



***FIXED BED MULTITUBE REACTOR DESIGN* PADA PABRIK 1,3-
BUTADIENA DENGAN PROSES DEHIDROGENASI N-BUTANA
KAPASITAS 93.000 TON/TAHUN**

Skripsi

**Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana
Teknik Program Studi Teknik Kimia**

Oleh

Luluk Isaroyati

52134156005

**TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2020**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Luluk Isaroyati
NIM : 5213416005
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Fixed Bed Multitube Reactor Design pada Pabrik
1,3-Butadiena dengan Proses Dehidrogenasi N-Butana
Kapasitas 93.000 Ton/Tahun.

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 14 September 2020
Pembimbing



Ria Wulansarie, S.T., M.T.
NIP. 199001272015042001

HALAMAN PENGESAHAN

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul "*Fixed bed multitube Reactor Design pada Pabrik 1,3-Butadiena dengan Proses Dehidrogenasi N-Butana Kapasitas 93.000 Ton/Tahun*" telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 28 September 2020.

Oleh

Nama : Luluk Isaroyati
NIM : 5213416005
Program Studi : Teknik Kimia

Panitia

Ketua

Dr. Dewi Selvia F., S.T., M.T.
NIP. 197103161999032002

Sekretaris

Dr. Megawati, S.T., M.T.
NIP. 1972110620060042001

Penguji

Dr. Dewi Selvia F., S.T., M.T.
NIP. 197103161999032002

Penguji

Dr. Widi Astuti, S.T., M.T.
NIP. 197310172000032001

Pembimbing

Ria Wulansarie, S.T., M.T.
NIP. 199001272015042001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik



Dr. Nur Qudus, M.T., IPM
NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

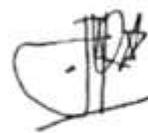
PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapat gelar akademik (sarjana, magister dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik ataupun sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 14 September 2020

Yang membuat pernyataan,



Luluk Isaroyati

NIM. 5213416005

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“Jika kamu ingin bahagia, terikatlah pada tujuan, bukan orang atau benda”, Luluk
Isaroyati

PERSEMBAHAN

1. Bapak, Ibu, Kakak, Adik dan seluruh keluarga tercinta.
2. Seluruh Dosen Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang.
3. Teman-teman seperjuangan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang
Angkatan 2016.
4. Perkembangan ilmu dan pengetahuan teknologi Bangsa dan Negara
Indonesia.
5. Almamater Universitas Negeri Semarang.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Skripsi dengan judul “Prarancangan Pabrik 1,3-Butadiena dengan Proses Dehidrogenasi N-Butana Kapasitas 93.000 Ton/Tahun”.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis memperoleh banyak bantuan baik berupa moral maupun spiritual dari berbagai pihak, oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman M. Hum., Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang
2. Dr. Nur Qudus, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. Dewi Selvia Fardhyanti, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang dan Dosen Penguji 1 yang telah memberikan masukan dan pengarahan dalam penyempurnaan skripsi ini.
4. Ria Wulansarie, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah berkenan meluangkan waktunya serta penuh kesabaran memberikan bimbingan, dukungan secara moril maupun materil, dengan pengarahan dalam penyusunan skripsi ini.
5. Zuhriyan Ash Shiddieqy Bahlawan, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji 2 yang telah memberikan masukan dan pengarahan dalam penyempurnaan skripsi ini.
6. Semua dosen Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNNES yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
7. Kedua Orang tua dan keluarga atas dukungan doa, materi, dan semangat yang senantiasa diberikan tanpa kenal lelah.
8. Teman-teman Teknik Kimia Angkatan 2016 serta semua pihak yang telah memberikan semangat dan dukungan sehingga kami dapat menyelesaikan Skripsi.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun, guna menjadikan Skripsi ini lebih baik.

Semarang, 15 September 2020

Penulis

ABSTRAK

Isaroyati, Luluk. 2020. berjudul “*Fixed bed multitube Reactor Design* pada Pabrik 1,3-Butadiena dengan Proses Dehidrogenasi N-Butana Kapasitas 93.000 Ton/Tahun”. Skripsi. Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Ria Wulansarie, S.T., M.T

Salah satu industri yang memiliki peran penting di Indonesia adalah industri kimia. Salah satu produksi dari industri kimia yang cukup menguntungkan adalah industri karet sintetis yang terbuat dari senyawa 1,3-Butadiena. Saat ini Indonesia masih banyak melakukan impor 1,3-butadiena untuk memenuhi kebutuhan industri kimia dalam negeri. Sehingga, perlu didirikan pabrik 1,3-butadiena didalam negeri. Prarancangan pabrik 1,3-butadiena dirancang dengan proses dehidrogenasi n-butana menggunakan katalis $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{VO}$ dan ZnFe_2O_4 . Proses ini menggunakan bahan berupa n-butana dengan alat utama berupa *furnace, reactor, distillation column, absorber, dan heat exchanger*. Penelitian prarancangan pabrik ini berfokus pada desain reaktor. Treaktor yang digunakan adalah reaktor *fixed bed multitube* dengan kondisi operasi tekanan 2 atm dan suhu masuk 350°C . Prarancangan ini menggunakan metode *Runge-Kutta* orde empat. Hasil dari perhitungan didapatkan suhu keluaran reaktor 350°C , diameter shell 5,9301 m, tinggi 9,2040 m, jumlah tube sebanyak 1.563 tube, dan volume reaktor sebesar $217,7765 \text{ m}^3$.

Kata kunci: 1,3-Butadiena, Reaktor *fixed bed multitube*, Metode *Runge-Kutta*

DAFTAR ISI

Skripsi	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Rumusan Masalah	5
1.5 Tujuan Penelitian.....	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Senyawa 1,3-Butadiena	7
2.2 Pembuatan 1,3-Butadiena dengan Proses Dehidrogenasi N-butana.....	8
2.2.1 Dasar Reaksi.....	8
2.2.2 Kondisi Operasi.....	9
2.2.3 Uraian Proses	11
2.3 Reaktor Fixed bed multitube	13
2.4 Metode <i>Runge-Kutta</i> Orde Empat	15
BAB III METODE PENELITIAN.....	16
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	16
3.2 Alat dan Bahan	16
3.3 Prosedur Penelitian	16
3.3.1 Menurunkan Persamaan Matematis dalam Reaktor.....	16

3.3.2	Memodelkan persamaan matematis ke dalam persamaan <i>Runga-Kutta</i> Orde 4	17
3.3.3	Menghitung Dimensi Reaktor	17
3.3.4	Menghitung Waktu Tinggal	17
3.3.5	Menghitung Tebal Isolasi.....	17
3.3.6	Menghitung Pipa Masukkan dan Pipa Pengeluaran.....	18
3.4	Diagram Alir Metode Penelitian.....	19
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	20
4.1	Menentukan Jenis Reaktor	22
4.2	Menentukan Bahan Kontruksi.....	22
4.3	Menentukan Kondisi Umpan	22
4.4	Menghitung Densitas Umpan.....	23
4.5	Menghitung Viskositas Umpan.....	25
4.6	Menghitung Konduktivitas Umpan (k)	26
4.7	Menghitung Kapasitas Panas Umpan (Cp)	27
4.8	Sifat Fisis Pendingin	28
4.9	Spesifikasi <i>Tube</i>	29
4.10	Perhitungan Jumlah <i>Tube</i>	30
4.11	Spesifikasi <i>Shell</i>	31
4.12	Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Dalam <i>Tube</i>	33
4.13	Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas antara Luar dan Dalam <i>Tube</i> 33	
4.14	Perhitungan Koefisien Perpindahan diluar <i>Tube</i>	34
4.15	Faktor Kekotoran (R_D)	34
4.16	Perhitungan Perpindahan Panas <i>Overall Clean</i> (U_C)	34
4.17	Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas <i>Overall Design</i>	34
4.18	Menghitung Panjang <i>Tube</i>	35
4.19	Hasil Perhitungan Reaktor	41
BAB V	PENUTUP.....	53
5.1	Kesimpulan.....	53
5.2	Saran	53

DAFTAR PUSTAKA	54
----------------------	----

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Neraca Massa di Sekitar Reaktor 2 (R-102)	20
Tabel 4.2 Data perhitungan Berat Massa Rata-rata Umpan.....	23
Tabel 4.3 Data Densitas masing-masing Komponen	24
Tabel 4.4 Data Densitas masing-masing Komponen	24
Tabel 4.5 Data Perhitungan Viskositas	26
Tabel 4.6 Data Perhitungan Konduktivitas	27
Tabel 4.7 Data Perhitungan Kapasitas Umpan Panas	28
Tabel 4.8 Konstanta Kapasitas Panas <i>Dowtherm A</i>	28
Tabel 4.9 Hubungan Koefisien Transfer Panas dan Diameter Katalis.....	29
Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Panjang Tube.....	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian	19
Gambar 4.1 Sketsa Reaktor	21
Gambar 4.2 Susunan Pipa <i>Triangular Pitch</i>	31
Gambar 4.3 Perhitungan Konversi dan Panjang Reaktor.....	38
Gambar 4.4 Sketsa <i>Head</i> Reaktor	45

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor perindustrian di Indonesia mengalami perkembangan yang sangat pesat dalam beberapa waktu terakhir. Salah satu industri yang memiliki peran penting di Indonesia adalah industri kimia. Industri kimia merupakan industri yang bertugas mengolah serta memproduksi bahan baku menjadi bahan setengah jadi ataupun bahan jadi. Sehingga, industri ini menjadi industri unggulan tingkat nasional yang berkontribusi banyak bagi pertumbuhan ekonomi di Indonesia. Salah satu produksi dari industri kimia yang cukup menguntungkan adalah industri karet sintetis. Selama ini penggunaan karet alam mulai tergeser oleh karet sintetis karena mempunyai sifat lebih tahan panas, cuaca, dan minyak (Nuyah, 2011). Karet sintetis terbuat dari senyawa butadiena (Nasruddin, 2018).

Senyawa 1,3-Butadiena dengan rumus kimia $\text{CH}_2=\text{CH}$ mempunyai nama lain yaitu *buta-1,3-diene*, *biethylene*, *erythrene*, *divynil*, *vinilethylene*, sedangkan nama IUPAC dari senyawa ini adalah 1,3-Butadiena yang mempunyai sifat tidak berwarna, tidak korosif, dan mudah terbakar dalam kondisi ruangan (Wibowo, 2011). Butadiena digunakan untuk pembuatan bahan kimia seperti 4-*Vinylcyclohexene* dan *cycloalkenes*, selain itu dalam polimerisasi menghasilkan stirena-butadiena lateks digunakan untuk karpet, selang dan segel gasket (American Chemistry Council, 2019). Senyawa butadiena dalam industri digunakan sebagai bahan baku pabrik polimer seperti synthetic rubbers atau elastomer, *styrene butadiene rubber*, *polybutadiene rubber* (PBR), *polychloropene* (neoprene) dan *nitrile rubber* (NR) (American Chemistry

Council, 2019). Menurut Trade Map kebutuhan butadiena di Indonesia dari tahun 2014-2018 mengalami peningkatan yaitu 16.373.644 - 30.514.773 ton/tahun. Pabrik 1,3-Butadiena yang sudah didirikan di Indonesia hanya satu yaitu PT Petrochemical Butadiene Indonesia anak perusahaan dari PT Chandra Astri Petrochemical. Bahan baku butadiena yang terbuat dari n-butana diperoleh dari PT Badak LNG Bontang dengan kapasitas produksi 1,2 juta ton/tahun (PT Badak LNG, 2018). Berikut merupakan pertimbangan didirikannya pabrik 1,3-butadiena adalah:

1. Memenuhi kebutuhan dalam negeri sekaligus mengurangi ketergantungan impor 1,3-butadiena.
2. Membuka peluang dan pengembangan industri-industri yang menggunakan bahan baku 1,3-butadiena.
3. Menambah pendapatan negara sekaligus membuka lapangan pekerjaan baru.

Pembuatan 1,3-butadiena terdapat beberapa proses yang bisa dilakukan yaitu proses dehidrogenasi n-butana dan n-butena, pirolisis hidrokarbon (*Thermal Cracking*) nafta, dan dehidrogenasi etanol. Dari ketiga proses tersebut dipilih proses dehidrogenasi n-butana dan n-butena karena tekanan yang digunakan rendah, memiliki konversi dan selektivitas yang tinggi, serta pemanfaatan bahan baku n-butana masih belum optimal. Pembuatan 1,3-butadiena dengan proses dehidrogenasi n-butana dan n-butena paling banyak digunakan pada industri seperti Evonik Chemical Company, INEOS Chemical Company, dan Lyondellbasell Industries, dimana ketiga pabrik tersebut terletak di Jerman (Alibaba, 2020).

Pembuatan 1,3-butadiena dengan proses dehidrogenasi n-butana beroperasi pada tekanan 3 atm dan suhu operasi 300-600°C yang melalui dua tahap reaksi. Reaksi pertama merupakan reaksi dehidrogenasi non oksidatif n-butana menjadi n-butena dengan bantuan katalis *chromium vanadium* ($\text{Cr}_2\text{O}_3\text{VO}$) terjadi pada kondisi operasi tekanan 3 atm dan suhu 550°C dengan sifat reaksi endotermis dan reversibel menggunakan reaktor *fixed bed*. Sedangkan, reaktor *fixed bed multitube* digunakan pada reaksi kedua yaitu reaksi dehidrogenasi oksidatif n-butena menjadi 1,3-butadiena dengan bantuan katalis *zinc ferrit* (ZnFe_2O_4) pada tekanan 2 atm dan suhu 350°C, dimana sifat reaksi ini eksotermis dan irreversibel. Reaksi dioperasikan pada reaktor secara *isothermal*, dimana suhu dijaga pada 350°C sehingga dibutuhkan pendingin berupa *dowtherm* untuk menjaga suhu reaktor. Reaktor *fixed bed multitube* digunakan karena dapat mengoptimalkan proses perpindahan panas pada reaktor dan mengurangi kemungkinan terjadinya hotspot pada katalis.

Reaksi yang terjadi sangat berpengaruh dalam menentukan dimensi reaktor terutama tinggi dari reaktor tersebut. Untuk mengetahui tinggi reaktor yang digunakan perlu dilakukan perhitungan model matematis terhadap konversi reaksi yang diinginkan. Beberapa perhitungan model matematis yang pernah digunakan diantaranya metode integrasi numerik seperti *trapezoidal*, *simpson*, metode *Euler*, dan metode *Runge-Kutta* (Hurol, 2013). Dari berbagai metode permodelan matematis tersebut, yang paling efektif dan paling akurat adalah metode *Runge-Kutta* (Hurol, 2013). Metode *Runge-Kutta* terdiri dari 4 jenis, yaitu orde satu, orde dua, orde tiga, dan orde empat. Dari keempat jenis tersebut

dipilih metode *Runge-Kutta* orde empat karena merupakan model yang paling terbaru dan memiliki akurasi tinggi daripada model yang lain (Hurol, 2013).

Oleh karena itu, pada penelitian prarancangan pabrik 1,3-butadiena dengan proses dehidrogenasi n-butana kapasitas 93.000 ton/tahun digunakan metode *Runge-Kutta* orde empat dalam mendesain panjang tube pada reaktor *fixed bed multitube*.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan diatas maka dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut:

1. Bahan baku 1,3-Butadiena merupakan bahan kimia penting yang masih banyak dibutuhkan di Indonesia. Keberadaan pabrik 1,3-butadiena terdapat di Indonesia hanya satu, namun masih belum cukup untuk memenuhi kebutuhan tersebut sehingga masih impor dari negara lain.
2. Reaktor *fixed bed multitube* merupakan alat penting pada pembuatan n-butena menjadi 1,3-butadiena dengan bantuan katalis *zinc ferrit* ($ZnFe_2O_4$).

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini perlu dilakukan pembatasan masalah agar permasalahan tidak meluas dan dapat dibahas secara mendalam pada penelitian ini, meliputi:

1. Reaktor *fixed bed multitube* adalah alat yang akan dirancang pada penelitian ini.
2. Digunakan metode *Runge-Kutta* orde empat dalam mendesain tinggi reaktor *fixed bed multitube*.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dapat dikemukakan rumusan masalah yang tepat sebagai berikut:

1. Bagaimana proses perancangan reaktor *fixed bed multitube* pada pabrik 1,3-butadiena kapasitas 93.000 ton/tahun?
2. Bagaimana cara mengaplikasikan metode *Runge-Kutta* orde empat pada proses perancangan tinggi reaktor *fixed bed multitube* pada pabrik 1,3-butadiena kapasitas 93.000 ton/tahun?
3. Bagaimana hasil perancangan reaktor *fixed bed multitube* pada pabrik 1,3-butadiena kapasitas 93.000 ton/tahun?

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui proses perancangan reaktor *fixed bed multitube* pada pabrik 1,3-butadiena kapasitas 93.000 ton/tahun.
2. Mengaplikasikan metode *Runge-Kutta* orde empat pada proses perancangan tinggi reaktor *fixed bed multitube* pada pabrik 1,3-butadiena kapasitas 93.000 ton/tahun.
3. Menganalisis hasil perancangan reaktor *fixed bed multitube* pada pabrik 1,3-butadiena kapasitas 93.000 ton/tahun?

1.6 Manfaat Penelitian

1. Memberikan kontribusi dan wawasan dibidang perancangan alat reaktor *fixed bed multitube* dalam industri kimia.

2. Dapat mengaplikasikan penggunaan metode *Runge-Kutta* orde empat dalam menyelesaikan persamaan *differential* pada perancangan reaktor *fixed bed multitube*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Senyawa 1,3-Butadiena

Senyawa 1,3-butadiena terdapat dalam dua bentuk isomer yaitu 1,3 dan 1,2 butadiena, dimana 1,3-butadiena lebih banyak ditemui. Pembuatan 1,3-butadiena membutuhkan suhu reaksi yang tinggi. Senyawa 1,3-butadiena lebih cepat menguap pada suhu yang lebih tinggi dibandingkan 1,2-butadiena. 1,3-butadiena dengan rumus kimia $\text{CH}_2=\text{CH}$ mempunyai nama lain yaitu *buta-1,3-diene*, *biethylene*, *erythrene*, *divynil*, *vinilethylene*, sedangkan nama IUPAC dari senyawa ini adalah 1,3-Butadiena yang mempunyai sifat tidak berwarna, tidak korosif, dan mudah terbakar dalam kondisi ruangan (Wibowo, 2011). Senyawa 1,3-butadiena memiliki titik lebur $108,9^\circ\text{C}$, titik didih $-4,411^\circ\text{C}$, dan larut dalam pelarut organik seperti n-butana dan n-butilen (Othmer, 1964). Kegunaan 1,3-butadiena banyak digunakan pada industri karet sintetis, antara lain sebagai bahan baku *styrene butadiena rubber* (SBR), *acrylonitrile butadiene rubber* (NBR), dan *polybutadiene rubber* (BR) (Nurjahati, 2017).

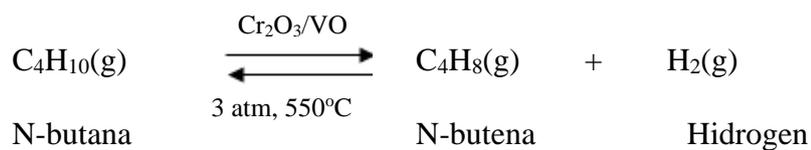
2.2 Pembuatan 1,3-Butadiena dengan Proses Dehidrogenasi N-butana

2.2.1 Dasar Reaksi

Reaksi n-butana menjadi 1,3-butadiena dilakukan dengan dua tahap reaksi. Reaksi pertama merupakan reaksi dehidrogenasi non oksidatif n-butana menjadi n-butena menggunakan katalis *chromium vanadium* ($\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{VO}$). Reaksi kedua merupakan reaksi dehidrogenasi oksidatif n-butena menjadi 1,3-butadiena dengan katalis *zinc ferrit* (ZnFe_2O_4).

1. Reaksi Pertama :

Reaksi Utama



Konversi : 50,5%

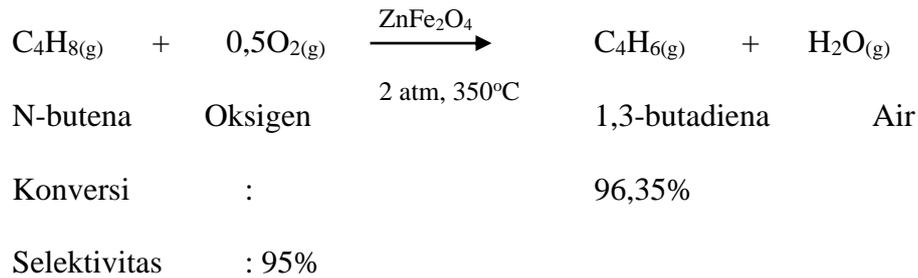
Selektivitas : 98,4%

(US Patent 2007167661 A1)

Reaksi dehidrogenasi non oksidatif n-butana terjadi pada kondisi operasi tekanan 3 atm dan suhu 550°C dengan sifat reaksi endotermis dan reversibel. Reaksi ini menggunakan reaktor yang beroperasi secara adiabatik non-isotermal, dimana kebutuhan panas reaksi dipenuhi oleh reaksi oksidasi hidrogen. Panas reaksi oksidatif oksigen akan meningkatkan panas sensible produk sehingga suhu keluaran dari reaktor meningkat. Reaksi berlangsung dalam fase gas dan katalis yang digunakan dalam fase padat sehingga reaktor yang digunakan berupa reaktor *fixed bed*.

(US Patent 7,034,192 B2)

2. Reaksi Kedua



(US Patent 200710167661 A1)

Reaksi dehidrogenasi oksidatif n-butena dilakukan pada tekanan 2 atm pada suhu 350°C dengan sifat eksotermis dan irreversibel. Reaksi dioperasikan pada reaktor secara isothermal, dimana suhu dijaga pada 350°C sehingga dibutuhkan pendingin berupa *dowtherm* untuk menjaga suhu reaktor. Fase reaksi dehidrogenasi oksidatif adalah fase gas dengan menggunakan katalis yang memiliki fase padat. Reaktor yang digunakan adalah *fixed bed multitube* karena untuk mengoptimalkan proses perpindahan panas pada reaktor dan mengurangi kemungkinan terjadinya hotspot pada katalis yang digunakan. Suhu katalis pada reaktor tidak melebihi 450°C karena akan mengalami kerusakan dan suhu tidak dibawah 220°C karena reaksi akan berjalan lambat.

(US Patent 7,034,195 B2)

2.2.2 Kondisi Operasi

Kondisi operasi menentukan proses dan produk reaksi. Kondisi operasi produksi 1,3-butadiena sebagai berikut :

1. Perbandingan Umpan

Reaktor pertama tempat terjadinya reaksi dehidrogenasi n-butana menjadi n-butena memerlukan sejumlah oksigen untuk mengoksidasi hidrogen. Oksidasi hidrogen digunakan untuk memberikan panas yang dibutuhkan dari reaksi

dehidrogenasi n-butana. Umpan oksigen dan umpan n-butana yang diumpankan berbanding 0,15-0,2 mol/mol.

Reaktor Kedua tempat terjadinya reaksi dehidrogenasi n-butena menjadi 1,3-butadiena memerlukan oksigen dalam umpan sebagai pereaktan. Perbandingan oksigen dan n-butena dijaga pada 0,55-0,6 mol/mol. Umpan oksigen tidak diberikan secara berlebihan karena sifat oksigen yang korosif dan dapat meningkatkan reaksi samping pembentukan CO₂.

(US Patent 7,034,195 B2)

2. Suhu

Suhu reaksi rektor pertama adalah 300-600°C (US Patent 7,034,195 B2). Panas reaksi dari oksidasi hidrogen yang bersifat eksotermis membuat suhu tidak diperlukan terlalu tinggi pada tahap preparasi. Perancangan ini digunakan suhu awal bahan baku 550°C dengan mempertimbangkan faktor ekonomis dan range suhu optimal katalis.

Suhu reaksi pada reaktor kedua dijaga pada suhu 350°C, hal ini dikarenakan jika suhu lebih dari 450°C akan terjadi hotspot pada katalis (US Patent 7,034,195 B2). Sifat reaksi dehidrogenasi oksidatif adalah eksotermis sehingga apabila tidak diberikan cairan pendingin untuk menjaga suhu. Cairan pendingin yang digunakan ialah *dowtherm* karena memiliki stabilitas termal yang cukup baik hingga suhu 400°C (DOW Chemical, 2016).

3. Tekanan

Tekanan operasi dehidrogenasi n-butana dijaga pada 3-8 atm (US Patent 7,034,192 B2). Sedangkan pada reaksi dehidrogenasi oksidatif n-butena dijaga pada tekanan 1-3 atm (US Patent 7,034,195 B2).

4. Katalis

Proses dehidrogenasi n-butana menggunakan katalis *chromium vanadium* ($\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{VO}$) berbentuk hexagonal pellet berpori dengan diameter pori 2,5 nm. Umur katalis *chromium vanadium* adalah 24 bulan (Ajayi, 2014). Proses dehidrogenasi n-butena digunakan katalis *zinc ferrit* (ZnFe_2O_4) berbentuk silinder pellet dengan diameter katalis 0,14 cm dan diameter pori 16,5 nm. Umur katalis *zinc ferrit* adalah 12-24 bulan (Huang, 2016).

2.2.3 Uraian Proses

Proses pembuatan 1,3-butadiena dari n-butana yang merupakan proses dehidrogenasi dengan bantuan katalis *chromium vanadium* (n-butana) dan *zinc ferrit* (n-butena) dan kondisi operasi yang dipilih berdasarkan US Patent 7,034,195

B2. Proses pembuatan 1,3-butadiena dibagi menjadi 4 tahap yaitu :

1. Tahap Penyimpanan bahan baku

Bahan baku pembuatan 1,3-butadiena berasal dari n-butana yang didapatkan dari LPG butana. N-butana disimpan dalam tangki dengan suhu 30°C dan tekanan 5 atm dalam fase cair jenuh.

2. Tahap Penyiapan Bahan Baku

Bahan baku n-butana dari tangki penyimpanan dialirkan menuju *expansion valve* 1 (EV-101) untuk menurunkan tekannya menjadi 3 atm dan kemudian dialirkan menuju *mixing valve* sehingga bertermu dengan aliran dari arus recycle. Campuran dialirkan menuju Furnace (B-101) untuk menaikkan suhunya menjadi 550°C .

3. Tahap Pembentukan Produk

Gas keluaran B-101 dengan tekanan 3 atm dan suhu 550°C diumpankan pada reaktor *fixed bed* (R-101) yang dioperasikan secara autotermal dengan kondisi non *isothermal* dan adiabatik. Reaksi pembentukan produk yang terjadi pada reaktor ini berdasarkan reaksi yang bersifat reversibel dan endotermis:



Reaksi menggunakan katalis *chromium vanadium* untuk menghasilkan n-butena dan produk samping berupa etilen dan hidrogen. Hidrogen yang dihasilkan kemudian direaksikan dengan oksigen dan membentuk air. Reaksi pada R-101 memiliki konversi sebesar 50,5% dan selektivitas 98,4% (US Patent 2007,10167661 A1). Hasil keluarannya berupa gas bertekanan 3 atm dan suhu 550°C yang kemudian diumpankan kepada *Expansion valve* 3 (EV-103) untuk menurunkan tekanan dan *Heater* (E-102) untuk menurunkan suhunya sehingga mencapai tekanan 2 atm dan suhu 350°C. Gas kemudian diumpankan ke reaktor *fixed bed multitube* (R-102). Reaksi pada reaktor kedua bersifat irreversibel dan eksotermis:



Suhu reaktor dijaga pada suhu 350°C menggunakan *thermal fluid dowtherm* A. Katalis yang digunakan pada reaksi ini adalah *zinc ferrit* (ZnFe_2O_4) menghasilkan produk utama yaitu 1,3-butadiena. Konversi reaksi sebesar 96,35% dan selektivitas sebesar 95 % (US Patent 2017,10167661 A1)

4. Tahap Pemurnian Produk

Tahap pemurnian produk dilakukan agar mendapatkan kemurnian 1,3-butadiena sebesar 99,6%. Gas hasil keluaran R-102 kemudian dialirkan menuju kondensor parsial (E-104) untuk mengurangi kandungan air dan zat-zat yang

terlarut dalam air. Hasil bawah dari E-104 dialirkan menuju Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), sedangkan hasil atas E-104 dinaikkan suhunya menggunakan *Heater* (E-105) sehingga suhunya menjadi 94°C sesuai dengan kondisi optimal pada Absorber 1 (A-101).

Umpan A-101 dikontakkan dengan solven furfural. Furfural dipilih karena mempunyai sifat menyerap butana, butena, dan butadiena. Sehingga gas-gas lain akan terpisah sebagai hasil atas dari A-101. Sedangkan hasil bawah A-101 diumpankan menuju menara distilasi 1 (C-101). Pada C-101, furfural akan terpisah sebagai hasil bawah, selanjutnya akan diturunkan suhunya dengan *Cooler* (E-109) dan dialirkan menuju tangki akumulator furfural (ACC-101). Sedangkan butana, butena dan 1,3-butadiena keluar sebagai hasil atas C-101.

Hasil atas C-101 diumpankan menuju Absorber 2 (A-102) dan dikontakkan dengan solven NMP. Butana dan butena akan keluar sebagai hasil atas A-102 kemudian dialirkan menuju *mixing valve* untuk di-*recycle*. Sedangkan 1,3-butadiena akan diserap oleh NMP dan keluar sebagai hasil bawah A-102. Hasil bawah A-102 diumpankan ke menara distilasi 2 (C-102). Pada C-102, NMP akan terpisah sebagai hasil bawah yang selanjutnya dialirkan menuju ACC-102 sedangkan 1,3-butadiena akan keluar sebagai hasil atas C-102 yang kemudian diturunkan tekanannya menggunakan kompresor 3 (JC-103) dan diturunkan suhu menggunakan *Cooler* (E-111) kemudian 1,3-butadiena dialirkan menuju tangki penyimpanan (T-104). Produk 1,3-butadiena disiman pada suhu 37,59°C dan Tekanan 4 atm pada fase *liquified*.

2.3 Reaktor Fixed bed multitube

Reaktor *fixed bed multitube* dapat didefinisikan sebagai suatu tube silindrikal yang dapat diisi dengan partikel-partikel katalis. Selama operasi, gas akan melewati tube dan partikel-partikel katalis, sehingga akan terjadi reaksi. Reaktor *fixed bed multitube* adalah reaktor yang dalam prosesnya mempunyai prinsip kerja pengontakan langsung antara pereaktan dengan partikel-partikel katalis. Reaktor *fixed bed multitube* biasanya digunakan untuk umpan pereaktan yang mempunyai viskositas kecil. Selama operasi, gas akan melewati tube dan partikel-partikel katalis, sehingga akan terjadi reaksi. Pada prinsipnya pertukaran panas pada fixed bed multitubular reactor mirip dengan sebuah heat exchanger dimana terjadi pelepasan dan pengambilan panas dari dua aliran yang berbeda temperaturnya yang terpisah oleh dinding tube-tube, aliran kedua fluida bisa jadi crossflow, co-current maupun countercurrent flow. Pada reaktor ini aliran reaktan yang masuk ke bagian tube bisa jadi searah dengan aliran fluida pendingin atau pemanas yang berada pada bagian shell atau bisa juga berlawanan arah. Semua bergantung pada besarnya efisiensi yang tercapai dan besarnya konversi yang diperoleh. Pada umumnya reaktan-reaktan telah mengalami mixing terlebih dahulu pada bagian pretreatment reaktan. Setelah kondisinya sesuai dengan kondisi feed yang diinginkan di reactor, maka baru bisa dialirkan menuju bagian dalam tube. Sedangkan katalisnya berupa padatan telah ditempatkan sebelumnya di bed-bed yang telah diperhitungkan tebalnya. Aliran pemanas atau pendingin akan ditempatkan di bagian shell. Reaktan mengalir di sepanjang tube dan bersamaan dengan itu akan terjadi reaksi yang dibantu oleh katalis yang telah ditempatkan di bed-bed sepanjang reaktor. Reaksi akan terjadi sehingga apabila telah mencapai ujung reaktor akan didapatkan produk dengan konversi yang sesuai dengan yang

diinginkan. Reaktor *fixed bed multitube* biasanya digunakan untuk umpan pereaktan yang mempunyai viskositas kecil.

2.4 Metode *Runge-Kutta* Orde Empat

Ada beberapa tipe metode *Runge-Kutta* yang tergantung pada nilai n yang digunakan. Untuk $n = 4$, yang disebut metode Runge Kutta orde empat. Rumus metode Runge-Kutta orde empat adalah seperti persamaan (1.8) berikut:

$$y_{n+1} = y_n + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (1.8)$$

dimana :

$$k_1 = hf(x_n, y_n)$$

$$k_2 = hf\left(x_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{k_1}{2}\right)$$

$$k_3 = hf\left(x_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{k_2}{2}\right)$$

$$k_4 = hf(x_n + h, y_n + k_3) \quad (1.9)$$

(Hurol, 2013)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Hasil perancangan reaktor *fixed bed multitube* menghasilkan diameter sebesar 5,9301 m dan tinggi 9,2040 m.
2. Jumlah tube berdasarkan hasil perancangan yakni 1.563 tube.
3. Volume reaktor berdasarkan hasil perancangan sebesar 217,7765 m³.

5.2 Saran

1. Dapat dilakukan beberapa metode penyelesaian *differential* simultan dan kemudian membandingkan hasilnya
2. Dapat dilakukan desain menggunakan *software* simulasi aspen plus kemudian membandingkannya dengan hasil hitungan manual.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajayi, B.P., Abussaud, B., Jermy, R., dan Al-Khattaf, S. 2014. *Kinetic Modelling of n-Butane Dehydrogenation over CrOxVOx/MCM-41 Catalyst in a Fixed Bed Reactor*. King Fahd University of Petroleum & Minerals. Dhahran, Arab Saudi.
- American Chemistry Council. 2019. *Butadiene Product Summary*. Retrieved January 14, 2019, from Washington DC: American Chemistry website: <https://www.americanchemistry.com/Butadiene-Product-Summary/%0AAmerican>.
- Brownell, Lloyd E, Young, Edwin H. 1959. *Process Equipment Design: Process Vessel Design*. John Wiley & Sons, Inc. New York
- Coulson, J.M. and Richardson, J.F. 1985. *An Introduction to Chemical Engineering Design*. Chemical Engineering vol.6. Oxford: Pergamon Press.
- Coulson, J. M., & Richardson, J. F. 2005. *Chemical Engineering Design* (Fourth Edi). Hennai, India: Butterworth-Heinemann, Elsevier.
- Hurol, Simruy. 2013. Numerical Methods for Solving Systems of Ordinary Differential Equations. *Eastern Mediterranean University, Gazimağusa, North Cyprus*.
- Huang, K., Wang, L., Lin, S., Xu, Y., dan Wu, D., 2016. *Comparison of Random and Monolithic Fixed-Bed Reactors for the Oxidative Dehydrogenation of Butene to Butadiene*. Southeast University of Nanjing. Nanjing.
- Nasruddin. (2018). Sifat Mekanik Rubber Waves dari Komposit Karet Alam dan Karet Sintesis Menggunakan Multi Filler. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 29(1), 35–45.
- Nuyah. (2011). Pengaruh Penggunaan SBR dan NR Terhadap Sifat Fisika Kompon Karet Packing Cap Radiator. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 22(1), 52–57.
- Wibowo, H. B. (2011). Analisis Metode Produksi Butadiena yang Efisien Diterapkan di Indonesia. *Majalah Sains Dan Teknologi Dirgantara*, 6(3), 77–85.