gambar 4.4 Profil Kemurnian Fenol terhadap <i>Reflux Ratio</i> Kolom 3	22
Gambar 4.5 Profil Kemurnian Fenol terhadap Waktu Variasi <i>Step Reflux ratio</i> Kolom 1	24
Gambar 4.6 Profil Kemurnian Fenol terhadap Waktu Variasi <i>Step Reboiler Duty</i> Kolom 2....	24
Gambar 4.7 Profil Kemurnian Fenol terhadap Waktu Variasi <i>Step Reflux ratio</i> Kolom 3	25
Gambar 4.8 Regresi Model Variasi <i>Reflux Ratio</i> Kolom 1 Model: (a) FOPDT; (b) SOPDT; (c) SOPDT-L; (d) SOPDT-U	27
Gambar 4.9 Regresi Model Variasi <i>Reboiler Duty</i> Kolom 2 Model: (a) FOPDT; (b) SOPDT; (c) SOPDT-L; (d) SOPDT-U	29

Gambar 4.10 Regresi Model Variasi <i>Reflux ratio</i> Kolom 3 Model: (a) FOPDT; (b) SOPDT; (c) SOPDT-L; (d) SOPDT-U	31
Gambar 4.11 Fungsi Alih Model SOPDT-L (Cooper, 1987).....	32
Gambar C.1 Profil Kemurnian Fenol terhadap <i>Reflux Ratio</i> Kolom 1	52
Gambar C.2 Profil Kemurnian Fenol terhadap <i>Reboiler Duty</i> Kolom 2.....	53
Gambar C.3 Profil Kemurnian Fenol terhadap <i>Reflux Ratio</i> Kolom 3	53
Gambar C.4 Profil Kemurnian Fenol terhadap Waktu Variasi <i>Step Reflux ratio</i> Kolom 1 ...	54
Gambar C.5 Profil Kemurnian Fenol terhadap Waktu Variasi <i>Step Reboiler Duty</i> Kolom 2...54	
Gambar C.6 Profil Kemurnian Fenol terhadap Waktu Variasi <i>Step Reflux ratio</i> Kolom 3 ...	55
Gambar C.7 Regresi Model Variasi <i>Reflux Ratio</i> Kolom 1 Model: (a) FOPDT; (b) SOPDT; (c) SOPDT-L; (d) SOPDT-U	56
Gambar C.8 Regresi Model Variasi <i>Reboiler Duty</i> Kolom 2 Model: (a) FOPDT; (b) SOPDT; (c) SOPDT-L; (d) SOPDT-U	58
Gambar C.9 Regresi Model Variasi <i>Reflux ratio</i> Kolom 3 Model: (a) FOPDT; (b) SOPDT; (c) SOPDT-L; (d) SOPDT-U	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Model Pendekatan Fungsi Alih.....	13
Tabel 3.1 Input Awal Validasi (Halomoan, 2019).....	15
Tabel 3.2 Parameter Komposisi Tiap Keluaran DWC (Halomoan, 2019).....	15
Tabel 3.3 Data Konfigurasi DWC (Halomoan, 2019)	16
Tabel 3.4 Jadwal Kerja Penelitian.....	17
Tabel 4.1 Perolehan R^2 Model Regresi Tiap Variasi <i>Manipulated Variable</i>	32
Tabel 4.2 Data Variabel Fungsi Alih Model SOPDT-L	32

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Senyawa fenol diproduksi melalui proses dekomposisi *cumene hydroperoxide*. Reaksi dekomposisi ini terjadi antara *cumene hydroperoxide* dan asam sulfat sebagai katalis (Hood et al., 1994). Tahapan proses produksi fenol dari *cumene* diantaranya tahap oksidasi, tahap dekomposisi, tahap *settling*, tahap *scrubbing*, dan tahap distilasi. Pada tahap distilasi, akan didapatkan produk akhir berupa fenol dengan konsentrasi tinggi. Pada proses pemisahan digunakan alat distilasi untuk mendapatkan fenol sebagai produk utamanya. Proses pemisahan dalam industri konvensional pada umumnya menggunakan 4 kolom distilasi. Namun pemisahan dalam 4 kolom distilasi ini membutuhkan biaya (terutama *total annual cost* (TAC)) yang besar. Seiring kemajuan teknologi, proses tradisional ini dapat diubah menjadi 2 kolom, menggunakan kolom distilasi konvensional dan *divided wall column* (DWC). Metode ini akan meminimalisir biaya yang dikeluarkan. (Matijasevic, L., Olujic, Z., and Dejanovic, I, 2010).

Hal terpenting dalam penjaminan kualitas produk dan keselamatan kerja dalam sebuah industri proses ialah sistem pengendalian. Perancangan sistem pengendalian proses memerlukan model dinamika proses yang diwakilkan oleh fungsi alih. Fungsi alih ini menggambarkan hubungan antara variabel *input* dan *output*. Penentuan orde dan parameter-parameter fungsi alih ini dapat dibantu menggunakan regresi data-data hasil simulasi dinamik. Fungsi alih yang telah ditentukan akan digunakan sebagai dasar dari perancangan sistem pengendalian proses dengan menggunakan parameter-parameter dari fungsi alih sebagai input dari sistem kontrol tersebut.

Penggunaan DWC dapat meningkatkan efektifitas dan efisiensi proses jika dibandingkan dengan kolom distilasi biasa. Perancangan dan penggunaan DWC dalam industri proses juga memerlukan sistem pengendalian agar kualitas produk dan keselamatan kerja dapat terjaga. Sistem pengendalian ini memiliki variabel *input* berupa *manipulated variable* (MV) dan *disturbance* (D); serta variabel *output* berupa *controlled variable* (CV) (Kiss,2013). Proses kimia yang akan diaplikasikan pada simulasi dinamik DWC adalah proses pemurnian fenol dari *cumene*, dengan memvariasikan MV secara *step-up* dan *step-down*.

1.2. Tema Sentral Masalah

Kualitas produk fenol yang dihasilkan dari proses pemurnian *cumene* secara kontinu akan sulit dijaga jika menggunakan metode pengujian sampel keluaran proses secara konvensional. Perancangan sistem pengendalian dibutuhkan agar kualitas produk dapat tetap terjaga serta meningkatkan efektifitas dan efisiensi proses. Maka dari itu akan dilakukan simulasi dinamik untuk penentuan model fungsi alih dari proses pemurnian fenol dari *cumene* dengan bantuan *software* ASPEN Plus® dan *software* ASPEN Plus *Dynamic*® untuk mendapatkan model fungsi alih yang paling cocok (nilai R^2 mendekati 1).

1.3. Identifikasi Masalah

Berdasarkan tema sentral masalah di atas, terdapat beberapa identifikasi masalah dalam penelitian ini, antara lain:

1. Bagaimana pengaruh *reflux ratio* kolom pertama terhadap respons dinamik kemurnian fenol?
2. Bagaimana pengaruh *reboiler duty* kolom kedua terhadap respons dinamik kemurnian fenol?
3. Bagaimana pengaruh *reflux ratio* kolom ketiga terhadap respons dinamik kemurnian fenol?
4. Bagaimana fungsi alih dari pengaruh perubahan *reflux ratio* dan *reboiler duty* terhadap kemurnian fenol?

1.4. Premis

1. DWC digunakan untuk pemisahan campuran *cumene*, *alpha metyl styrene* (AMS), air, fenol, dan asetofenon (Halomoan,2019).
2. DWC disimulasikan menggunakan tiga buah kolom distilasi dan satu splitter. Kolom 1, 2, dan 3 beroperasi pada tekanan *vacuum*, yakni 0,13 atm (Halomoan,2019).
3. Umpan memiliki tekanan dan temperatur masing-masing 0.987 atm dan 166,254 °C (Halomoan,2019).
4. Data konfigurasi DWC diperoleh dari Halomoan (2019) yang dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

1.5. Hipotesis

Hipotesis yang dibuat berdasarkan dari studi literatur yang telah dilakukan sebelumnya adalah:

1. Respons dinamik kemurnian fenol kolom ketiga terhadap *reflux ratio* lebih cepat dibandingkan dengan *reboiler duty* kolom kedua dan *reflux ratio* kolom pertama.
2. Respons dinamik kemurnian fenol kolom ketiga terhadap *reflux ratio* memberikan hasil model fungsi alih yang lebih akurat dibandingkan dengan *reboiler duty* kolom kedua dan *reflux ratio* kolom pertama.

1.6. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh *reflux ratio* kolom pertama terhadap respons dinamik kemurnian fenol.
2. Mengetahui pengaruh *reboiler duty* kolom kedua terhadap respons dinamik kemurnian fenol.
3. Mengetahui pengaruh *reflux ratio* kolom ketiga terhadap respons dinamik kemurnian fenol.
4. Mengetahui fungsi alih dari pengaruh perubahan *reflux ratio* dan *reboiler duty* terhadap kemurnian fenol.

1.7. Manfaat Penelitian

Hasil yang didapatkan dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat-manfaat diantaranya:

1. Bagi mahasiswa, diharapkan penelitian ini dapat menjadi acuan dalam perancangan sistem pengendalian proses pemurnian fenol dari *cumene*.
2. Bagi industri fenol, diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan efektifitas dalam kontrol kualitas produk serta keselamatan kerja dalam area produksi.
3. Bagi masyarakat sekitar industri fenol, diharapkan dapat memberikan wawasan serta peluang terciptanya lapangan kerja dalam pengolahan limbah dari proses produksi pemurnian fenol dari *cumene* di industri.
4. Bagi negara, diharapkan dapat menjadi salah satu langkah atau upaya untuk pengembangan potensi dan inovasi untuk peningkatan kualitas dan daya saing industri dalam negeri.