



**PERANCANGAN *PLUG FLOW REACTOR* DENGAN PEMODELAN
RUNGE KUTTA ORDE-4 PADA PRARANCANGAN PABRIK PROPILLEN
GLIKOL KAPASITAS 50000 TON/TAHUN**

Skripsi

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

Oleh

Akhmad Sutrisno

NIM. 5213415027

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
SEMARANG
2019**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Akhmad Sutrisno

NIM : 5213415027

Program Studi : Teknik Kimia

Judul : Perancangan *Plug Flow Reactor* Dengan Pemodelan Runge Kutta Orde-4 pada Prarancangan Pabrik Propilen Glikol Kapasitas 50000 Ton/Tahun

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

Semarang, 4 Juli 2019

Pembimbing



Dr. Ratna Dewi Kusumaningtyas, S.T., M.T.

NIP. 197603112000122001

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Perancangan *Plug Flow Reactor* Dengan Pemodelan Runge Kutta Orde-4 pada Prarancangan Pabrik Propiler Glikol Kapasitas 50000 Ton/Tahun” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 11 Juli 2019.

Oleh

Nama : Akhmad Sutrisno
NIM : 5213415027
Program Studi : Teknik Kimia

Panitia

Ketua

Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T.
NIP. 197405191999032001

Sekretaris

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

Penguji 2

Dr. Astrilia Damayanti, S.T.M.T.
NIP. 197309082006042001

Penguji I

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

Pembimbing

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

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



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

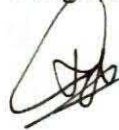
PERNYATAAN KEASLIAN

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, 2 Juli 2019

Yang membuat pernyataan,



Akhmad Sutrisno

NIM. 5213415027

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO :

“Ilmu pengetahuan itu bukanlah yang dihafal, melainkan yang memberi manfaat”

– Imam Syafi’i

“Efforts and courage are not enough without purpose and direction”

– John F. Kennedy

“Keluh kesah adalah sampah”

PERSEMBAHAN

1. Perkembangan ilmu dan teknologi Bangsa dan Negara Indonesia
2. Bapak, Ibu, Adik, Kakak dan seluruh keluarga besar tercinta
3. Seluruh Dosen Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang
4. Teman-teman seperjuangan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang Angkatan 2015
5. Almamater Universitas Negeri Semarang

ABSTRAK

**PERANCANGAN *PLUG FLOW REACTOR* DENGAN PEMODELAN
RUNGE KUTTA ORDE-4 PADA PRARANCANGAN PABRIK PROPILEN
GLIKOL KAPASITAS 50000 TON/TAHUN**

Akhmad Sutrisno
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang
akhmadsutrisnopay@gmail.com

Kebutuhan produk petrokimia baik secara global maupun dalam negeri terus mengalami peningkatan namun, jumlahnya masih belum memenuhi kebutuhan domestik sehingga masih harus impor dari luar negeri (Sulaiman, 2016). Salah satu produk untuk industri petrokimia yang masih impor yaitu propilen glikol. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik imporpropilen glikol di Indonesia cenderung meningkat setiap tahunnya dengan rata-rata impor pertahunnya adalah 34.732,012 ton, dan di prediksi di tahun 2025 kebutuhan meningkat hingga 50.000 ton/tahun. Oleh karena itu perlu didirikan pabrik propilen glikol didalam negeri. Prarancangan pabrik propilen glikol ini dirancang dengan proses hidrolisis propilen oksida tanpa katalis. Proses ini menggunakan bahan beripa reaktan propilen oksida dan air dengan alat utama berupa reaktor, evaporator, dan menara distilasi. Penelitian prarancangan pabrik ini berfokus pada desain reaktor. Reaktor yang digunakan adalah reaktor model *plug flow* (reaktor alir pipa) dengan kondisi operasi tekanan 24,6 atm dan suhu masuk 180°C. Perancangan reaktor ini menggunakan metode runge-kutta orde 4. Hasil dari perhitungan didapatkan suhu keluaran reaktor 216,74°C, diameter dalam shell 2,552 meter, panjang reaktor 17,578 meter, tebal shell reaktor 0,0572 meter, tebal isolasi 0,2979 meter, dan tebal head reaktor 0,0286 m. Reaktor menggunakan bahan *Carbon Steel SA 283 grade C* dengan jenis tutup *hemispherical*.

Kata Kunci : *propilen glikol, plug flow reactor, runge-kutta*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Skripsi ini dengan Judul **“Perancangan Plug Flow Reactor dengan Pemodelan Runge Kutta Orde-4 pada Prarancangan Pabrik Propilen Glikol Kapasitas 50000 Ton/Tahun”**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Program Strata I Jurusan Teknik Kimia pada Universitas Negeri Semarang.

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. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. Ratna Dewi Kusumaningtyas, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing atas arahan dan motivasi yang membangun dalam penyusunan Skripsi.
4. Dr. Dewi Selvia Fardhyanti, S.T., M.T. dan Dr. Astrilia Damayanti, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan arahan dan koreksi dalam penyempurnaan penyusunan Skripsi.
5. Orangtua dan saudara/saudari, beserta keluarga lainnya yang telah memberi dukungan baik moril dan materil, serta doa yang tulus.
6. Segenap kawan seperjuangan Teknik Kimia UNNES angkatan 2015.
7. 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, 2 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Propilen Glikol	6
2.2 Proses Pembuatan Propilen Glikol	7
2.3 Reaktor Alir Pipa	13
2.4 Runge Kutta	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1 Diagram Alir Metode Penelitian	22

3.2 Menurunkan Persamaan Matematis dalam Reaktor	23
3.3 Memodelkan persamaan matematis ke dalam persamaan Runga-Kutta	
Orde 4.....	23
3.4 Menghitung Dimensi Reaktor.....	23
3.5 Menghitung Waktu Tinggal.....	23
3.6 Menghitung Tebal Isolasi.....	24
3.7 Menghitung Pipa Masukan dan Pipa Pengeluaran.....	24
BAB IV PEMBAHASAN	25
4.1 Memilih Jenis Reaktor	25
4.2 Menentukan Bahan Konstruksi Reaktor.....	26
4.3 Menentukan Dimensi Reaktor	26
BAB V KESIMPULAN	59
5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sketsa Matematis Reaktor.....	13
Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian	22
Gambar 4.1 Sketsa Reaktor.....	25
Gambar 4.2 Sketsa Matematis Reaktor.....	29
Gambar 4.3 Algoritma Perhitungan Konversi, Suhu, dan Panjang Reaktor	37
Gambar 4.4 Sketsa <i>Head</i> Reaktor.....	48
Gambar 4.5 Sketsa Tebal Isolasi	51
Gambar 4.6 Algoritma Perhitungan Tebal Isolasi	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Berbagai Produksi Propilen Glikol	11
Tabel 2.2 Kelebihan dan Kekurangan Berbagai Proses Produksi Propilen Glikol	12
Tabel 4.1 Neraca massa di sekitar reaktor R-01.....	25
Tabel 4.1 Data Densitas Liquid	27
Tabel 4.2 Densitas Umpan pada Suhu 180°C.....	27
Tabel 4.3 Data Viskositas Liquid	28
Tabel 4.4 Viskositas Umpan Pada Suhu 180°C	28
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Konversi, Panjang, dan Suhu Reaktor	38
Tabel 4.6 Data Sifat Udara Suhu 308,15 K.....	53

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri di Indonesia semakin pesat seiring dengan kemajuan pengetahuan dan teknologi. Industri adalah kegiatan ekonomi yang mengolah bahan mentah atau bahan baku menjadi barang setengah jadi atau barang jadi yang bernilai ekonomis. Perindustrian merupakan salah satu komponen penting yang menunjang perekonomian negara. Oleh karena itu, Kementerian Perindustrian menargetkan pertumbuhan industri non-migas meningkat sebesar 4,8 - 5,3% pada tahun 2018 yang didukung oleh pembangunan kawasan industri di berbagai daerah di Indonesia (Hartarto, 2017).

Berbagai industri kimia telah tumbuh dan berkembang di Indonesia antara lain industri petrokimia, oleokimia, agrokimia dan sebagainya. Industri petrokimia adalah industri yang menghasilkan produk-produk untuk industri kimia dengan bahan baku dasar yang bersumber dari hasil pengolahan minyak dan gas bumi (gas alam), produk pencairan batubara, bahkan sekarang sedang dikembangkan oleokimia berbasis biomassa (Sulaiman, 2016). Industri kimia tersebut menghasilkan berbagai produk kimia untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri serta meningkatkan taraf hidup masyarakat Indonesia (www.kemenperin.go.id, 2017). Basis bahan baku dari industri petrokimia adalah kandungan senyawa hidrokarbon yang didapat dari hasil pengolahan minyak dan gas bumi, maupun pencairan batu bara dengan kandungan utama unsur kimia atom C dan H beserta

turunannya, termasuk senyawa hidrokarbon dengan ikatan gugus fungsional senyawa tersebut (Sulaiman, 2016). Kebutuhan produk petrokimia baik secara global maupun dalam negeri terus mengalami peningkatan namun, jumlahnya masih belum memenuhi kebutuhan domestik sehingga masih harus impor dari luar negeri (Sulaiman, 2016). Salah satu produk untuk industri petrokimia yang masih impor yaitu propilen glikol.

Propilen glikol adalah senyawa yang memiliki rumus kimia $C_3H_8O_2$ yang memiliki sifat fisik cair dan tidak berwarna. Propilen glikol digunakan sebagai dasar dalam produksi *antifreeze*, senyawa poliester untuk industri atau komersial, pelarut dalam cairan deterjen dan cat manufaktur, serta digunakan sebagai bahan obat-obatan, makanan hewan peliharaan, industri tembakau, dan sebagai bahan aditif dalam makanan (Hernandez, 2001). Pertimbangan didirikannya pabrik propilen glikol adalah:

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

Proses pembuatan propilen glikol diklasifikasikan menjadi dua bagian yaitu proses pembuatan propilen glikol dengan hidrolisis propilen oksida dan proses pembuatan propilen glikol dengan hidrogenasi gliserol. Pembuatan propilen glikol dengan hidrolisis propilen oksida dapat dilakukan dengan tiga metode yaitu

hidrolisis propilen oksida tanpa menggunakan katalis, hidrolisis propilen oksida menggunakan katalis asam dan , hidrolisis propilen oksida menggunakan katalis basa. Proses pembuatan propilen glikol dipilih menggunakan proses hidrolisis tanpa katalis, karena konversi yang dihasilkan tinggi serta peralatan proses dan bahan baku yang digunakan lebih sedikit dengan produk utama yang dihasilkan lebih banyak. Pembuatan propilen glikol dengan proses hidrolisis tanpa katalis, saat ini merupakan proses yang paling banyak digunakan pada industri, contohnya pada pabrik Dow Chemical, yang terletak di Brazil, Jerman, dan Thailand.

Proses pembuatan propilen glikol tanpa menggunakan katalis menggunakan bahan baku berupa propilen oksida dan air dengan perbandingan mol propilen oksida dan air adalah 1 : 15 dengan konversi 90% dan menghasilkan produk propilen glikol, dipropilen glikol dan tripropilen glikol dengan perbandingan 100 : 10 : 1. pada reaksi yang berlangsung pada temperatur 180 - 220°C dengan tekanan 15 - 25 bar (Ullmann, 2012). Alat utama yang digunakan dalam proses ini adalah reaktor, evaporator dan menara distilasi. Alat tersebut digunakan untuk mereaksikan bahan dan memurnikan produk. Reaktor yang digunakan pada proses ini berupa reaktor alir pipa (*plug flow reaktor*). Untuk mendesain atau merancang reaktor alir pipa dapat digunakan beberapa metode dalam menyelesaikan persamaan *differensialnya* diantaranya ada metode *trapezoidal dan simpson's rule, polynomial, golden section, dan runge kutta* (Budi, 1997). Dari beberapa metode tersebut yang memiliki akurasi paling baik dalam menyelesaikan persamaan differential yaitu metode *runga kutta*. Metode runga kutta dibagi menjadi runga kutta orde 1, runga kutta orde 2, runga kutta orde 3, dan runga kutta orde 4. Metode runga kutta yang paling terbaru adalah

metode runge kutta orde 4 yang memiliki akurasi paling tinggi diantar metode runge kutta orde 1,2 dan 3. Oleh karena itu pada prarancangan pabrik propilen glikol ini akan dibahas secara spesifik desain reaktor alir pipa dengan pemodelan runge kutta orde-4.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang dapat dirumuskan dari latar belakang yang telah diuraikan yaitu:

1. Bagaimana langkah perancangan *plug flow reactor* reaksi pembentukan propilen glikol kapasitas 50.000 ton/tahun?
2. Bagaimana langkah menerapkan metode runge-kutta orde 4 pada perancangan *plug flow reactor* ?
3. Bagaimana hasil perancangan *plug flow reactor* reaksi pembentukan propilen glikol kapasitas 50.000 ton/tahun menggunakan metode runge-kutta orde 4?

1.3 Tujuan

Secara khusus penelitian ini bertujuan, antara lain :

1. Mengetahui langkah perancangan *plug flow reactor* reaksi pembentukan propilen glikol kapasitas 50.000 ton/tahun.
2. Mengetahui langkah menerapkan metode runge-kutta orde 4 pada perancangan *plug flow reactor*
3. Mengetahui hasil perancangan *plug flow reactor* reaksi pembentukan propilen glikol kapasitas 50.000 ton/tahun menggunakan metode runge-kutta orde 4.

1.4 Manfaat

1. Memberikan pengetahuan mengenai langkah perancangan *plug flow reactor* reaksi pembentukan propilen glikol kapasitas 50.000 ton/tahun yang optimum dalam skala besar.
2. Dapat mengaplikasikan penggunaan metode runge-kutta orde 4 dalam menyelesaikan persamaan differential pada perancangan plugflow reaktor.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Propilen Glikol

Propilen glikol atau 1,2-propadienol memiliki sifat fisis yang mirip dengan etilen glikol. Propilen glikol merupakan senyawa yang tidak berwarna, memiliki rasa manis dan memiliki tekanan uap yang rendah. Industri propilen glikol dari propilen oksida dan air sudah dimulai sejak tahun 1930. Sampai saat ini produksi propilen glikol masih menggunakan proses yang sama. Proses tersebut secara simultan juga menghasilkan dipropilen glikol dan tripropilen glikol. Propilen glikol digunakan sebagai dasar dalam produksi antifreeze, senyawa poliester untuk industri atau komersial, pelarut dalam cairan deterjen dan cat manufaktur, serta digunakan sebagai bahan obat-obatan, kosmetik, makanan hewan peliharaan, industri tembakau, dan sebagai bahan aditif dalam makanan (Hernandez, 2001).

Propilen glikol dapat larut dalam air dan senyawa polar seperti alkohol dan aseton. Propilen glikol merupakan solven atau pelarut yang bagus untuk senyawa organik polar seperti fenol, alkohol, *dyes*, dan beberapa resin. Propilen glikol tidak dapat larut dalam senyawa nonpolar seperti benzene, hidrokarbon aromatik, dan karbon tetraklorida (Ulmann, 2012).

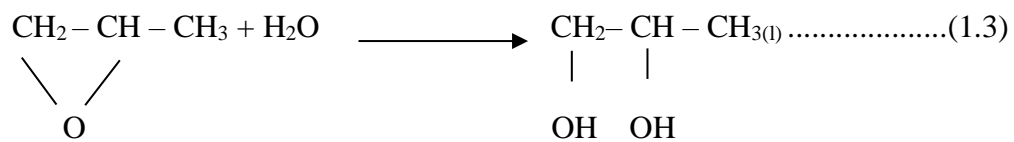
2.2 Proses Pembuatan Propilen Glikol

Secara garis besar proses pembuatan propilen glikol dapat diklarifikasikan menjadi dua yaitu:

1. Proses pembuatan propilen glikol dengan hidrolisis propilen oksida.

a. Hidrolisis propilen oksida tanpa katalis

Reaksi :



Propilen Oksida

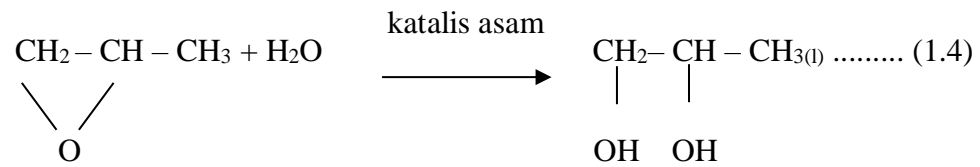
Air

Propilen Glikol

Proses ini berlangsung pada tekanan tinggi, temperatur tinggi, dan tanpa katalis. Propilen oksida dan air direaksikan di tahap awal proses dengan perbandingan molar sebesar 1 : 15. Air berlebih dalam proses tersebut menghasilkan propilen glikol, dipropilen glikol dan tripropilen glikol dengan perbandingan 100 : 10 : 1. Konversi yang dihasilkan dari proses ini mencapai 90%, pada reaksi yang berlangsung pada temperatur 180 - 220°C dengan tekanan 15 - 25 bar (Ullmann, 2012).

b. Hidrolisis propilen oksida dengan katalis asam

Reaksi:



Propilen Oksida Air

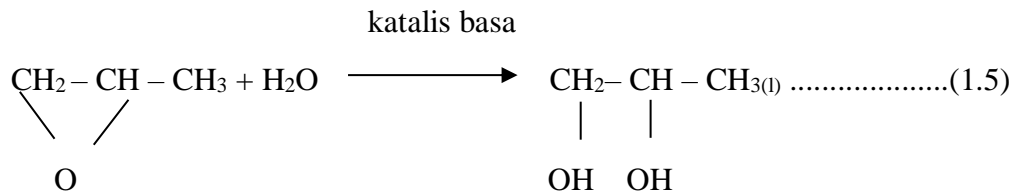
Propilen Glikol

Proses ini berlangsung pada kondisi temperatur operasi 150 -180°C dengan tekanan 1 atm (Miller dan Jackson, 2008). Proses dilakukan dengan cara mereaksikan propilen oksida dengan air dan asam sulfat sebagai katalis. Konversi yang diperoleh sebesar 90% (Benham dan Kurata, 1955).

Peningkatan kecepatan reaksi yang signifikan dapat diperoleh pada nilai pH yang rendah. Nilai pH proses ini berkisar 4. Katalis asam harus dihilangkan sebelum proses distilasi untuk mencegah korosi pada dinding menara distilasi dan menghindari penurunan kualitas produk pada reboiler menara distilasi. Pendekatan yang digunakan untuk menghilangkan masalah ini adalah dengan menggunakan *ion-exchanger* resin dan polimer (McKetta dan Cunningham, 1990).

c. Hidrolisis propilen oksida dengan katalis basa

Reaksi:



Propilen Oksida

Air

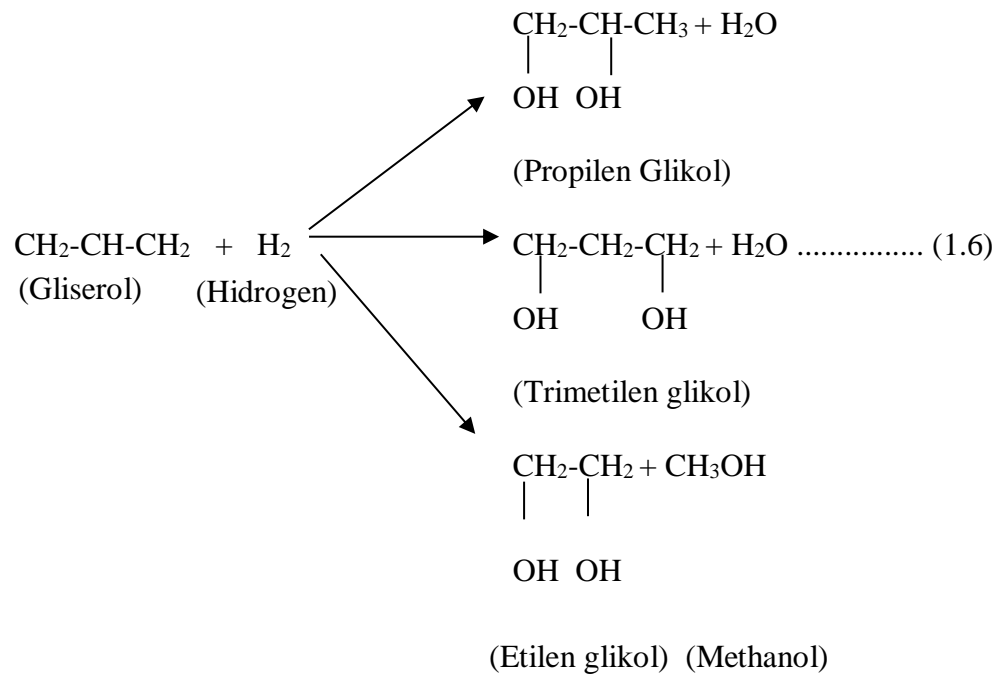
Propilen Glikol

Proses produksi propilen glikol dengan katalis basa berlangsung pada temperatur 150 - 180°C dan tekanan 1 atm (Miller dan Jackson, 2008). Penggunaan katalis asam maupun basa dapat meningkatkan kecepatan reaksi. Pada kondisi pH lebih dari 12, reaksi hidrolisis propilen oksida dengan katalis basa tidak digunakan dalam industri karena :

- a. Basa kuat membutuhkan pengolahan yang signifikan
- b. Memerlukan penghilangan basa sebelum distilasi
- c. Lebih banyak menghasilkan glikol tingkat tinggi
- d. Menghasilkan isomer diglikol yang tidak diinginkan

(McKetta dan Cunningham, 1990)

2. Proses pembuatan propilen glikol dengan hidrogenasi gliserol



Proses produksi propilen glikol dengan proses hidrogenasi gliserol berlangsung pada temperature 160 - 240°C dengan tekanan 27 - 109 atm. Reaksi ini menggunakan katalis berupa 2,5% kobalt, 0,45% paladium, dan 2,4% renium. Konversi yang dihasilkan pada proses ini sebesar 75 - 77% (Obergh dkk., 2015).

Berikut ini disajikan perbedaan beberapa jenis proses produksi propilen glikol dalam berbagai aspek:

Tabel 2.1 Berbagai Proses Produksi Propilen Glikol

Parameter	Jenis Proses			
	Hidrolisis propilen oksida tanpa katalis	Hidrolisis propilen oksida dengan katalis asam	Hidrolisis propilen oksida dengan katalis basa	Hidrogenasi gliserol dengan katalis padat
Reaktan	Propilen Oksida dan Air	Propilen Oksida dan Air	Propilen Oksida dan Air	Gliserol
Suhu Operasi	180 – 220°C	150 – 180°C	150 - 180°C	160 - 240°C
Tekanan Operasi	14.8 - 24.6 atm	1 atm	1 atm	27 - 109 atm
Fase Reaksi	Cair	Cair	Cair	Cair
Konversi	90%	90%	-	75 - 77%
Katalis	-	Asam	Basa	2,5% Kobalt 0,45% Paladium 2,4% Renium
Keterangan	Reaksi ini berlangsung pada tekanan tinggi. Perbandingan propilen oksida dan air adalah 1:15, air dibuat <i>excess</i> .	Katalis asam harus dinetralkan sebelum masuk menara distilasi untuk menghindari penurunan kualitas produk di reboiler.	Basa kuat membutuhkan pengolahan yang signifikan. Menghasilkan isomer diglikol yang tidak diinginkan. Lebih banyak menghasilkan glikol tingkat tinggi.	Proses ini menghasilkan beberapa produk samping seperti etilen glikol, sodium laktat, dan propanol yang membuat proses pemisahan lebih rumit.
Sumber	(Ullmann, 2012)	(Miller dan Jackson, 2008)	(Miller dan Jackson, 2008)	(Oberg dkk., 2015)

Tabel 2.2 Kelebihan dan Kekurangan Berbagai Proses Produksi Propilen Glikol

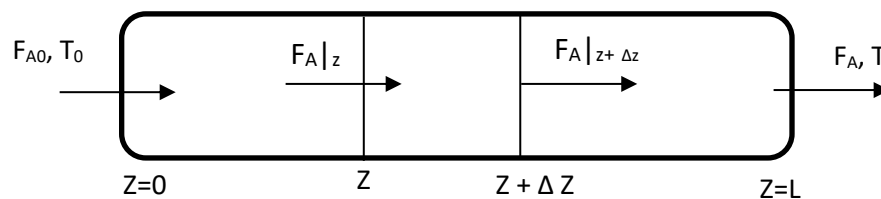
Proses	Kelebihan	Kekurangan
Hidrolisis Katalis Asam	<ul style="list-style-type: none"> - Tekanan rendah - Konversi tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> - Bahan yang diperlukan dalam proses lebih banyak - Biaya produksi lebih mahal - Alat proses yang digunakan dalam proses lebih banyak seperti <i>ion-exchanger</i> - Titik didih propilen oksida yang rendah menyebabkan terjadinya penguapan pada tekanan atmosfer
Hidrolisis Katalis Basa	<ul style="list-style-type: none"> - Tekanan rendah 	<ul style="list-style-type: none"> - Basa kuat membutuhkan pengolahan yang signifikan - Memerlukan penghilangan basa sebelum distilasi - Lebih banyak menghasilkan glikol tingkat tinggi - Menghasilkan isomer diglikol yang tidak diinginkan
Hidrogenasi Katalis	<ul style="list-style-type: none"> - Katalis tahan lama - Bahan baku merupakan produk samping biodiesel (harga murah) 	<ul style="list-style-type: none"> - Proses pemisahan rumit - Suhu operasi tinggi - Terlalu banyak produk samping - Tekanan proses tinggi - Menggunakan banyak katalis
Hidrolisis Tanpa Katalis	<ul style="list-style-type: none"> - Konversi tinggi - Alat proses yang digunakan sedikit - Bahan sedikit, dengan produk utama yang lebih banyak 	<ul style="list-style-type: none"> - Reaksi berlangsung dengan tekanan yang tinggi - Suhu dan tekanan yang digunakan tinggi

Berdasarkan daftar proses yang ditunjukkan pada Tabel 1.12, pabrik propilen glikol yang akan didirikan dengan kapasitas 50.000 ton/tahun dipilih menggunakan proses hidrolisis tanpa katalis, karena konversi yang dihasilkan tinggi serta peralatan proses dan bahan baku yang digunakan lebih sedikit dengan produk utama yang dihasilkan lebih banyak. Pembuatan propilen glikol dengan proses hidrolisis tanpa katalis, saat ini merupakan proses yang paling banyak digunakan pada industri, contohnya pada pabrik Dow Chemical, yang terletak di Brazil, Jerman, dan Thailand.

2.3 Reaktor Alir Pipa

Plug Flow Reactor atau reaktor alir pipa adalah salah satu dari jenis reaktor yang berbentuk pipa lurus, didalam pipa tersebut fluida direaksikan dengan sisteam steady state (tanpa adanya akumulasi dalam reaktor tersebut). Asumsi utama yang digunakan pada model reaktor ini adalah fluida tercampur sempurna pada setiap bagian dalam reaktor (Stenstrom, 2003). Reaktor alir pipa biasanya digunakan pada produksi skala besar, reaksi yang cepat baik reaksi homogen maupun heterogen, proses kontinyu, dan reaksi dengan suhu yang tinggi.

Berikut Persamaan matematis neraca massa dalam reaktor alir pipa



Gambar 2.1 Sketsa Matematis Reaktor

Rate of input – rate of output – rate of reaction = rate of accumulation

$$F_A|_Z - F_A|_{Z+\Delta Z} - r_A \Delta V = 0 \text{ (steady state) ; } \Delta V = \frac{\pi}{4} \times ID^2 \times \Delta Z \dots\dots\dots(2-1)$$

$$F_A|_Z - F_A|_{Z+\Delta Z} - \frac{\pi}{4} ID^2 \Delta Z r_A = 0 : \Delta Z \dots\dots\dots (2-2)$$

$$\frac{F_A|_{Z+\Delta Z} - F_A|_Z}{\Delta Z} = - \frac{\pi}{4} ID^2 r_A \dots\dots\dots (2-3)$$

Jika limit $\Delta Z \longrightarrow 0$, maka diperoleh

$$\frac{dF_A}{dZ} = - \frac{\pi}{4} D^2 r_A \dots\dots\dots(2-4)$$

$$\triangleright F_A = F_{A0}(1 - X_a) \dots\dots\dots (2-5)$$

$$F_A = F_{A0} - F_{A0}X_a \dots\dots\dots (2-6)$$

Jika F_A diturunkan terhadap X_a , maka;

$$\frac{dF_A}{dX_a} = -F_{A0} \dots\dots\dots (2-7)$$

$$dF_A = -F_{A0}dX_a \dots\dots\dots (2-8)$$

Menggabungkan persamaan (2-8) ke dalam persamaan (2-4)

$$\frac{-F_{A0}dX_a}{dZ} = -\frac{\pi}{4}D^2 r_A \dots\dots\dots (2-9)$$

$$\frac{dX_a}{dZ} = \frac{\pi D^2}{4F_{A0}} r_A \dots\dots\dots (2-10)$$

Keterangan :

F_{A0} = kecepatan mol propilen oksida mula-mula (kmol/h)

F_A = kecepatan mol propilen oksida (kmol/h)

r_A = kecepatan mol propilen oksida yang terkonversi menjadi produk (kmol/m³ h)

ID = diameter dalam pipa (m)

2.4 Runga-Kutta

Metode Runge-Kutta merupakan metode yang biasa digunakan untuk menyelesaikan persamaan differensial simultan. Metode ini adalah metode yang paling akurat dan stabil. Metode ini dimulai ketika Leonhard Euler memperbaiki metode Euler menjadi metode Improved Euler. Kemudian Runga menyadari bahwa metode Improved Euler memiliki kemiripan dengan metode Runga-Kutta orde dua. Beberapa tahun kemudian pada tahun 1989, Runge membuat Runge-Kutta orde empat. Runga-Kutta orde empat dibuat untuk meningkatkan akurasi untuk mendapatkan solusi yang lebih baik.

Hal tersebut bahwa tujuan dari metode ini adalah untuk mencapai akurasi yang lebih tinggi dan untuk menemukan metode yang eksplisit tingkat tinggi. Metode ini memiliki langkah yang mirip metode Euler. Metode Euler menggunakan orde satu yang hanya memerlukan satu evaluasi $f(X_n, Y_n)$ untuk mendapatkan Y_{n+1} dari Y_n . Sebaliknya, Runge Metode Kutta memiliki akurasi yang lebih tinggi. Ini mengevaluasi kembali fungsi f pada dua poin berturut-turut (X_n, Y_n) dan $(X_n + I, Y_n + I)$. Metode ini membutuhkan empat evaluasi per langkah. Karena ini, Metode Runge-Kutta cukup akurat, dan memiliki tingkat konvergensi yang lebih cepat (Hurol, 2013).

Bentuk umum metode Runge-Kutta orde n ialah :

$$y_{i+1} = y_i + a_1k_1 + a_2k_2 + \dots + a_nk_n \dots\dots\dots(2.11)$$

dengan $k_1 = hf(x_i, y_i)$

$$\begin{aligned}
k_2 &= hf(x_i + p_2h, y_i + q_{21}k_1) \\
k_3 &= hf(x_i + p_3h, y_i + q_{31}k_1 + q_{32}k_2) \\
&\dots \\
k_n &= hf(x_i + p_{n-1}h, y_i + q_{n-1,1}k_1 + q_{n-1,2}k_2 + \\
&\quad \dots + q_{n-1,n-1}k_{n-1})
\end{aligned}$$

(2.12)

Metode Runge-Kutta dengan n langkah dapat ditunjukkan kedalam sebuah tabel. Tabel ini dikenal sebagai Tabel Butcher, berikut adalah bentuk umum Metode Runge-Kutta digambarkan dalam sebuah Tabel Butcher.

0	0	0	0	...	0
p_2	q_{21}	0	0	...	0
p_3	q_{31}	q_{32}	0	...	0
...
p_n	q_{n1}	q_{n2}	q_{n3}	...	0
	a_1	a_2	a_3	...	a_n

Tabel Butcher ini berbentuk matrik segitiga bawah dimana p_2, p_2, \dots, p_n merupakan nilai x_n yang bertambah dan $q_{21}, q_{31}, \dots, q_{n3}$ merupakan hasil kali faktor q_{ij} pada persamaan k_i yang

dipengaruhi oleh y_n . Secara umum, tabel Butcher ini menunjukkan bahwa hasil aproksimasi sama dengan bentuk berikut ini :

$$y_{i+1} = y_i + h \sum_{i=1}^n a_i k_i \dots\dots\dots (2.13)$$

Dengan

$$k_i = f(x_i + hp_i, y_i + h \sum_{i=1}^n q_{ij} k_j) \dots\dots\dots (2.14)$$

Metode Runge-Kutta Orde Empat

Bentuk umum Metode Runge-Kutta Orde Empat adalah :

$$y_{i+1} = y_i + h(a_1 k_1 + a_2 k_2 + a_3 k_3 + a_4 k_4) \dots\dots\dots (2.15)$$

Dengan $k_1 = f(x_i, y_i)$

$$k_2 = f(y_i + q_{21} k_1)$$

$$k_3 = f(q_{31} k_1 + q_{32} k_2)$$

$$k_4 = f(q_{41} k_1 + q_{42} k_2 + q_{43} k_3)$$

(2.16)

Untuk mendapatkan nilai $a_1, a_2, a_3, a_4, p_2, q_{21}, q_{31}, q_{32}, q_{41}, q_{42}, q_{43}$ adalah dengan cara menguraikan k_1, k_2, k_3, k_4 dalam bentuk deret Taylor untuk fungsi dua variabel yang didefinisikan sebagai:

$$f(x, y) = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{i!} \left[(x - x_n) \frac{\partial}{\partial x} + (y - y_n) \frac{\partial}{\partial y} \right]^i f(x_n, y_n) \dots\dots\dots (2.17)$$

Dengan menjabarkan k_i ke dalam ruas kanan pada persamaan (2.7) maka akan diperoleh :

$$k_1 = f_i$$

$$k_2 = f(y_i + q_{21}k_1)$$

$$= f + hq_{21}ff_y + \frac{h^2}{2}q_{21}^2f^2f_{yy} + \frac{h^3}{6}q_{21}^3f^3f_{yyy} + \dots$$

$$k_3 = f(q_{31}k_1 + q_{32}k_2)$$

$$= f + hAff_y + h^2(q_{21}q_{32}ff_y^2 + \frac{1}{2}A^3f^2f_{yy}) + h^3(\frac{1}{2}q_{21}^2q_{32}f^2f_yf_{yy} + q_{21}Aq_{32}f^2f_yf_{yy} + \frac{1}{6}A^3f^3f_{yyy}) + \dots$$

$$k_4 = f(q_{41}k_1 + q_{42}k_2 + q_{43}k_3)$$

$$= f + hBff_y + h^2(q_{21}q_{42}ff_y^2 + Aq_{43}ff_y^2 + \frac{1}{2}B^2f^2f_{yy}) + h^3(\frac{1}{2}q_{21}^2q_{42}Bf^2f_yf_{yy} + q_{43}\frac{A^2}{2}f^2f_yf_{yy} + B(q_{21}q_{42} + q_{43}Af^2f_yf_{yy} + q_{43}q_{32}q_{21}ff_y^3 + \frac{1}{6}B^3f^3f_{yyy})) + \dots$$

(2.18)

Untuk memperoleh nilai parameter $a_1, a_2, a_3, a_4, p_2, q_{21}, q_{31}, q_{32}, q_{41}, q_{42}, q_{43}$ adalah dengan cara menstutitusikan persamaan (2.32), (2.33), (2.34), dan (2.35) dimana $A = q_{31} + q_{32}$ dan $B = q_{41} + q_{42} + q_{43}$ kedalam persamaan (2.30). Kemudian gunakan penyelesaian pendekatan deret Taylor untuk mendapatkan parameter tersebut sehingga diperoleh:

$$a_1 + a_2 + a_3 + a_4 = 1$$

$$a_2q_{21} + a_3A + a_4B = \frac{1}{2}$$

$$\begin{aligned}
a_2 q_{21}^2 + a_3 A^2 + a_4 B^2 &= \frac{1}{3} \\
a_2 q_{21}^3 + a_3 A^3 + a_4 B^3 &= \frac{1}{4} \\
a_2 q_{32} q_{21} + a_4 q_{42} q_{21} + a_4 q_{43} A &= \frac{1}{6} \\
a_2 q_{32} q_{21}^2 + a_4 q_{42} q_{21}^2 + a_4 q_{43} A^2 &= \frac{1}{12} \\
a_2 q_{32} q_{21} A + a_4 B (q_{42} q_{21} + q_{43} A) &= \frac{1}{8} \\
a_4 q_{43} q_{32} q_{21} &= \frac{1}{24}
\end{aligned}
\tag{2.19}$$

Persamaan (2.9) terdiri dari 8 persamaan dengan 10 parameter sehingga dapat diambil 3 parameter bebas misalnya:

$$q_{21} = \frac{1}{3}, A = \frac{1}{3}, B = 1 \dots\dots\dots (2.20)$$

Substitusikan 3 parameter q_{21}, A, B ke persamaan (2.9) dan diperoleh:

$$q_{21} = \frac{1}{3}, q_{31} = \frac{1}{3}, q_{41} = 1, q_{32} = 1, q_{42} = -1, q_{43} = 1$$

$$a_1 = \frac{1}{8}, a_2 = \frac{3}{8}, a_3 = \frac{3}{8}, a_4 = \frac{1}{8}$$

(2.21)

Kemudian substitusikan (2.10) dan (2.11) pada (2.5) akan diperoleh rumus

Runge-Kutta orde 4 Kutta.

$$y_{i+1} = y_i + \frac{1}{8} (k_1 + 3k_2 + 3k_3 + k_4) \dots\dots\dots (2.22)$$

Dengan $k_1 = hf(y_i)$

$$k_2 = hf\left(y_i + \frac{k_1}{3}\right)$$

$$k_3 = hf\left(y_i + \frac{k_1}{3} + k_2\right)$$

$$k_4 = hf(y_i + k_1 - k_2 + k_3)$$

(2.23)

Berikut ini adalah Runge-kutta orde empat Kutta dalam bentuk Tabel Butcher :

0	0	0	0	0
1/3	1/3	0	0	0
2/3	1/3	0	0	0
1	1	-1	1	0
	1/8	3/8	3/8	1/8

Selain berbentuk Kutta Metode Runge-Kutta orde empat juga memiliki bentuk lain.

Hal ini terjadi karena Metode Runge-Kutta orde empat memiliki solusi yang tidak unik atau memiliki banyak solusi dikarenakan terdapat 10 parameter bebas.

Jika dipilih tiga parameter bebas $q_{21} = \frac{1}{3}, A = \frac{1}{3}, B = 1$ maka akan terbentuk

metode Runge-kutta Klasik sebagai berikut :

$$y_{i+1} = y_i + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_2 + k_4) \dots\dots\dots(2.24)$$

Dengan $k_1 = hf(y_i)$

$$k_2 = hf(y_i + \frac{k_1}{2})$$

$$k_3 = hf(y_i + \frac{k_2}{2})$$

$$k_4 = hf(y_i + k_3) \tag{2.25}$$

Persamaan (2.14) dikenal sebagai Metode Runga-Kutta orde empat klasik.

(Supinah,2011)

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

1. Tipe reaktor pada prarancangan pabrik propilen glikol adalah reaktor alir pipa (*plug flow reaktor*) dengan kondisi operasi adibatis.
2. Suhu masuk reaktor adalah 453,15 K, suhu keluaran reaktor 489,89 K dan tekanan dalam reaktor sebesar 24,6 atm
3. Reaktor menggunakan bahan *Carbon Steel SA 283 grade C* karena reaktan dan produk tidak bersifat asam
4. Diameter dalam reaktor 2,552 m
5. Tebal shell reaktor 0,0572 m , tebal isolasi 0,2979 m, dan tebal head reaktor 0,0286 m
6. Tipe *head* yang digunakan pada reaktor adalah *hemispherichal* karena reaktor bertekanan tinggi.
7. Panjang total reaktor adalah 17,578 m

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

- Benham, A.L., dan Kurata, F. 1955. Kinetics of the Catalyzed and Uncatalyzed Liquid-Phase Hydration of Propylene Oxide. *Journal of AIChE*, Vol.1. No. 118–124
- Brownell, Lloyd E, Young, Edwin H. 1959. *Process Equipment Design: Process Vessel Design*. John Wiley & Sons, Inc. New York
- Hartarto, A. 2017. Rencana Kerja Kementerian Perindustrian Tahun 2018. Kementerian Perindustrian 2017.
- Hernandez, O. 2001. 1,2-Dihydroxypropane. Amerika Serikat: Unep Publication.
- Hurol, Simruy. 2013. *Numerical Methods for Solving Systems of Ordinary Differential Equations*. Eastern Mediterranean University, Gazimağusa, North Cyprus.
- Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. 2018. Direktori Perusahaan Industri. Jakarta : Kemenprin. Diakses dari <http://www.kemenperin.go.id/direktori-perusahaan> (23 Oktober 2018)
- Kirk, R.E., dan Othmer, D.F. 1983. *Encyclopedia of Chemical Engineering Technology*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Martin, A.E., dan Muphy, F.H. 1994. *Glycols Propylene Glycols*. Dow Chemical Company, Vol. 12.
- McKetta, J.J. and Cunningham, W. A. 1993. *Encyclopedia of Chemical Processing and Design*, vol. 45, Marcel Decker, Inc, New
- Miller, D. J., dan Jackson, J. E. 2008. (12) Patent Application Publication (10) Pub.No. US 2008/0242898A1, 1(19).
- Oberg, A.A., Us, W.A., dan Zacher, A.H. 2015. (12) United States Patent (10) Patent No. Recycle: 44g Propylene Glycol 11g Water 633g Ethylene Glycol, NaOH, Byproducts 31g Propylene Glycol NaOH, Byproducts, 2 (12).
- Sulaiman, F. 2016. *Mengenal Industri Petrokimia*. Untirta Press:Banten. ISBN. 9786021013526.
- Supinah.2011. *Modifikasi Metode Runge Kutta Orde Empat (Kutta) Berdasarkan Rata-Rata Kontra Harmonik*. Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
- Stenstrom, Michael K, Diego Rosso.2003. *Fundamentals of Chemical Reactor Theory*. University of California, Los Angeles.

Ullmann's. 2012. Encyclopedia of Industrial Chemistry. Wiley-VCH Verlag & Co.KGaA. Weinheim.