

**STUDI KELAYAKAN KONFIGURASI *HEAT*
INTEGRATED REACTIVE DISTILLATION COLUMN
UNTUK SINTESIS DME DENGAN BANTUAN ASPEN
PLUS**

Laporan Penelitian

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

oleh:

Edward Yunkian Janitra

(2016620100)

Pembimbing:

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

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



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
2021**

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL : STUDI KELAYAKAN KONFIGURASI *HEAT INTEGRATED REACTIVE DISTILLATION COLUMN* UNTUK SINTESIS DME DENGAN BANTUAN ASPEN PLUS

CATATAN :

Telah diperiksa dan disetujui,
Bandung, 20 Februari 2021

Pembimbing 1



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

Pembimbing 2



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



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

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Edward Yunkian Janitra

NRP : 6216100

dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul :

**STUDI KELAYAKAN KONFIGURASI *HEAT INTEGRATED*
REACTIVE DISTILLATION COLUMN UNTUK SINTESIS DME
DENGAN BANTUAN ASPEN PLUS**

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 menanggung sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Bandung, 20 Februari 2021



Edward Yunkian Janitra

(2016620100)

LEMBAR REVISI

JUDUL : STUDI KELAYAKAN KONFIGURASI *HEAT INTEGRATED REACTIVE DISTILLATION COLUMN* UNTUK SINTESIS DME DENGAN BANTUAN ASPEN PLUS

CATATAN :

Telah diperiksa dan disetujui,
Bandung, 22 Februari 2021

Penguji 1



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

Penguji 2



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

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian berjudul “Studi Kelayakan Konfigurasi *Heat Integrated Reactive Distillation Column* untuk Sintesis DME dengan Bantuan Aspen Plus” tepat pada waktunya. Penulisan laporan penelitian ini mendapatkan banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Budi Husodo Bisowarno, M.Eng. dan I Gede Pandega Wiratama, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dalam menyusun proposal ini.
2. Keluarga penulis yang selalu mendoakan dan mendukung penulis, baik secara moral maupun material.
3. Seluruh teman-teman penulis, Jovita Irma A., Michelle Leo, Andriessi Putri, Andrea N., Pramesty Eko W., Margaretha Regina, teman-teman di HIP HIP HURRAY, dan masih banyak lagi yang tidak bisa disebutkan satu per satu baik yang berada di dalam maupun di luar keluarga besar Program Studi Teknik Kimia Universitas Katolik Parahyangan, yang selalu mendukung dan menyemangati penulis baik di saat senang maupun susah.
4. Pihak-pihak lain yang telah membantu penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa laporan penelitian ini masih memiliki banyak kekurangan, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Akhir kata, semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandung, 1 Februari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SIMBOL	xiii
INTISARI.....	xv
ABSTRACT	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tema Sentral Masalah.....	3
1.3 Identifikasi Masalah.....	3
1.4 Premis	4
1.5 Tujuan Penelitian	5
1.6 Manfaat Penelitian	5
1.6.1 Bagi Industri.....	5
1.6.2 Bagi Masyarakat.....	6
1.6.3 Bagi Peneliti	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Dimetil Eter.....	7
2.2 Metanol	8
2.3 Sintesis DME	9
2.3.1 Mekanisme Reaksi Eterifikasi Metanol	9
2.3.2 Kinetika Reaksi	10
2.4 Distilasi	11
2.4.1 <i>Reactive Distillation Column</i>	13
2.4.2 <i>Heat-Integrated Distillation Column</i>	17
2.5 Desain <i>Heat-Integrated Reactive Distillation Column</i>	20
2.5.1 Konsep Desain dari HIRDC Tipe VRC	20
2.5.2 Konsep Desain dari HIRDC Tipe SRV.....	22

2.5.3	Prosedur Desain.....	22
2.6	Simulator Aspen Plus.....	27
2.6.1	Jenis Model Kolom Pemisahan pada Aspen Plus	29
BAB 3 METODE PENELITIAN		32
3.1	Prosedur Percobaan.....	32
3.1.1	Pembuatan Konfigurasi Proses RDC & HIRDC.....	32
3.2	Analisis	37
3.3	Lokasi dan Jadwal Kerja Penelitian	37
BAB 4 PEMBAHASAN		38
4.1	Simulasi dan Validasi Sintesis DME dengan RDC	38
4.2	Simulasi dan Analisis Sensitivitas HIRDC tipe VRC.....	40
4.2.1	Pengaruh <i>Compression Ratio</i> Terhadap T_{out} Kompresor, BHP, & Q_{HEAT}	41
4.2.2	Pengaruh <i>Compression Ratio</i> & T_{out} Heater Terhadap $Q_{Integration}$	44
4.2.3	Pengaruh <i>Compression Ratio</i> Terhadap Q_{Cooler}	46
4.2.4	<i>Energy Consumption</i> , <i>Operating Cost</i> , dan TAC	46
4.3	Simulasi dan Analisis Sensitivitas HIRDC tipe SRV	52
4.3.1	Pengaruh Tekanan H-HIRDC Terhadap <i>Energy Consumption</i>	53
4.3.2	Pengaruh Tekanan H-HIRDC Terhadap OC, CI, TAC.....	58
4.4	Evaluasi dan Perbandingan <i>Energy Consumption</i> & TAC	61
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		63
5.1	Kesimpulan	63
5.2	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA.....		64
LAMPIRAN A CONTOH PERHITUNGAN		68
A.1	Perhitungan Biaya RDC Konvensional Sintesis DME	68
A.1.2	Perhitungan <i>Energy Consumption</i>	68
A.1.3	Perhitungan <i>Operating Cost</i>	68
A.1.4	Perhitungan <i>Capital Investment</i> & TAC	68
A.2	Perhitungan Biaya HIRDC skema VRC untuk Sintesis DME.....	70
A.2.1	Perhitungan <i>Energy Consumption</i>	70
A.2.2	Perhitungan OC, CI, dan TAC	71
A.3	Perhitungan Biaya HIRDC skema SRV untuk Sintesis DME	72
A.3.1	Perhitungan CI dan TAC.....	72
LAMPIRAN B HASIL ANTARA		74

B.1 Validasi Data RDC Literatur	74
B.1.1 Hasil Parameter Kolom RD	74
B.1.2 Data Biaya	74
B.2 Hasil Simulasi VRCd	75
B.2.1 Hasil <i>Sensitivity Analysis Q Heater</i>	75
B.2.2 Hasil <i>Sensitivity Analysis Q</i> Masih Dibutuhkan di <i>Reboiler</i>	76
B.2.3 Hasil <i>Sensitivity Analysis Energi Kompresor</i>	78
B.2.4 Hasil <i>Sensitivity Analysis T_{out} Kompresor</i>	80
B.2.5 Hasil <i>Sensitivity Analysis Q Cooling</i>	82
B.2.6 Hasil Data OC	84
B.2.7 Hasil Data CI	85
B.2.8 Hasil Data TAC	87
B.3 Hasil Simulasi SRV	89
B.3.1 Variasi 8 bar	89
B.3.2 Variasi 9 bar	91
B.3.3 Variasi 10 bar	92
B.3.4 Variasi 11 bar	93
B.3.5 Variasi 11,36 bar	94
B.3.6 Variasi 12 bar	96
LAMPIRAN C GRAFIK	98
C.1 Simulasi VRC	98
C.2 Simulasi SRV	103

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gugus Fungsi DME	7
Gambar 2.2 Model Mekanisme Eley-Rideal	10
Gambar 2.3 Model Mekanisme Langmuir-Hinshelwood.....	10
Gambar 2.4 Skema Umum Kolom Distilasi Kontinu Tipe <i>Tray</i>	12
Gambar 2.5 Skema Diagram dari <i>Reactive Distillation Column</i> (Sakhre 2019).....	15
Gambar 2.6 Rangkaian Proses Sintesis DME dari Metanol yang Umum di Industri	15
Gambar 2.7 Konfigurasi Desain untuk Tipe Reaksi (a) I_P , (b) I_R , (c) II_P , (d) II_R , (e) III_P , (f) III_R	17
Gambar 2.8 HIDC Menggunakan <i>Heat Pump</i> Menggunakan: (a) Utilitas Eksternal (b) Distilat (c) <i>Bottom</i>	18
Gambar 2.9 Skema HIDC tipe SRV dengan Dua Kolom.....	19
Gambar 2.10 Konfigurasi Desain RDC untuk Sintesis DME yang Optimal (Bîldea et al. 2017).....	21
Gambar 2.11 Konfigurasi HIRDC untuk reaksi eksotermis tipe I_P	25
Gambar 2.12 Tampilan Utama Aspen Plus	28
Gambar 3.1 Diagram Alir Percobaan	33
Gambar 3.2 Konfigurasi Desain RDC untuk Sintesis DME yang Optimal (Bîldea et al. 2017).....	34
Gambar 3.3 Konfigurasi HIRDC untuk Reaksi Eksotermis Tipe I_P	35
Gambar 4.1 <i>Flowsheet</i> Rancangan RDC pada Aspen Plus	38
Gambar 4.2 <i>Flowsheet</i> Rancangan HIRDC tipe VRC pada Aspen Plus.....	41
Gambar 4.3 Grafik T_{out} Kompresor Terhadap <i>Compression Ratio</i>	42
Gambar 4.4 Grafik Q_{Heater} Terhadap <i>Compression Ratio</i> & $T_{out Heater}$	42
Gambar 4.5 Grafik <i>Brake Horsepower</i> Terhadap <i>Compression Ratio</i>	43
Gambar 4.6 Q Masih Dibutuhkan <i>Reboiler</i> Terhadap <i>Compression Ratio</i> & $T_{out Heater}$..	44
Gambar 4.7 Diagram P-T Campuran DME-Metanol (Chang et al. 1982)	45
Gambar 4.8 Grafik $Q_{Cooling}$ Terhadap <i>Compression Ratio</i>	46
Gambar 4.9 <i>Heating Energy Consumption</i> (kJ/kmol) Skema VRC.....	47
Gambar 4.10 <i>Cooling Energy Consumption</i> (kJ/kmol) Skema VRC.....	47
Gambar 4.11 <i>Compression Energy Consumption</i> (kJ/kmol) Skema VRC.....	48
Gambar 4.12 Nilai <i>Operating Cost</i> pada Simulasi VRC.....	48

Gambar 4.13 <i>Operating Cost</i> Tiap Utilitas Skema VRC	49
Gambar 4.14 <i>Operating Cost/Produk</i> Terhadap <i>Compression Ratio & T_{out} Heater</i>	49
Gambar 4.15 <i>Capital Investment</i> pada Skema VRC	51
Gambar 4.16 TAC pada Skema VRC.....	52
Gambar 4.17 <i>Flowsheet</i> Rancangan HIRDC tipe SRV pada Aspen Plus	52
Gambar 4.18 Profil Temperatur Kolom L-HIRDC	54
Gambar 4.19 Profil Temperatur Kolom H-HIRDC.....	54
Gambar 4.20 Kurva Temperatur-Komposisi Campuran Metanol-Air pada 1 atm (Kato et al. 1970).....	55
Gambar 4.21 Grafik Data <i>Heating Energy Consumption</i> Terhadap Variasi P H-HIRDC ..	56
Gambar 4.22 Grafik Data <i>Cooling Energy Consumption</i> Terhadap Variasi P H-HIRDC ..	56
Gambar 4.23 <i>Brake Horsepower Compressor</i> skema SRV	57
Gambar 4.24 <i>Compression Energy Consumption</i> skema SRV	57
Gambar 4.25 <i>Operating Cost</i> Skema SRV	58
Gambar 4.26 <i>Operating Cost</i> Tiap Utilitas Skema SRV.....	59
Gambar 4.27 <i>Capital Investment</i> Skema SRV	59
Gambar 4.28 TAC Skema SRV.....	61
Gambar C.1 Grafik T _{out} Kompresor Terhadap <i>Compression Ratio</i>	98
Gambar C.2 Grafik Q <i>Heater</i> Terhadap <i>Compression Ratio & T_{out} Heater</i>	98
Gambar C.3 Grafik <i>Brake Horsepower</i> Terhadap <i>Compression Ratio</i>	99
Gambar C.4 Q Masih Dibutuhkan <i>Reboiler</i> Terhadap <i>Compression Ratio & T_{out} Heater</i> .	99
Gambar C.5 Grafik Q <i>Cooling</i> Terhadap <i>Compression Ratio</i>	100
Gambar C.6 <i>Energy Consumption</i> (kJ/kmol) untuk Pemanasan Skema VRC	100
Gambar C.7 <i>Energy Consumption</i> (kJ/kmol) untuk Pendinginan Skema VRC	100
Gambar C.8 <i>Energy Consumption</i> (kJ/kmol) untuk Kompresi Skema VRC	101
Gambar C.9 Nilai <i>Operating Cost</i> pada Simulasi VRC	101
Gambar C.10 <i>Operating Cost</i> Tiap Utilitas Skema VRC.....	101
Gambar C.11 <i>Operating Cost/Produk</i> Terhadap <i>Compression Ratio & T_{out} Heater</i>	102
Gambar C.12 <i>Capital Investment</i> pada Skema VRC.....	102
Gambar C.13 TAC pada Skema VRC	103
Gambar C.14 Profil Temperatur Kolom L-HIRDC.....	103
Gambar C.15 Profil Temperatur Kolom H-HIRDC	104
Gambar C.16 Grafik Data <i>Heat Energy Consumption</i> Terhadap Variasi P H-HIRDC	104

Gambar C.17 Grafik Data <i>Cooling Energy Consumption</i> Terhadap Variasi P H-HIRDC	104
Gambar C.18 <i>Brake Horsepower Compressor</i> skema SRV	105
Gambar C.19 <i>Operating Cost</i> Skema SRV	105
Gambar C.20 <i>Operating Cost</i> Tiap Utilitas Skema SRV	105
Gambar C.21 <i>Capital Investment</i> Skema SRV	106
Gambar C.22 TAC Skema SRV	106
Gambar C.23 <i>Compression Energy Consumption</i> Skema SRV	107

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Fisik DME (Ogawa et al. 2003)	7
Tabel 2.2 Sifat Fisik Metanol (Ott et al. 2012; Reklaitis dan Schneider 1983).....	8
Tabel 2.3 Keuntungan dan Kerugian Proses Distilasi (Doherty et al. 2008; Kizter 1992) .	13
Tabel 2.4 Keuntungan dan Kerugian Proses Distilasi Reaktif	14
Tabel 2.5 Klasifikasi Jenis Reaksi	16
Tabel 2.6 Parameter Desain RD untuk Sintesis DME yang Optimal (Gor et al. 2020)	21
Tabel 2.7 Keterangan Bagian-Bagian pada Tampilan Utama Aspen Plus (AspenTech 2001)	28
Tabel 3.1 Parameter Desain RD untuk Sintesis DME yang Optimal (Bildea et al. 2017) ..	32
Tabel 3.2 Parameter Desain Awal HIRDC.....	36
Tabel 3.3 Jadwal Kerja Penelitian	37
Tabel 4.1 Data Hasil Simulasi dan Data Literatur	39
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Biaya RDC untuk Sintesis DME	39
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Biaya Energi dan Kapital Skema VRC Kondisi Optimal	50
Tabel 4.4 Spesifikasi Desain Kolom L-HIRDC dan H-HIRDC.....	53
Tabel 4.5 Hasil <i>Design Specification</i> Simulasi SRV.....	53
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Biaya Energi dan Kapital Skema SRV Kondisi Optimal	60
Tabel 4.7 Perbandingan Hasil Simulasi Skema RDC, VRC, dan SRV yang Optimal	62

DAFTAR SIMBOL

A	= faktor Arrhenius, $\text{m}^3 \text{kg cat}^{-1} \text{s}^{-1}$
A_{con}	= luas perpindahan panas kondensor, m^2
A_{HI}	= luas perpindahan panas <i>heat exchanger</i> , m^2
A_{reb}	= luas perpindahan panas <i>reboiler</i> , m^2
β	= <i>payback period</i> , tahun
CI	= <i>capital investment</i> , \$
D	= diameter kolom distilasi, m
H_t	= tinggi kolom distilasi, m
E_a	= energi aktivasi, kJ mol^{-1}
ΔH_v	= kalor evaporasi, kJ mol^{-1}
k	= konstanta kecepatan reaksi, $\text{m}^3 \text{kg cat}^{-1} \text{s}^{-1}$
L_n	= laju fasa cair pada <i>tray-n</i> , mol s^{-1}
n	= jumlah <i>stage</i> pada kolom distilasi
n_{HI}	= jumlah <i>heat exchanger</i> yang digunakan
OC	= <i>operating cost</i> , \$ tahun ⁻¹
Q_{HI}	= kalor yang diintegrasikan, kJ s^{-1}
Q_{total}	= besar kebutuhan energi total untuk mengoperasikan unit distilasi selama setahun, kJ tahun^{-1}
R	= konstanta gas ideal, $\text{kJ mol}^{-1} \text{K}^{-1}$
r	= kecepatan reaksi, mol s^{-1}
\mathcal{R}_n	= laju reaksi molar yang terjadi pada <i>tray-n</i> , mol s^{-1}
T	= temperatur operasi, K
ΔT	= perbedaan temperatur antara <i>high-pressure section</i> dan <i>low-pressure section</i> dari HIRDC, K
U	= <i>overall heat-transfer coefficient</i> , $\text{kJ m}^{-2} \text{K}^{-1} \text{s}^{-1}$
S	= luas perpindahan panas total, m^2
TAC	= <i>total annual cost</i> , \$ tahun ⁻¹
V_n	= laju fasa uap pada <i>tray-n</i> , mol s^{-1}

W_{cat} = berat katalis, kg

λ = kalor reaksi, kJ mol^{-1}

INTISARI

Kebutuhan masyarakat akan energi terus meningkat seiring dengan berkembangnya teknologi. Bahan bakar fosil yang selama ini digunakan tidak dapat terus menjadi solusi dalam memenuhi kebutuhan energi dunia karena jumlahnya yang terbatas dan dampaknya yang buruk bagi lingkungan. Solusi lain pun mulai dicari, yakni dengan meneliti berbagai cara untuk menghasilkan bahan bakar alternatif yang tentunya lebih ramah lingkungan. Salah satu bahan bakar alternatif yang berpotensi menggantikan bahan bakar fosil adalah Dimetil Eter (DME). DME pada umumnya dihasilkan melalui reaksi eterifikasi metanol dengan menggunakan sebuah reaktor yang dilanjutkan dua kolom distilasi. Akan tetapi, proses ini membutuhkan energi, biaya kapital, dan biaya operasi yang sangat besar. Oleh karena itu, telah dilakukan berbagai jenis penelitian untuk mendapatkan konfigurasi yang paling menguntungkan apabila produksi DME dalam jumlah yang banyak ingin dilakukan.

Penelitian ini mendesain dan melakukan simulasi konfigurasi *heat integrated reactive distillation column* (HIRDC) tipe VRC dan SRV untuk sintesis DME dan menganalisa pengaruhnya terhadap *energy consumption* dan TAC apabila dibandingkan terhadap penggunaan RDC. Pada skema SRV, skema dari literatur dimodifikasi agar menjadi lebih sederhana. Desain dan simulasi dibantu dengan *software* ASPEN Plus dengan model RadFrac dan model termodinamika Wilson untuk fasa cair dan Redlich-Kwong untuk fasa uap. Desain RDC dilakukan terlebih dahulu dengan menggunakan parameter desain dari literatur dan uji validitas dilakukan. Setelah itu, perancangan skema VRC dilakukan dengan bervariasi rasio kompresi dan $T_{out\ Heater}$, sedangkan pada skema SRV tekanan operasi *high-pressure section* divariasikan dan simulasi dan perhitungan dilakukan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa skema VRC tidak cocok untuk diaplikasikan pada sintesis DME karena ΔT distilat dan *bottom* yang terlalu besar dan agar dapat terjadi integrasi diperlukan pemanasan hingga temperatur dan tekanan yang merupakan kondisi kritik DME, sehingga kalor yang dapat diintegrasikan terlalu kecil karena perubahan fasa DME sulit dilakukan. Nilai TAC terkecil didapatkan pada variasi rasio kompresi 2 dan $T_{out\ Heater}$ 200°C dengan nilai \$7.499.932,96/tahun, yakni meningkat 92,67%. Di sisi lain, skema SRV yang dimodifikasi dapat menyebabkan penghematan biaya energi hingga 3,12% pada variasi 12 bar dibandingkan skema RDC, dengan nilai \$2.891.654,86/tahun. Akan tetapi, tidak terjadi penghematan TAC dengan nilai sebesar \$5.222.523,60/tahun atau meningkat 34,17%.

Kata kunci: *DME, energy consumption, heat integrated reactive distillation column*

ABSTRACT

People's needs of energy keeps increasing along with the development of technology. Fossil fuels that we've used can't always be the solution for our needs of energy due to its limited sources and their bad influence to environment. Other alternative fuels are being researched to find better solutions with lesser implication to environment. One of the more promising alternatives is Dimethyl Ether (DME). In general, DME can be obtained by methanol etherification reaction with a reactor and two distillation column. However, this process needs high energy and capital cost to operate. Therefore, various researches have been conducted to acquire the most beneficial configuration especially when a large capacity is preferred.

This research designed and simulated a configuration of Vapor Recompression Column (VRC) and Secondary Reflux and Vaporization Column (SRV) for DME synthesis, which are types of Heat Integrated Reactive Distillation Column. Simulations were conducted to analyze their impact on energy consumption and TAC. The design configuration of SRV was modified to a simple format. The Radfrac feature in Aspen Plus was used to help the design and simulation. Wilson thermodynamic model was used for liquid phase while Redlich-Kwong equation of state was used to represent gas phase. Conventional RDC was designed first by following the design parameters from literature to check its validity. After that, VRC was designed and simulated by varying compression ratio and $T_{\text{out Heater}}$ whereas SRV was simulated by varying pressure column of high-pressure section. Lastly, TAC calculation was performed.

The results showed that VRC is not appropriate to be used for DME synthesis considering its large temperature difference between distillate and bottom that consequently will need higher compression to reach the minimum temperature for heat integration. This leads to DME product heated to its critical state, thus making it harder for it to change phase into liquid resulting in low amount of heat that could be integrated. The lowest amount of TAC was reached at compression ratio 2 and $T_{\text{out Heater}} 200^{\circ}\text{C}$ with a value of \$7,499,932.96/year (92.67% more expensive). On the other hand, the modified SRV model could reduce energy cost for 3.12% at 12 bar variation compared to conventional RDC, which amounts to \$2,891,654.86/year. Unfortunately, TAC couldn't be minimized with the amount obtained was \$5,222,523.60/year (34.17% more expensive).

Keywords: DME, energy consumption, heat integrated reactive distillation column

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring perkembangan industri yang sangat cepat, kebutuhan energi juga semakin meningkat. Menurut *International Energy Agency*, kebutuhan energi dunia meningkat sebesar 2,3% pada tahun 2018 (*International Energy Agency* 2019). Selain itu, data yang disediakan oleh BPH Migas juga menunjukkan peningkatan jumlah pemakaian total kerosene dan solar setiap provinsi di Indonesia hingga tahun 2018 (Badan Pengatur Hilir Minyak dan Gas Bumi 2019). Tidak hanya itu, data dari BPH Migas juga melanjutkan bahwa pada setengah tahun pertama pada tahun 2019, realisasi konsumsi pemakaian bahan bakar telah melebihi setengah dari kuota yang tersedia pada tahun itu (Issetiabudi 2019). Akan tetapi, penggunaan bahan bakar fosil yang selama ini digunakan tidak dapat terus menjadi solusi dari kebutuhan energi yang terus meningkat dengan cepat ini karena ketersediaannya yang terbatas dan emisi dari pembakaran bahan bakar fosil tersebut dapat memperburuk masalah *global warming* yang masih terus memburuk hingga saat ini. Oleh karena itu, pencarian bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan menjadi topik penelitian yang ditekuni oleh banyak orang (Katurcioglu dan Celik 2019).

Dimetil Eter (DME) merupakan gas tidak berwarna yang non-toksik atau tidak berbahaya yang dapat menjadi pengganti LPG karena sifat fisika-kimianya yang sangat mirip. DME juga dapat menggantikan bahan bakar diesel karena angka *cetane* yang tinggi. Hal yang menarik dari DME adalah emisi hasil pembakarannya menghasilkan kandungan karbon monoksida yang sangat rendah pada mesin diesel yang disebabkan tidak adanya ikatan C – C pada struktur molekulnya. Gas hasil emisi tersebut dapat terdekomposisi dengan mudah di lingkungan sehingga sangat ramah lingkungan (Sun et al. 2014).

Penelitian yang lebih mendalam dalam produksi DME perlu dilakukan agar DME dapat diproduksi dalam jumlah yang banyak untuk memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat setiap tahunnya. DME dapat disintesis melalui eterifikasi metanol. Metanol tersebut dapat dihasilkan dengan mereaksikan *synthesis gas* dengan memanfaatkan hidrogen yang terdapat di dalamnya agar terjadi reaksi hidrogenasi (Mollavali et al. 2008). *Synthesis gas* tersebut dapat dihasilkan melalui gasifikasi menggunakan *steam* bersuhu tinggi pada bahan biomassa seperti kayu (Hiblot et al. 2016). Proses sintesis DME tersebut masih belum cukup efisien karena kebutuhan biaya kapital yang besar dan kebutuhan energi proses

tersebut yang masih relatif tinggi. Biaya kapital yang besar itu disebabkan oleh kebutuhan unit reaktor untuk menjalankan proses sintesis dan unit pemisahan berupa kolom distilasi untuk memisahkan DME dari produk samping lainnya pada proses konvensional yang sekarang ini diaplikasikan pada industri-industri. Proses yang konvensional itu juga masih belum efisien secara termal karena proses sintesis DME dari metanol merupakan reaksi eksotermis dan pada proses sintesis secara konvensional kalor yang dihasilkan tersebut tidak dimanfaatkan lebih lanjut. Di sisi lain, proses pemisahan dilakukan menggunakan unit distilasi yang membutuhkan utilitas pemanas dan pendingin pada *reboiler* dan kondensor.

Seiring berkembangnya teknologi di industri, mulai muncul berbagai penelitian untuk memodifikasi proses sintesis tersebut agar kebutuhan energi untuk memproduksi DME dapat berkurang dalam jumlah yang signifikan. Modifikasi tersebut adalah menggabungkan unit reaksi dengan unit distilasi menggunakan *reactive distillation column* (RDC), sehingga panas dari reaksi eksotermis dapat diintegrasikan secara langsung sebagai kalor untuk proses pemurnian produk DME. Aplikasi RDC ini terbukti dapat menghemat biaya kapital hingga 30% dan dapat menghemat pemakaian energi hingga 6% (Bildea et al. 2017).

Penelitian lebih lanjut untuk mengurangi kebutuhan energi tambahan dalam unit pemisahan RDC tersebut dilakukan agar biaya operasional yang disebabkan oleh kebutuhan utilitas pemanas dan pendingin dapat dikurangi. Alternatif yang selanjutnya diberikan adalah pemakaian *heat-integrated reactive distillation column* (HIRDC). HIRDC sendiri memiliki beberapa macam variasi skema yang dapat digunakan, salah satunya yang sering menjadi pusat perhatian sekarang ini adalah *Vapor Recompression Column* (VRC) dan *Secondary Reflux and Vaporization* (SRV). Akan tetapi, tidak jarang HIRDC tipe VRC tidak dapat menjadi solusi yang baik dalam menghemat energi ataupun biaya investasi karena adanya penambahan biaya kapital dan biaya energi listrik untuk kompresi yang tidak kecil. Sementara itu di sisi lain, HIRDC tipe SRV memiliki prosedur desain dan parameter yang sangat rumit dan belum pernah diaplikasikan secara langsung pada industri-industri yang ada sekarang ini karena masih diperlukannya penelitian lebih lanjut terhadap rancangan HIRDC tersebut. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terlebih dahulu seberapa efektif pemakaian konfigurasi-konfigurasi tersebut untuk proses yang dimiliki sebelum benar-benar diaplikasikan di industri tersebut. Selain itu, beberapa modifikasi juga

akan dilakukan terhadap skema umum HIRDC yang biasa ditemukan di jurnal-jurnal agar aplikasinya pada sintesis DME dapat lebih mudah dilakukan.

Simulator Aspen Plus digunakan untuk membantu perhitungan parameter-parameter rancangan model HIRDC yang dibuat tersebut, terutama untuk mengamati pengaruhnya terhadap kebutuhan energi proses sintesis DME. Pada konfigurasi VRC, panas dari produk uap atas kolom akan digunakan untuk memanaskan *reboiler* dan diselidiki pengaruhnya terhadap penghematan energi, sedangkan pada konfigurasi SRV yang akan diselidiki adalah apabila zona reaksi berada di *high pressure column* saja. Penelitian ini dilakukan untuk menunjukkan apakah intensifikasi menggunakan kedua konfigurasi *heat-integration* tersebut memberikan pengaruh yang besar dalam meminimalkan nilai TAC karena konfigurasi tersebut cenderung membutuhkan biaya kapital yang lebih besar karena adanya penggunaan kompresor dan/atau *heat pump* (Doherty et al. 2008).

1.2 Tema Sentral Masalah

Tema sentral penelitian ini adalah perbandingan hasil simulasi sintesis DME menggunakan konfigurasi RDC dengan penggunaan konfigurasi desain HIRDC tipe VRC dan SRV yang telah dimodifikasi menggunakan Aspen Plus dilihat dari sisi *energy consumption* dan TAC.

1.3 Identifikasi Masalah

1. Bagaimana rancangan konfigurasi HIRDC tipe VRC dan SRV dalam Aspen Plus menggunakan model RadFrac?
2. Bagaimana pengaruh rasio kompresi dari kompresor dan suhu distilat yang digunakan untuk pemanasan *reboiler* pada rancangan HIRDC tipe VRC terhadap kebutuhan energi?
3. Bagaimana pengaruh tekanan operasi pada *high pressure section* pada rancangan HIRDC tipe SRV terhadap kebutuhan energi?
4. Bagaimana perbandingan kebutuhan energi dari kedua model HIRDC terhadap model RDC? Apakah kedua model HIRDC tersebut menjadi inovasi yang dapat mengurangi kebutuhan energi dengan penambahan biaya TAC yang tidak terlalu signifikan untuk sintesis DME pada kapasitas produksi yang besar?

1.4 Premis

1. Model termodinamika yang digunakan untuk reaksi sintesis DME adalah Redlich-Kwong untuk fasa uap (Gor, Mali, dan Joshi 2020). Model termodinamika untuk fasa cair adalah Wilson karena sistem yang mengandung alkohol dengan berat molekul yang ringan dengan jumlah atom karbon tidak lebih dari tiga sangat cocok dipresentasikan menggunakan Wilson (Walas 1985).
2. Sintesis DME dilakukan melalui reaksi eterifikasi metanol (Bozga, Apan, dan Bozga 2013; Lei et al. 2011; Moradi et al. 2011), yaitu:
$$2\text{CH}_3\text{OH} \leftrightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$$
3. Perancangan dan simulasi HIRDC tipe VRC dilakukan menggunakan simulator Aspen Plus dengan model kolom RadFrac, seperti perancangan HIRDC yang sudah dilakukan sebelumnya untuk sintesis produk lain (Alcántara-Avila et al. 2014; Contreras-Zarazúa et al. 2017; Harwardt dan Marquardt 2012). Perancangan simulasi HIRDC tipe SRV untuk sintesis DME belum pernah dilakukan.
4. Perancangan dan simulasi HIRDC tipe SRV dilakukan menggunakan simulator Aspen Plus dengan model kolom RadFrac, seperti perancangan HIRDC yang sudah dilakukan sebelumnya untuk sintesis produk lain (Kiss 2011; Olujić et al. 2006; Sakhre 2019). Perancangan simulasi HIRDC tipe SRV untuk sintesis DME belum pernah dilakukan.
5. Desain RDC untuk sintesis DME akan menggunakan katalis yang memiliki aktivitas yang tinggi pada suhu yang tidak terlalu tinggi, yaitu katalis resin Amberlyst 35 (Azizi et al. 2014; Bîldea et al. 2017; Hosseininejad, Afacan, dan Hayes 2012).
6. Jumlah tahap pada rancangan RDC untuk sintesis DME adalah 54 tahap, dengan tahapan reaktif berada pada tahap 9-42 dan *feed* berada pada tahap 9 (Bîldea et al. 2017).
7. Rasio refluks molar pada rancangan RDC untuk sintesis DME adalah sebesar 6,177 dengan laju distilat dan *bottom* masing-masing sebesar 273 kmol/jam dengan kemurnian DME pada distilat dan air pada *bottom* masing-masing sebesar 99,99%-wt dan 99,97%-wt (Bîldea et al. 2017).
8. Desain HIRDC tipe VRC pada penelitian yang dilakukan oleh Alcántara-Avila et al. (2014) dan Contreras-Zarazúa et al. (2017) dilakukan dengan menggunakan panas dari produk uap atas untuk memanaskan *reboiler* dengan sebelumnya

dikompresi terlebih dahulu. Proses simulasi tersebut dilakukan dengan menggunakan *pseudo stream* pada Aspen Plus (Alcántara-Avila et al. 2014; Contreras-Zarazúa et al. 2017).

9. Desain HIRDC tipe SRV pada penelitian yang dilakukan oleh Jiao et al. (2020) dilakukan dengan membagi kolom distilasi menjadi dua, yaitu *high pressure section* dan *low pressure section*. Tekanan pada *low pressure section* sudah ditetapkan terlebih dahulu, sedangkan tekanan pada *high pressure section* menjadi variabel yang dicari agar kemurnian dari produk mencapai 99,9%-mol (Jiao et al. 2012).

1.5 Tujuan Penelitian

1. Mempelajari metode perancangan HIRDC tipe VRC dan SRV pada sintesis DME menggunakan bantuan simulator Aspen Plus dengan model RadFrac.
2. Merancang HIRDC tipe VRC dan SRV yang telah dimodifikasi untuk sintesis DME dari metanol dan melakukan simulasi proses pada Aspen Plus yang dilanjutkan dengan membandingkan jumlah kebutuhan energi dan menghitung besar kebutuhan TAC.
3. Mengetahui pengaruh rasio kompresi dan suhu distilat yang digunakan untuk pemanasan *reboiler* pada konfigurasi HIRDC tipe VRC terhadap kebutuhan energi pada kolom distilasi.
4. Mengetahui pengaruh tekanan, khususnya pada kolom *high pressure section* pada konfigurasi HIRDC tipe SRV terhadap kebutuhan energi pada kolom distilasi.
5. Menganalisa kebutuhan energi dan TAC pada penggunaan kedua model HIRDC dan membandingkannya dengan penggunaan model RDC pada sintesis DME.

1.6 Manfaat Penelitian

1.6.1 Bagi Industri

Penelitian ini dapat memberikan gambaran bagi industri-industri yang ingin memproduksi DME dengan kapasitas yang besar akan pengaruh yang diberikan dari pemakaian salah satu atau kedua konfigurasi HIRDC terhadap pemakaian energi yang memengaruhi *manufacturing cost* dan besar biaya kapital karena konfigurasi yang lebih rumit daripada konfigurasi RDC biasa. Apabila pemakaian kedua konfigurasi HIRDC dapat membuat pemakaian utilitas pemanas menjadi jauh berkurang dengan besar TAC yang tidak meningkat terlalu tajam, maka tentunya konfigurasi ini dapat menjadi salah satu opsi yang

baik bagi industri-industri penghasil DME yang ingin mengembangkan proses sintesisnya agar menjadi lebih efisien. Penelitian ini juga menyediakan perbandingan penggunaan konfigurasi HIRDC tipe VRC dan SRV untuk sintesis DME yang menjadi pertimbangan dasar bagi industri-industri dalam memilih skema yang lebih efisien untuk digunakan. Selain itu, berkembangnya proses sintesis DME yang semakin efisien juga akan meningkatkan ketersediaan DME sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan bagi industri.

1.6.2 Bagi Masyarakat

Penelitian ini dapat berkontribusi dalam meningkatkan ketersediaan DME sebagai bahan bakar. Ketersediaan DME yang semakin meningkat sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan akan membantu mengurangi pencemaran lingkungan karena penggunaan bahan bakar fosil. Selain itu, DME juga dapat menjadi solusi dari kebutuhan bahan bakar yang terus meningkat. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, ketersediaan bahan bakar fosil terus menipis, sedangkan DME merupakan bahan bakar yang dapat diperbaharui.

1.6.3 Bagi Peneliti

Setelah melakukan penelitian ini, peneliti dapat melakukan intensifikasi proses sintesis DME melalui perancangan HIRDC tipe VRC dan SRV. Peneliti juga dapat melakukan perancangan dan simulasi kedua model HIRDC menggunakan Aspen Plus.