



**SPESIFIKASI ALAT REAKTOR MULTITUBULAR
PADA PRA RANCANG PABRIK *PROPYLENE OXIDE*
DENGAN PROSES HPPO (*HYDROGEN PEROXIDE TO
PROPYLENE OXIDE*) KAPASITAS 32.000
TON/TAHUN**

Skripsi

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

Oleh

Dwi Nuryana

NIM. 5213415034

**TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Dwi Nuryana

NIM : 5213415034

Program Studi : Teknik Kimia

Skripsi dengan Judul “Prarancangan Pabrik *Propylene Oxide* Dari *Propylene* dan *Hydrogen Peroxide* Dengan Proses *Hydrogen Peroxide To Propylene Oxide* (HPPO) Kapasitas 32.000 Ton/Tahun” telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, Agustus 2019

Pembimbing



Rr Dewi Artanti Putri, S.T., M.T.

NIP. 198711192014042202

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Spesifikasi Alat Reaktor Multitubular pada Pra-Rancang Pabrik *Propylene Oxide* dengan Proses HPPO (*Hydrogen Peroxide to Propylene Oxide*) Kapasitas 32.000 Ton/Tahun” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 29 bulan Oktober tahun 2019.

Oleh:

Nama : Dwi Nuryana
NIM : 5213415034
Program Studi : S-1 Teknik Kimia

Panitia

Ketua



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

Sekretaris



Dr. Megawati, S.T., M.T.
NIP. 197211062006042001

Penguji II



Dhoni Hartanto, S.T., M.T., M.Sc.
NIP. 198711112015041003

Penguji I



Dr. Ratna Dewi K., S.T., M.T.
NIP. 197603112000122001

Pembimbing



Rr. Dewi Artanti Putri, S.T., M.T.
NIP. 198711192014042202

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di 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 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 dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini

Semarang, 28 Oktober 2019

Yang membuat pernyataan,



Dwi Nuryana

NIM. 5213415034

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“Bersyukur”, Dwi Nuryana

“Whatever the mind can conceive and believe, the mind can achieve”,

Napoleon Hill

PERSEMBAHAN

Skripsi ini kami persembahkan untuk:

1. Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, rahmat, hidayah, dan rezeki kepada kami.
2. Ibu, Bapak, Kakak dan Adik tercinta, terima kasih atas doa, motivasi dan pengorbanan yang telah diberikan.
3. Dr. Dewi Selvia Fardhyanti, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia
4. Rr Dewi Artanti Putri, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing skripsi yang senantiasa memberikan arahan dan motivasi kepada kami.
5. Dr. Ratna Dewi Kusumaningtyas, S.T., M.T. serta Dhoni Hartanto, S.T., M.T., M.Sc., selaku dosen penguji skripsi kami.
6. Seluruh dosen Teknik Kimia UNNES yang telah memberikan ilmunya kepada kami.
7. Teman-teman Teknik Kimia angkatan 2015 yang tercinta.

ABSTRAK

Dwi Nuryana. 2019. “Spesifikasi Alat Reaktor Multitubular pada Pra-Rancang Pabrik *Propylene Oxide* dengan Proses HPPO (*Hydrogen Peroxide to Propylene Oxide*) Kapasitas 32.000 Ton/Tahun”. Skripsi. Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

Pembimbing Radenrara Dewi Artanti Putri, S.T., M.T.

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang yang tengah bersaing di berbagai sektor industri. Pertumbuhan industri manufaktur besar dan sedang di Indonesia terus mengalami peningkatan, diantaranya sektor industri kimia. Industri kimia merupakan salah satu bagian penting dalam sektor industri yang melakukan pengolahan serta memproduksi bahan baku (*raw materials*) menjadi bahan setengah jadi (*intermediate products*) maupun bahan jadi (*finished product*) yang memiliki nilai ekonomis lebih tinggi dengan melalui serangkaian proses kimia. Salah satu bagian industri kimia yang memiliki potensi pengembangan yang cukup menjanjikan adalah pembuatan *Propylene Oxide*, hal ini dapat dibuktikan belum adanya pabrik *propylene oxide* di Indonesia sehingga pemenuhan kebutuhan *propylene oxide* masih mengandalkan impor dari negara lain. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS), kebutuhan *Propylene Oxide* di Indonesia dari tahun 2007 – 2012 memiliki tren peningkatan dari 16.100 hingga titik tertinggi sebesar 27.100 ton/tahun. Produk *propylene oxide* yang diproduksi dari *propylene* dan *hydrogen peroxide* melalui proses *Hydrogen Peroxide to Propylene Oxide* (HPPO) menghasilkan hasil samping berupa *oxygen*, *water*, dan *propylene glycol*. Reaksi utama yaitu reaksi epoksidasi *propylene* dengan *hydrogen peroxide* dalam pelarut *water* yang berlangsung dalam *fixed-bed multitubular reactor* dengan bantuan katalis *Titanium Silicate* (TS-1). Digunakan metode *Runge-Kutta* orde empat dalam mendesain panjang *tube* dalam reactor sehingga diperoleh konversi sebesar 96%. Hasil perancangan reaktor *fixed bed multitubular* dengan bahan SA-24 grade S type 304 menghasilkan diameter sebesar 2,7012 m, tinggi 13,2018 m, jumlah *tube* sebanyak 2218 *tube*, dan volume reaktor sebesar 68,0311 m³.

Kata kunci: proses HPPO, *propylene oxide*, reaktor *fixed bed multitube*.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Skripsi ini dengan Judul **“Spesifikasi Alat Reaktor Multitubular pada Pra-Rancang Pabrik *Propylene Oxide* dengan Proses HPPO (*Hydrogen Peroxide to Propylene Oxide*) Kapasitas 32.000 Ton/Tahun”**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Program Strata I Jurusan Teknik Kimia.

Penyusunan Skripsi ini tidak lepas dari dukungan orang-orang disekitar kami, sehingga kami ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Nur Qudus, M.T., IPM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Dewi Selvia Fardhyanti, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang.
3. Radenrara Dewi Artanti Putri, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing atas arahan dan motivasi yang membangun dalam penyusunan Skripsi.
4. Dr. Ratna Dewi Kusumaningtyas, S.T., M.T. dan Dhoni Hartanto, S.T., M.T., M.Sc., selaku dosen penguji yang telah memberikan arahan dan koreksi dalam penyempurnaan penyusunan Skripsi.
5. Orangtua dan saudara, beserta keluarga lainnya yang telah memberi dukungan baik moril dan materil, serta doa yang tulus.
6. Segenap kawan seperjuangan Teknik Kimia UNNES angkatan 2015 dan semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan dan penyusunan Skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, maka dari itu penulis mengharapkan saran untuk menyempurnakannya. Penulis berharap Skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca yang membutuhkan informasi mengenai masalah yang dibahas dalam Skripsi ini, khususnya terkait bidang Teknik Kimia.

Semarang, 20 Oktober 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
PENGESAHAN	iii
PERNYATAN KEASLIAN.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I_PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	5
1.3. Batasan Masalah.....	5
1.4. Rumusan Masalah	5
1.5. Tujuan Penelitian	6
1.6. Manfaat Penelitian	6
BAB II_TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Pembuatan <i>Propylene Oxide</i> Proses <i>Hydrogen Peroxide to Propylene Oxide</i> (HPPO).....	7
2.2. Pemilihan Katalis.....	13
2.3. Pemilihan Katalis.....	14
2.4. <i>Fixed-bed Multitubular Reactor</i>	15
2.5. <i>Fixed-bed Multitubular Reactor</i>	16
BAB III_METODE PENELITIAN.....	18
3.1. Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	18
3.2. Alat dan Bahan	18
3.3. Prosedur Kerja	18
BAB IV_HASIL DAN PEMBAHASAN	19

4.1.	Perhitungan Properti Umpan	23
4.2.	Pembentukan Persamaan Matematis	27
4.3.	Penyelesaian Persamaan Matematis	28
4.4.	Perhitungan Desain Reaktor	33
4.5.	Rangkuman.....	47
BAB V PENUTUP.....		48
5.1.	Kesimpulan.....	48
5.2.	Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA		49

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Proses Produksi Propylene Oxide	8
Tabel 2. 2 Kelebihan dan Kelemahan Proses Produksi Propylene Oxide.....	8
Tabel 2. 3 Spesifikasi Katalis Titanium Silicalite (TS-1)	14
Tabel 4. 1 Data Umpan Masuk Reaktor.....	20
Tabel 4. 2 Data Densitas Komponen Gas	20
Tabel 4. 3 Data Densitas Komponen Liquid	21
Tabel 4. 4 Data Viskositas Komponen.....	21
Tabel 4. 5 Data Kapasitas Panas Komponen	22
Tabel 4. 6 Data Konduktivitas Termal Komponen	22
Tabel 4. 7 Data Umpan Masuk Reaktor.....	23
Tabel 4. 8 Data Perhitungan Densitas Gas Umpan.....	24
Tabel 4. 9 Data Perhitungan Densitas Liquid Umpan.....	25
Tabel 4. 10 Data Perhitungan Viskositas Umpan	25
Tabel 4. 11 Data Perhitungan Kapasitas Panas Umpan	26
Tabel 4. 12 Data Perhitungan Konduktivitas Termal Umpan.....	26
Tabel 4. 13 Perbandingan Diameter Katalis dengan Diameter Pipa.....	33

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Jalur Proses Produksi Propylene Oxide	7
Gambar 4. 1 Reaktor Fixed Bed Multitube	19
Gambar 4. 2 Sketsa Neraca Massa pada Elemen ΔV dari z sampai $z + \Delta z$	27
Gambar 4. 3 Susunan Pipa Triangular Pitch	35
Gambar 4. 4 Sketsa Head Reaktor	39

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang yang tengah bersaing di berbagai sektor industri. Pertumbuhan industri manufaktur besar dan sedang di Indonesia terus mengalami peningkatan, diantaranya sektor industri kimia. Industri kimia merupakan salah satu bagian penting dalam sektor industri yang melakukan pengolahan serta memproduksi bahan baku (*raw materials*) menjadi bahan setengah jadi (*intermediate products*) maupun bahan jadi (*finished product*) yang memiliki nilai ekonomis lebih tinggi dengan melalui serangkaian proses kimia. Salah satu bagian industri kimia yang memiliki potensi pengembangan yang cukup menjanjikan adalah pembuatan *propylene oxide*.

Pada tahun 2010 permintaan pasar dunia untuk produk *propylene oxide* mencapai 7 juta ton/tahun dan pada tahun 2012 mengalami peningkatan hingga 9,69 juta ton/tahun serta diperkirakan akan terus mengalami peningkatan sebesar 5% setiap tahunnya (Schmidt et al., 2014) (Liu et al., 2015). Selain itu, kebutuhan *propylene oxide* di Indonesia juga terus mengalami peningkatan.

Tabel 1. 1 Data Kebutuhan *Propylene Oxide* di Indonesia

Tahun	Kebutuhan <i>Propylene Oxide</i> (kg/tahun)
2007	16.108.487
2008	21.509.363
2009	18.389.469
2010	27.160.463
2011	24.927.666
2012	20.357.075

Sumber: (BPS, 2015)

Menurut Badan Pusat Statistik (BPS), kebutuhan *Propylene Oxide* di Indonesia dari tahun 2007 – 2012 memiliki tren peningkatan dari sebesar 16.100 hingga titik tertinggi sebesar 27.100 ton/tahun. Namun, hingga saat ini pemenuhan kebutuhan *propylene oxide* di Indonesia hanya mengandalkan impor dari negara lain.

Untuk menghilangkan ketergantungan terhadap impor dan menciptakan kemandirian industri kimia di Indonesia, maka diperlukan usaha untuk memproduksi *propylene oxide* dengan melakukan pendirian pabrik baru. Diharapkan dengan pendirian pabrik *propylene oxide* di Indonesia dapat membantu memenuhi kebutuhan *propylene oxide* dalam negeri.

Propylene Oxide dikenal dengan nama lain *Methyloxirane* dan *1,2-Epoxypropane* yang memiliki rumus molekul C_3H_6O . *Propylene Oxide* merupakan cairan bening dengan titik didih rendah, yang memiliki volatilitas cair tinggi terhadap *ether*. Selain itu, *Propylene Oxide* mudah terbakar dan sangat reaktif (Russo et al., 2014). *Propylene Oxide* memiliki kegunaan yang sangat luas antara lain sebagai bahan baku pembuatan *polyether polyols*, *monopropylene glycol*, *dipropylene glycol*, *tripropylene glycol*, *propylene glycol ethers*, *isopropanolamine*, *propylene carbonate*, *allyl alcohol*, *acetone*,

propanal, *polyurethane* dan lainnya (Aer et al., 2012). *Propylene Oxide* pertama kali ditemukan pada tahun 1860 oleh Oser dengan menggunakan *Chlorohydrin Process*. Proses ini sampai sekarang masih digunakan dan merupakan proses dasar dan pertama yang diaplikasikan dalam skala industri untuk memproduksi *Propylene Oxide*. Selain itu terdapat proses lain seperti *Indirect Oxidation* dengan menggunakan *Hydrogen Peroxide* dan *Direct Oxidation* dengan mengontakkan *Propylene* dengan *Oxygen* secara langsung melalui bantuan katalis (Aer et al., 2012). Proses *Direct Oxidation* mereaksikan antara *Propylene*, *Oxygen* dan asam asetat membentuk *Propylene Glycol Monoacetate* kemudian produk tersebut melalui proses *cracking* dihasilkan *Propylene Oxide* dan asam asetat untuk *recycle* (Aer et al., 2012).

Diantara beberapa proses di atas, proses *Epoxidation Propylene* dengan *Hydrogen Peroxide* atau biasa disebut dengan *Hydrogen Peroxide to Propylene Oxide* (HPPO) yang dibantu dengan katalis *Titanium Silicate* (TS-1) merupakan proses paling ramah terhadap lingkungan dengan produk samping berupa *Water*. Proses HPPO merupakan proses terbaru yang dikembangkan oleh Dow/BASF dan Evonik-Uhde yang sudah diterapkan dalam skala industri di Belgia, Korea dan Thailand (Wu et al., 2013)(Zuo et al., n.d.) (Nijhuis et al., 2006). Proses HPPO memiliki tingkat konversi H_2O_2 dan selektifitas *Propylene Oxide* yang tinggi dengan bantuan katalis *Titanium Silicate* (TS-1) dan pelarut *Methanol / Water* (Wang et al., 2014). Reaksi utama yaitu reaksi epoksidasi *propylene* dengan *hydrogen peroxide* dalam

pelarut air menggunakan katalis TS-1 terjadi pada reaktor *fixed bed multitube*. Reaksi epoksidasi katalitik bersifat sangat eksotermis yang melepas panas ke lingkungan sehingga untuk mempertahankan suhu reaksi, maka dalam shell reaktor dialirkan pendingin berupa *cooling water*. Oleh karena itu, reaktor beroperasi pada kondisi isothermal non adiabatik pada suhu 55°C dan tekanan 25 atm (Trotter & Us, 2014).

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 yang paling populer dan paling banyak digunakan dalam perhitungan (Hurol, 2013).

Oleh karena itu, pada penelitian prarancangan pabrik *propylene oxide* dari *propylene* dan *hydrogen peroxide* dengan proses *hydrogen peroxide to propylene oxide* (HPPO) kapasitas 32.000 ton/tahun digunakan metode *Runge-Kutta* orde empat dalam mendesain panjang tube dalam reaktor *fixed bed multitube*.

1.2. Identifikasi Masalah

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

1. *Propylene oxide* merupakan bahan kimia penting dan banyak dibutuhkan di Indonesia, tetapi belum terdapat pabrik *propylene oxide* di Indonesia sehingga pemenuhan kebutuhan harus dilakukan melalui impor dari negara lain.
2. Reaktor *fixed bed multitube* merupakan alat penting pada pembuatan *propylene oxide* dalam hal proses epoksidasi katalitik *propylene* dengan *hydrogen peroxide* dengan bantuan katalis *titanium silicate* (TS-1)

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 *propylene oxide* kapasitas 32.000 ton/tahun?
2. Bagaimana cara mengaplikasikan metode *Runge-Kutta* orde empat pada proses perancangan tinggi reaktor *fixed bed multitube* pada pabrik *propylene oxide* kapasitas 32.000 ton/tahun?
3. Bagaimana hasil perancangan reaktor *fixed bed multitube* pada pabrik *propylene oxide* kapasitas 32.000 ton/tahun?

1.5. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui proses perancangan reaktor *fixed bed multitube* pada pabrik *propylene oxide* kapasitas 32.000 ton/tahun.
2. Mengaplikasikan metode *Runge-Kutta* orde empat pada proses perancangan tinggi reaktor *fixed bed multitube* pada pabrik *propylene oxide* kapasitas 32.000 ton/tahun.
3. Menganalisis hasil perancangan reaktor *fixed bed multitube* pada pabrik *propylene oxide* kapasitas 32.000 ton/tahun.

1.6. Manfaat Penelitian

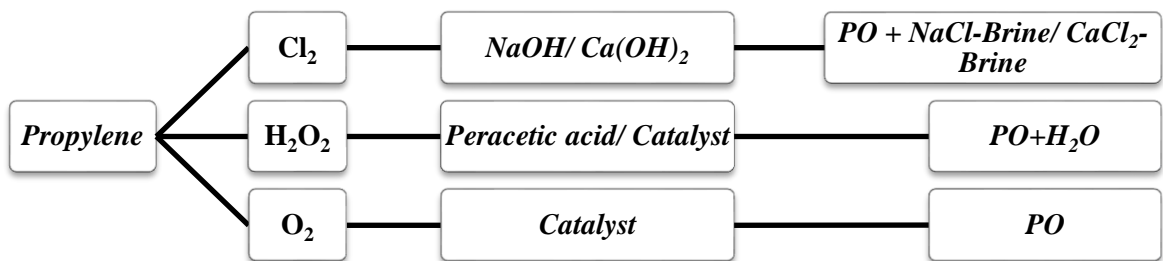
Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi:

1. Bagi IPTEK

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

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pembuatan *Propylene Oxide* Proses *Hydrogen Peroxide to Propylene Oxide* (HPPO)



Gambar 2.1 Jalur Proses Produksi *Propylene Oxide*

Dalam produksi *Propylene Oxide* dengan bahan baku *Propylene*, terdapat 3 jalur proses yang dapat digunakan seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.1 . Ketiga jalur proses tersebut yaitu *Chlorohydrin Process*, *Indirect Oxidation*, dan *Direct Oxidation*. Masing-masing proses memiliki perbedaan, baik dalam kondisi operasi, alat yang digunakan serta hal lain yang berkaitan dengan proses. Dalam Tabel 2.1. disajikan perbandingan 3 proses Produksi *Propylene Oxide* yaitu *Chlorohydrin Process*, *Hydrogen Peroxide to Propylene Oxide* (HPPO) dan *Direct Oxidation Proses* yang telah diuraikan untuk mengetahui perbedaan secara ringkas antara 1 proses dengan proses yang lain.

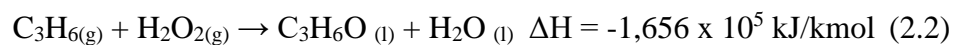
Tabel 2.1 Perbandingan Proses Produksi *Propylene Oxide*

Proses Pembanding	<i>Chlorohydrin Process</i>	HPPO	<i>Direct Oxidation Proses</i>
Bahan Baku	<i>Propylene + Cl₂</i>	<i>Propylene + H₂O₂</i>	<i>Propylene + O₂</i>
Katalis	Ca(OH) ₂ /NaOH	Cu / Cr / TiO ₂ / TS-1	Ag
Kondisi	T: 45-90°C	T: 30-80°C	T: 454 °C
Operasi	P: 1.1-1.9 bar	P: 20-30 bar	P:1-100 bar
Konversi	88-95%	>95%	8.8%
Selektifitas		75 – 97%	53%
Produk samping	CaCl ₂ /NaCl, DCP DCH 1, DCH 2 dan DCIPE	H ₂ O, PG	CH ₃ OH, C ₂ H ₄ O, CO ₂ , C ₂ H ₄ , dan CH ₂ O
<i>Yield</i>	90-95%	>95%	4.7%

Tabel 2.2 Kelebihan dan Kelemahan Proses Produksi *Propylene Oxide*

No	Nama Proses	Kelebihan	Kelemahan
1.	<i>Chlorohydrin Process</i>	a. Kondisi operasi pada <i>Pressure</i> rendah. b. <i>Temperature</i> yang di gunakan rendah. c. <i>Yield</i> yang dihasilkan cukup tinggi 90 - 95%	a. Produk samping yang dihasilkan banyak b. <i>Treatment</i> untuk <i>recycle</i> produk samping terlalu sulit c. Membutuhkan biaya besar untuk <i>wasterwatertreatment</i>
2.	HPPO	a. Proses bebas dari <i>Chlorine</i> b. Bahan baku mudah diperoleh dapat menggunakan <i>Propylene polymer-grade</i> maupun <i>chemical-grade</i> c. <i>Temperature</i> yang digunakan tidak terlalu tinggi d. Kemurnian <i>Propylene Oxide</i> mencapai 99,97% e. Konversi dan selektifitas >95%	a. <i>Pressure</i> yang digunakan cukup tinggi
3.	<i>Direct Oxidation</i>	a. Tidak menghasilkan produk samping b. Tingkat kemurnian produk tinggi	a. <i>Temperature</i> yang digunakan sangat tinggi b. <i>Pressure</i> yang digunakan tinggi c. Selektivitas rendah d. Konversidan <i>Yield</i> yang dihasilkan sangat rendah

Proses reaksi berjalan dalam *Reactor multitube Reactor* dengan *temperature* reaksi antara 55°C dan *Pressure* antara 25 atm. Didalam setiap *Tube* diisi dengan katalis *Titanium Silicalite (TS-1)* untuk mengoptimalkan terjadinya reaksi antara *Propylene* dengan *Hydrogen Peroxide*. Kondisi *Reactor* dijaga agar selalu berada dalam tekanan 25 atm dan suhu 55°C. Panas eksotermik yang terjadi di *reactor* akibat reaksi tersebut dapat di hilangkan dengan sistem pendinginan yang terintegrtasi menggunakan *cooling water*. Setelah bereaksi, campuran produk yang terdiri dari *solvent, propylene*, dan PO mengalir keluar dari *reactor* dan *pressure* aliran di turunkan hingga *pressure* atmosfer. Dengan proses ini dapat menghasilkan konversi PO hingga 96%. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Aliran *output reactor* mengandung produk *propylene oxide* dan *propylene glycol* yang bercampur dengan bahan baku serta *solvent* dengan kondisi tekanan 25 atm dan suhu 55°C selanjutnya menuju proses separasi untuk memisahkan produk utama dengan senyawa lainnya.

c. *Purification*

Aliran produk dengan kondisi tekanan 0.5 MPa dan suhu 95°C selanjutnya dialirkan menuju *Pre-Separation* pertama untuk memisahkan antara *Off gas* dan *Propylene* yang memiliki titik didih rendah dari pruduk utama *Propylene Oxide* dan senyawa lain yang memiliki titik didih tinggi. Selanjutnya *Recycle*

Propylene bersama off gas mengalir ke unit *Recycle Propylene*. Kemudian produk utama *Propylene Oxide* dan senyawa lain yang memiliki titik didih tinggi dipanaskan selanjutnya dialirkan menuju ke *Pre-Separation* kedua untuk memisahkan Produk utama *Propylene Oxide* dari sebagian besar *Water* dan *Propylene Glycol* untuk mempermudah proses Purifikasi. Berdasarkan patent, 99,7% *Propylene Oxide* mengalir ke menjadi *top product*, sebagian *Water* dan *Propylene Glycol*. Sedangkan sisanya akan menjadi bottom produk yang mengalir menuju proses pemisahan produk samping *Propylene Glycol* dari *Water*.

Selanjutnya aliran top produk *Pre-Separation* Kedua dialirkan menuju *expansion valve* untuk menurunkan tekanan aliran produk *Propylene Oxide*, *Water*, dan sedikit *Propylene Glycol*. Setelah melalui *expansion valve* kemudian dialirkan produk *Propylene Oxide*, *Water*, dan sedikit *Propylene Glycol* masuk ke dalam *PO Purification Column*.

Di dalam *PO Purification Column*, *Propylene Oxide* dipisahkan dari *Water*, dan *Propylene Glycol*. selanjutnya *Propylene Oxide* menjadi *top product* dari *PO Purification Column*. *Propylene Oxide* keluar dari *top product* *PO Purification* dengan kemurnian 95%. Kemudian *Propylene Oxide* dengan kemurnian 95% dialirkan menuju *condenser* untuk diperoleh *product Propylene Oxide* cair. *Product Propylene Oxide* cair dialirkan menuju ke *storage tank Propylene Oxide*.

Propylene serta *Ethane* yang menjadi *top product Pre-Separation* pertama kemudian dialirkan menuju *Separator* untuk memisahkan *Propylene* dari

Ethane. Sebelum masuk kedalam *Separator*, *pressure* aliran dinaikkan menggunakan *compressor*. Selanjutnya *Temperature* aliran diturunkan dengan mengalirkan aliran ke dalam *Heat Exchanger*. Setelah mencapai beda titik didih, *Propylene* dipisahkan dari *Ethane* didalam *Separator*. *Ethane* yang terpisah menjadi *off gas* sedangkan *Propylene* di *recycle* dan dialirkan menuju ke *mixer* untuk di reaksi kembali.

Bottom product Pre-Separation kedua yang mengandung Sedikit *Propylene Oxide*, *Water*, dan *Propylene Glycol* dicampur dengan *bottom product PO Purification Column* yang mengandung *Water* dan *Propylene Glycol* kemudian dialirkan menuju *Propylene Glycol Distillation*. Didalam *Propylene Glycol Distillation*, *Propylene Glycol* dipisahkan dari sedikit sisa *Propylene Oxide* dan *Water* berdasarkan beda titik didih. Setelah dilakukan pemisahan, diperoleh produk samping *Propylene Glycol* yang kemudian dialirkan kedalam *Propylene Glycol storage*. Sedikit sisa *Propylene Oxide* dan *Water* dialirkan menuju *water process* untuk mengolah *water* supaya dapat digunakan sebagai *water process* kembali.

d. *Recycle Propylene*

Setelah campuran produk yang terdiri dari larutan *solvent*, *water*, *propylene*, dan *PO* mengalir keluar dari *reactor* dan menurunkan *pressure* hingga tekanan atmosfer, kemudian campuran produk di panaskan. *Propylene* dalam fase gas selanjutnya di kompres, di kondensasikan kemudian dialirkan kembali kedalam *reactor* untuk di reaksi kembali. *Off-gas* yang memiliki

kandung utama inert gas dan sebagian kecil oksigen dari hasil dekomposisi *hydrogen peroxide* ditarik dan dialirkan ke *battery limits*.

Campuran gas yang telah diberi *pressure* kemudian dialirkan ke bagian *Pre-separation* untuk memisahkan PO serta *propylene* yang masih terbawa dengan *solvent* dan *water*. *Stripper* menghilangkan senyawa hidrokarbon dari campuran PO. Kemudian produk PO *Distillate* dengan kandungan *solvent* dan *water* yang sangat sedikit dialirkan keluar melalui *bottom product* menuju ke dalam kolom PO *Purification*. Kemudian Campuran PO dengan sedikit *solvent* dan *water* diproses kembali dalam PO *Purification* untuk memperoleh dengan kemurnian tertinggi dan memenuhi standar kualitas terbaik.

2.2. Pemilihan Katalis

Proses pembuatan *Propylene Oxide* dengan metode *Hydrogen Peroxide to Propylene Oxide* (HPPO) akan berjalan dan menghasilkan produk yang optimal jika di jalankan dengan bantuan katalis. Katalis berfungsi untuk menurunkan energi aktivasi sehingga reaksi dapat berlangsung lebih cepat. Katalis yang digunakan dalam reaksi *Epoxidation Propylene* dengan *Hydrogen Peroxide* menjadi *Propylene Oxide* adalah *Titanium Silicalite (TS-1)*. *Titanium Silicalite (TS-1)* dipilih karena merupakan katalis terbaik yang telah ditemukan untuk diaplikasikan dalam proses *Epoxidation Propylene* dengan *Hydrogen Peroxide* sehingga dengan menggunakan katalis *Titanium Silicalite (TS-1)* proses *epoxidation* dapat berjalan dengan konversi tinggi dan menghasilkan *Propylene Oxide* dengan *Yield* dan selektifitas yang tinggi. Spesifikasi katalis dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Spesifikasi Katalis *Titanium Silicalite* (TS-1)

Keterangan	Spesifikasi
Rumus Kimia	SiO ₂ -TiO ₂
Berat Molekul	139,946 g/mole
Fase	Padat
Bentuk	Granular
Komposisi	99% SiO ₂ 1% TiO ₂
Kemurnian	99,8%.

(ACS Material, 2017)

2.3. Pemilihan Katalis

Kinetika suatu reaksi sangat berpengaruh terhadap kondisi operasi baik *Temperature*, *Pressure* serta alat yang digunakan sehingga perlu adanya kajian yang di pertimbangkan adalah konstanta kecepatan reaksi (*k*) dimana menentukan kecepatan suatu zat atau senyawa untuk bereaksi menjadi produk.

Proses reaksi pembentukan *Propylene Oxide* dari *Propylene* dan *Hydrogen Peroxide* dengan *Titanium Silicate* (TS-1) dirumuskan pada persamaan (2.2). Konstanta kecepatan reaksi pembentukan *Propylene Oxide* dengan katalis *Titanium Silicate* (TS-1) dirumuskan sebagai berikut:

$$k_d = k_d^{ref} \times \mathbf{Exp}\left(\frac{E_d}{R} \left(\frac{1}{T^{ref}} - \frac{1}{T}\right)\right) \quad (2.5)$$

(R, V. Russo dkk, 2014)

Keterangan:

k_d = Konstanta kecepatan reaksi dekomposisi *Hydrogen Peroxide* dalam pembentukan *Propylene Oxide*

k_d^{ref} = Konstanta kecepatan reaksi dekomposisi *Hydrogen Peroxide* dalam pembentukan *Propylene Oxide* referensi

E_d = Energi aktivasi reaksi dekomposisi (kJ/mol) (144.821)

R = Konstanta gas universal (kJ/molK) (8,314)

T = *Temperature* reaksi operasi (K)

T^{ref} = *Temperature* referensi (K)

Dari persamaan di atas akan diperoleh harga konstanta kecepatan reaksi dekomposisi *Hydrogen Peroxide* dalam pembentukan *Propylene Oxide* (k_d) hanya dipengaruhi oleh *Temperature* (T), dimana dengan kenaikan *Temperature* maka kecepatan reaksinya akan semakin besar. Reaksi pembentukan *Propylene Oxide* dari *Propylene* dan *Hydrogen Peroxide* dengan *Titanium Silicate* (TS-1) mengikuti persamaan kinetika kimia dengan persamaan kecepatan reaksi sebagai berikut:

$$r_d = k_d (C_{TS-1})(C_{H_2O_2}) \quad (2.6)$$

Dengan:

r_d = Kecepatan reaksi dekomposisi *Hydrogen Peroxide* dalam pembentukan *Propylene Oxide*

C_{TS-1} = Konsentrasi *Titanium Silicate*(TS-1)

$C_{H_2O_2}$ = Konsentrasi *Hydrogen Peroxide*

k_d = Konstanta kecepatan reaksi dekomposisi *Hydrogen Peroxide* dalam pembentukan *Propylene Oxide*

2.4. Fixed-bed Multitubular Reactor

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. 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 reaktor, 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.

2.5. Fixed-bed Multitubular Reactor

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 (2.7) berikut:

$$y_{n+1} = y_n + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (2.7)$$

dimana :

$$k_1 = hf(x_n, y_n) \quad (2.8)$$

$$k_2 = hf\left(x_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{k_1}{2}\right) \quad (2.9)$$

$$k_3 = hf\left(x_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{k_2}{2}\right) \quad (2.10)$$

$$k_4 = hf(x_n + h, y_n + k_3) \quad (2.11)$$

(Fogler, 1999)

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

1. Hasil perancangan reaktor *fixed bed multitube* menghasilkan diameter sebesar 2,7012 m dan tinggi 13,2018 m.
2. Jumlah *tube* berdasarkan hasil perancangan yakni 2218 *tube*.
3. Volume reaktor berdasarkan hasil perancangan sebesar 68,0311 m³.

5.2. Saran

1. Perlu dilakukan variasi kondisi operasi untuk mengetahui hasil rancangan reaktor *fixed bed multitube*.
2. Pastikan semua satuan sama dalam proses menghitung.

DAFTAR PUSTAKA

- Aer, H. O. B., Deutschland, D., Ergamo, M. A. B., Deutschland, D., Orlin, A. N. N. A. F., Srl, D. I., ... Deutschland, D. (2012). *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry - Propylene Oxide*.
- Badan Pusat Statistik. 2017. *Data Impor Propylene oxide*. <https://www.bps.go.id>. 26 November 2018 (21:00).
- Brownell, L. E., & Young, E. H. 1959. *Process Equipment Design*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Coulson, J. M., & Richardson, J. F. 2005. *Chemical Engineering Design* (Fourth Edi). Hennai, India: Butterworth-Heinemann, Elvervier.
- Clarke, S. I. dan W. J. Mazzafro. 2005. *Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Fogler, H. C., 1999, *Elements of Chemical Reaction Engineering*, 3rd ed., Prentice-Hall, Inc., New Jersey, USA
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer* (Internatio). Japan: McGraw-Hill Book Company.
- Liu, M., Ye, X., Liu, Y., Wang, X., Wen, Y., Sun, H., & Li, B. (2015). Highly Selective Epoxidation of Propylene in a Low-Pressure Continuous Slurry Reactor and the Regeneration of Catalyst. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.5b00410>
- Nijhuis, T. A., Makkee, M., Moulijn, J. A., & Weckhuysen, B. M. (2006). The Production of Propene Oxide : Catalytic Processes and Recent Developments, 3447–3459.
- Perry, R.H. dan D.W. Green. 1999. *Perry's Chemical Engineer's Handbook, 7th edition*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Russo, V., Tesser, R., Santacesaria, E., & Serio, M. Di. (2014). Kinetics of Propene Oxide Production via Hydrogen Peroxide with TS _ 1.
- Schmidt, F., Bernhard, M., Morell, H., & Pascaly, M. (2014). HPPO Process Technology A novel route to propylene oxide without coproducts, (March).
- Smith, J. M., H. C. Van Ness. dan M.M. Abbot. 2001. *Chemical Engineering Thermodynamics*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Trotter, S. G., & Us, B. W. U. S. (2014). PCT o o o o, (12).
- Ullmann, F. 2012. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 6th Edition. USA: Wiley-VCH Verlag GmbH dan Co. KGaA, Weinheim.

- White, F. M. 2011. *Fluid Mechanics. Fluid Mechanics* (Seventh Ed). New York: McGraw-Hill Book Company.
- Wang, Lina, et al. (2014). Epoxidation of Propylene Over Titanosilicate-1 in Fixed-bed Reactor: Experiments and Kinetics *LINA*, 26(4), 943–950.
- Wu, G., Wang, Y., Wang, L., Feng, W., Shi, H., Lin, Y., ... Yao, P. (2013). Epoxidation of propylene with H₂O₂ catalyzed by supported TS-1 catalyst in a fixed-bed reactor: Experiments and kinetics. *Chemical Engineering Journal*, 215–216, 306–314. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.11.055>
- Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Zuo, Y., Wang, M., Song, W., Wang, X., & Guo, X. (n.d.). Characterization and Catalytic Performance of Deactivated and Regenerated TS _ 1 Extrudates in a Pilot Plant of Propene Epoxidation.