



***REACTOR DESIGN* PADA PABRIK SORBITOL MELALUI PROSES
HIDROGENASI KATALITIK DENGAN BANTUAN KATALIS NIKEL**

Skripsi

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

Oleh

Muhammad Yasir Adhi Utomo

NIM. 5213415058

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
SEMARANG**

2019

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama Mahasiswa : Muhammad Yasir Adhi Utomo

NIM : 5213415058

Skripsi Dengan Judul "*Reactor Design* pada Pabrik Sorbitol Melalui Proses Hidrogenasi dengan Bantuan Katalis Nikel" telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 5 Agustus 2019

Dosen Pembimbing



Ria Wulansarie, S.T., M. T.

NIP. 199001272015042001

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi Dengan Judul “*Reactor Design* pada Pabrik Sorbitol Melalui Proses Hidrogenasi dengan Bantuan Katalis Nikel” telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada Tanggal 15 Bulan Agustus Tahun 2019.

Oleh

Nama : Muhammad Yasir Adhi Utomo
NIM : 5213415058
Program Studi : Teknik Kimia

Panitia:

Ketua

Sekretaris



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



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

Penguji I

Penguji II

Pembimbing



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



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



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

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik Unnes



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan:

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, 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 dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 5 Agustus 2019

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Yasir Adhi Utomo
NIM. 5213415058

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO :

“Jika kamu tidak dapat menahan lelahnya belajar, maka kamu harus sanggup menahan perihnya kebodohan.” (Imam Syafi’i)

“Waktu itu bagaikan pedang, jika kamu tidak menggunakannya untuk memotong, maka ia akan memotongmu.” (H.R. Muslim)

“Ora Et Labora (Bekerja dan Berdoa).”

PERSEMBAHAN

1. Allah SWT
2. Rasulullah Muhammad SAW
3. Ayah dan Ibu
4. Kakak dan Adik-adik
5. Keluarga Besar
6. Dosen-dosen Teknik Kimia
7. Teman-teman Teknik Kimia 2015
8. Almamaterku

ABSTRAK

Muhammad Yasir Adhi Utomo. 2019. *Reactor Design* Pada Pabrik Sorbitol Melalui Proses Hidrogenasi Katalitik Dengan Bantuan Katalis Nikel. Skripsi Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Dosen Pembimbing Ria Wulansarie, S.T., M.T.

Sorbitol sangat banyak digunakan dalam kehidupan manusia. Sorbitol dapat dipilih sebagai alternatif glukosa bagi penderita diabetes, sebagai bahan baku pembuatan vitamin C, dalam industri kosmetik seperti krim, salep, emulsi, lotion, gel dan terutama pada pasta gigi. Pabrik ini diharapkan dapat mengurangi kebutuhan impor sorbitol Indonesia dan mencukupi kebutuhan dalam negeri. Pabrik sorbitol dengan bahan baku glukosa dan hidrogen yang berlebih direncanakan akan didirikan di kawasan Industrial Estate Cilegon dengan kapasitas 90.000 ton/tahun dan beroperasi selama 330 hari. Proses pembuatan sorbitol menggunakan proses hidrogenasi katalitik di dalam *fixed bed* reactor. Reaksi sorbitol berlangsung dalam fase gas-cair, pada suhu 145°C dan tekanan 51 atm dan reaksi bersifat eksotermis. Penelitian prarancangan pabrik ini berfokus pada desain reaktor. Reaktor yang digunakan adalah reaktor *fixed bed* dengan model *single bed* dengan kondisi operasi tekanan 51 atm dan suhu masuk 145°C. Perancangan reaktor ini menggunakan metode runge-kutta orde 4. Hasil dari perhitungan didapatkan diameter dalam shell 2,07 meter, panjang reaktor 6,121 meter, tebal shell reaktor 0,057 meter dan tebal head reaktor 0,028 m. Reaktor bekerja secara eksotermis sehingga reaktor dirancang dengan dilapisi jaket pendingin agar suhu reaksi terjaga pada suhu 145°C. Bahan perancangan reaktor menggunakan bahan stainless steel SA-167 grade 3 type 304 dengan jenis tutup *hemispherical*.

Kata kunci: Sorbitol, Dekstrosa, Hidrogenasi Katalitik, Katalis Nikel, Reaktor *Fixed Bed*

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 “*Reactor Design* Pada Pabrik Sorbitol Melalui Proses Hidrogenasi Katalitik Dengan Bantuan Katalis Nikel”.

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

- 1.
2. Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang.
3. Ria Wulansarie, S. T., M. T., selaku dosen pembimbing yang selalu memberi bimbingan, motivasi dan arahan yang membangun dalam penyusunan Skripsi.
4. Dr. Widi Astuti, S. T., M. T., dan Dr. Dewi Selvia Fardhyanti, S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan pengarahan dalam penyempurnaan penyusunan Skripsi.
5. Kedua orang tua dan keluarga atas dukungan doa, materi, dan semangat yang senantiasa diberikan tanpa kenal lelah.
6. Teman-teman Teknik Kimia Angkatan 2015 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, 8 Agustus 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN PENULIS	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Rumusan Masalah	5
1.5 Tujuan Penelitian.....	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Sorbitol	7
2.2 Proses Pembuatan Sorbitol	8
2.3 Reaktor Fixed Bed.....	11
2.3.1 Kelebihan dan Kekurangan Reaktor Fixed Bed	14
2.3.2 Macam-macam Reaktor Fixed Bed	11
2.4 Runga Kutta.....	17
2.5 Tinjauan Termodinamika	17
2.6 Tinjauan Kinetika	21

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	25
3.2 Alat dan Bahan	25
3.3 Prosedur Kerja.....	25

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemilihan Jenis Reaktor	27
4.2 Pemilihan Bahan Konstruksi	27
4.3 Pembentukan Persamaan Matematis	27
4.4 Penentuan Dimensi Reaktor	30
4.4.1 Menghitung Densitas Campuran	30
4.4.2 Menghitung Viskositas Campuran	34
4.4.3 Spesifikasi Katalis	35
4.4.4 Menentukan Kecepatan Volumetrik Umpan	38
4.4.5 Menentukan Diameter Reaktor	38
4.4.6 Menentukan Tebal <i>Shell</i>	39
4.4.7 Menentukan Diameter Luar <i>Shell</i>	41
4.4.8 Menentukan Tinggi <i>Bed</i>	41
4.4.9 Menentukan Tebal <i>Head</i> Reaktor.....	46
4.4.10 Menentukan Tinggi Reaktor.....	47
4.4.11 Menentukan Volume Reaktor	50
4.4.12 Menentukan Waktu Tinggal	50
4.4.13 Menentukan Massa Katalis	51
4.4.14 Menentukan <i>Pressure Drop</i>	51
4.4.15 Menentukan Dimensi Jacket Pendingin	52

BAB 5 PENUTUP

4.1 Simpulan.....	55
4.2 Saran	55

DAFTAR PUSTAKA	56
-----------------------------	-----------

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Proses Pembuatan Sorbitol.....	10
Tabel 2.2 Data Entalpi Pembentukan Panas Standar	18
Tabel 4.1 Data Umpan Masuk Reaktor	30
Tabel 4.2 Data Propertis Masing-masing Komponen	32
Tabel 4.3 Data Acentris Komponen	32
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Densitas	33
Tabel 4.5 Data Viskositas Komponen Liquid	35
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Viskositas Liquid.....	36
Tabel 4.7 Data Viskositas Komponen Gas.....	36
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Viskositas Gas	37
Tabel 4.9 Data Kapasitas Panas tiap Komponen.....	41
Tabel 4.10 Data Entalpi Pembentukan Panas Standar.....	41
Tabel 4.11 Hubungan Antara Panjang bed, konsentrasi Sorbitol dan konversi .	55
Tabel 4.12 Batasan Umum Fixed Bed.....	55
Tabel 4.13 Rangkuman Hasil Desain	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Kimia Sorbitol	7
Gambar 4.1 Reaktor <i>Fixed Bed Single Bed</i>	26
Gambar 4.2 Sketsa Neraca Massa Pada Elemen ΔV	28
Gambar 4.3 Sketsa Neraca Panas Pada Elemen ΔV	29
Gambar 4.4 Desain <i>Head Vessel</i>	48

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri kimia yang pesat di Indonesia, diharapkan dapat memberikan kontribusi yang besar bagi pendapatan negara. Adanya perkembangan industri kimia maka kebutuhan akan bahan baku industri tersebut semakin meningkat. Bahan baku industri ada yang diperoleh dari dalam negeri dan ada pula dengan cara impor. Guna meningkatkan pendapatan negara maka impor bahan kimia perlu dikurangi, sebaliknya ekspor bahan kimia perlu ditingkatkan. Salah satunya dengan pendirian pabrik-pabrik baru untuk memenuhi kebutuhan bahan baku industri kimia dalam negeri saat ini.

Salah satu kebutuhan bahan kimia terbesar di dunia adalah gula. Secara historis industri gula merupakan salah satu industri perkebunan tertua dan terpenting yang ada di Indonesia. Sejarah menunjukkan bahwa Indonesia pernah mengalami era kejayaan industri gula pada tahun 1930-an dimana jumlah pabrik gula yang beroperasi adalah 179 pabrik gula (PG), produktivitas sekitar 14,8 % dan rendemen mencapai 11%-13,8%, dengan produksi puncak mencapai sekitar 3 juta ton. Selain itu, ekspor gula juga pernah mencapai sekitar 2,4 juta ton (Sudana et al., 2000).

Kebutuhan gula di dunia pada tahun 2015 mencapai 130-178 juta ton/tahun (World Cancer Research Fund International, 2015). Besarnya kebutuhan gula tersebut memicu munculnya gula-gula alternatif sebagai bahan pemanis

buatan. Berdasarkan proses produksi gula dikenal dua jenis yaitu sintesis dan alami. Pemanis buatan menurut Karunia (2013) dihasilkan dari proses kimia diantaranya sakarin, siklamat, aspartam, dulsin, sorbitol, dan masih banyak lagi. Namun tidak semua pemanis buatan diperbolehkan penggunaannya di Indonesia. Pemanis alami merupakan pemanis yang terbuat dari tumbuhan dan hasil hewan. Contoh dari pemanis alami antara lain sukrosa, dekstrosa, dan fruktosa. Dekstrosa dan sukrosa dapat diperoleh dalam bentuk gula pasir, gula jawa atau gula kelapa (Karunia, 2013).

Salah satu pemanis buatan yang banyak digunakan di industri adalah sorbitol. Sorbitol merupakan nama pasar untuk D-glucitol dan mempunyai nama lain D-glisitol, D-sorbitol, D-glukoheksana, 1-2-3-3-4-5-6 hexanol. Sorbitol merupakan senyawa organik gugus heksitol yang termasuk dalam golongan polyol atau senyawa alkohol, serta memiliki rumus molekul $C_6H_{14}O_6$ atau $C_6H_8(OH)_6$ (Othmer, 1960). Sorbitol pertama kali ditemukan oleh ahli kimia dari Perancis yaitu Joseph Boosingault pada tahun 1872 dari biji tanaman bunga ros. Zat ini berupa bubuk kristal berwarna putih yang higroskopis, tidak berbau dan berasa manis.).

Proses pembuatan sorbitol secara umum terbagi menjadi tiga macam proses yaitu proses reduksi elektrolitik, proses hidrogenasi katalitik dan proses fermentasi. Proses pembuatan sorbitol dipilih menggunakan proses hidrogenasi katalitik, karena konversi reaksi yang dihasilkan tinggi yaitu 80,5%-99,5% serta menggunakan peralatan proses dan bahan baku yang digunakan lebih sedikit sehingga lebih murah dibanding dengan kedua proses tersebut. Proses pembuatan

sorbitol dengan hidrogenasi katalitik dilakukan dengan cara mereaksikan dekstrosa dan gas hidrogen bertekanan tinggi (39-118 atm) dengan bantuan katalis nikel di dalam reaktor pada suhu 130-180°C, sehingga kontak yang terjadi semakin baik (US Patent, 1982). Katalis nikel dipilih karena kinerjanya lebih baik dibandingkan dengan katalis jenis lain, selain itu katalis nikel ini lebih stabil pada aktivitas reaksi yang tinggi (Hoffer, 2003; US Patent, 1982). Alat utama yang digunakan pada produksi sorbitol adalah *mixer*, reaktor, flash drum dan evaporator.

Proses utama pada produksi sorbitol terjadi pada alat pereaksi yang disebut reaktor. Reaktor merupakan suatu alat proses tempat di mana terjadinya suatu reaksi berlangsung secara proses kimia. Reaksi inilah suatu bahan berubah ke bentuk bahan lainnya, perubahannya ada yang terjadi secara spontan alias terjadi dengan sendirinya atau bisa juga butuh bantuan energi seperti panas (contoh energi yang paling umum). Pemilihan jenis reaktor bergantung pada proses reaksi yang terjadi, pada proses hidrogenasi katalitik digunakan reaktor *fixed bed* dengan bentuk *single bed*. Hal ini dikarenakan reaktor *fixed bed* didalamnya terdapat *bed* sebagai tempat katalis dan zat pereaksinya berfase gas atau liquid. Selain itu, suhu operasi cukup besar yaitu 145 °C dan tekanan 51 atm sesuai dengan spesifikasi reaktor *fixed bed*. Pada perancangan reaktor *fixed bed* digunakan bahan konstruksi stainless steel SA 240 grade 304 dengan pertimbangan : memiliki ketahanan korosi yang sangat baik, tekanan maksimum yang diijinkan sebesar 125 atm dan suhu operasi yang dijalankan lebih dari 145 °C.

Penentuan dimensi reaktor dilakukan dengan beberapa metode perhitungan dan model matematis dalam menyelesaikan persamaan

differensialnya. 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 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 runga kutta orde 4 yang memiliki akurasi paling tinggi diantara metode runga kutta orde 1,2 dan 3. Oleh karena itu, dilakukan studi mengenai *reactor design* atau perancangan reaktor pada pabrik sorbitol melalui proses hidrogenasi katalitik dengan bantuan katalis nikel.

1.2 Identifikasi Masalah

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

1. Sorbitol merupakan bahan kimia pemanis buatan yang masih banyak dibutuhkan di Indonesia, tetapi keberadaannya tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan tersebut sehingga masih impor dari negara lain.
2. Reaktor *fixed bed* bentuk *single bed* merupakan alat penting pada pembuatan sorbitol dengan proses hidrogenasi katalitik dengan bantuan katalis nikel.

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

1.4 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana proses perancangan reaktor *fixed bed single bed* pada pabrik sorbitol dengan proses hidrogenasi katalitik?
2. Bagaimana cara mengaplikasikan metode *Runge-Kutta* orde empat pada proses perancangan tinggi reaktor *fixed bed single bed* pada pabrik sorbitol dengan proses hidrogenasi katalitik?
3. Bagaimana hasil perancangan reaktor *fixed bed single bed* pada pabrik sorbitol dengan proses hidrogenasi katalitik?

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana proses perancangan reaktor *fixed bed single bed* pada pabrik sorbitol dengan proses hidrogenasi katalitik?
2. Bagaimana cara mengaplikasikan metode *Runge-Kutta* orde empat pada proses perancangan tinggi reaktor *fixed bed single bed* pada pabrik sorbitol dengan proses hidrogenasi katalitik?
3. Bagaimana hasil perancangan reaktor *fixed bed single bed* pada pabrik sorbitol dengan proses hidrogenasi katalitik?

1.6 Manfaat Penelitian

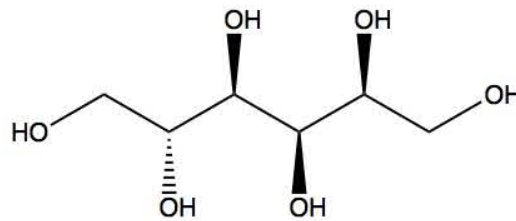
1. Memberikan pengetahuan mengenai langkah perancangan reaktor *fixed bed* pada pabrik sorbitol melalui proses hidrogenasi katalitik dengan bantuan katalis nikel
2. Dapat mengaplikasikan penggunaan metode *runge-kutta* orde 4 dalam menyelesaikan persamaan differential pada perancangan reaktor *fixed bed*.

BAB II

TINJUAN PUSTAKA

2.1 Sorbitol

Sorbitol merupakan nama pasar untuk D-glucitol dan mempunyai nama lain D-glisitol, D-sorbitol, D-glukoheksana, 1-2-3-3-4-5-6 hexanol. Sorbitol merupakan senyawa organik gugus heksitol yang termasuk dalam golongan polyol atau senyawa alkohol, serta memiliki rumus molekul $C_6H_{14}O_6$ atau $C_6H_8(OH)_6$ (Othmer, 1960).



Gambar 2.1 Struktur Kimia Sorbitol

Sorbitol pertama kali ditemukan oleh ahli kimia dari Perancis yaitu Joseph Boosingault pada tahun 1872 dari biji tanaman bunga ros. Zat ini berupa bubuk kristal berwarna putih yang higroskopis, tidak berbau dan berasa manis. Sorbitol larut dalam air, gliserol, *propylene glycol*, serta sedikit larut dalam metanol, etanol, asam asetat, phenol dan acetamida. Namun tidak larut hampir dalam semua pelarut organik. Sorbitol merupakan polihidrat yang serupa dengan gliserin dan merupakan gula alkohol yang mudah larut dalam air. Sorbitol secara komersial dibuat dari glukosa yang dihidrogenasi tekanan tinggi atau reduksi elektrolit melalui reaksi kimia. Konversi glukosa ke dalam bentuk sorbitol

merupakan reaksi adisi dua unsur hidrogen terhadap aldosa (glukosa) melalui pemutusan ikatan rangkap C dan O pada gugus fungsional aldehid.

Sorbitol merupakan pemanis yang sebagian besar ditemukan dalam berbagai produk makanan (Fleeson, 2017). Sorbitol digunakan sebagai pemanis makanan, pelembab, bahan baku pasta gigi, vitamin C, bahan baku pembuatan surfaktan dan bahan baku industri kimia lain. Kegunaan sorbitol yang cukup luas menjadikan sorbitol diproduksi secara komersial di berbagai negara di seluruh dunia (Ullmann's, 2003).

Saat ini di Indonesia terdapat tiga perusahaan yang memproduksi sorbitol secara komersial, yaitu PT. Sorini Agro Asia Corporindo Tbk dengan kapasitas produksi 124.000 ton/tahun, PT. Budi Kimia Raya dengan kapasitas 6.700 ton/tahun dan PT. Sama Satria Pasifik dengan kapasitas 6.000 ton/tahun. Sehingga total kapasitas produksi produsen sorbitol di Indonesia mencapai 136.700 ton/tahun (Fleeson, 2017).

2.2 Proses Pembuatan Sorbitol

Pembuatan sorbitol dapat dilakukan dengan berbagai jenis bahan baku dan dengan kondisi operasi serta konversi yang *berbeda-beda* di setiap masing-masing proses. Pertama kali pembuatan sorbitol dilakukan pada tahun 1908 dengan cara mereduksi gula dengan natrium amalgamat dan dielektrolisa. Pada tahun 1944 dikembangkan proses pembuatan sorbitol dari bahan glukosa dan gas hidrogen dengan bantuan katalis nickel.

Pada tahun 2012 mulai dikembangkan proses pembuatan sorbitol dengan menggunakan enzyme GFOR dan mikroba *zymomonas mobilis* dengan bahan baku dekstrosa dan fruktosa. Berikut macam-macam proses pembuatan sorbitol secara komersial terdapat tiga proses yaitu:

1. Proses Reduksi Elektrolitik

Bagian utama dari proses ini adalah "elektrolitik cell" yang merupakan tempat terjadinya reduksi D-glukosa menjadi sorbitol. Biasanya pada bagian ini dilengkapi dengan sumber arus yang tidak berfluktuasi. Elektroda yang dipakai adalah amalgam sebagai katoda dan timbal sebagai anoda, larutan yang dipakai KOH dan Na₂SO₄. Pada prinsipnya dekstrosa akan direduksi dengan H₂ sebagai hasil proses elektrolisis diatas. Dari proses diatas akan dihasilkan sorbitol (Tang, 2003).

2. Proses Hidrogenasi Katalitik

Proses pembuatan sorbitol dengan hidrogenasi katalitik dilakukan dengan cara mereaksikan dekstrosa dan gas hidrogen bertekanan tinggi (39-118 atm) dengan menggunakan katalis *nickel* dalam reaktor pada suhu 130-180°C, sehingga kontak yang terjadi semakin baik (US Patent, 1982).

3. Proses Fermentasi

Penggunaan bakteri *zymomonas mobilis* AT untuk menghasilkan sorbitol dari fruktosa merupakan salah satu cara alternatif yang dapat dipilih untuk menghasilkan sorbitol. Proses pembentukan sorbitol dengan fermentasi dimana bakteri *zymomonas mobilis* akan mereduksi dekstrosa menjadi asam glukonat dan fruktosa menjadi sorbitol sesuai dengan siklus *Entner Doudoroff* (Ageng, 2008).

Enzim berfungsi untuk mempertahankan kinerja dari bakteri *zymomonas mobilis* pada saat fermentasi agar tidak menghasilkan produk utamanya yaitu etanol. Sorbitol dan asam glukonat merupakan hasil samping dari bakteri *zymomonas mobilis* (Vignoli *et al.*, 2006).

Dari proses yang telah disebutkan di atas, maka dipilih proses hidrogenasi katalitik untuk pembuatan sorbitol dengan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut:

Tabel 2.1 Perbandingan Proses Pembuatan Sorbitol

No	Parameter	Proses		
		Reduksi Elektrolitik	Hidrogenasi Katalitik	Fermentasi
1	Segi Proses			
	Bahan Baku	Glukosa (Creighton, <i>et al.</i> , 1943)	D-Glukosa (Dekstrosa) (Chao, <i>et al.</i> , 1982)	Dekstrosa, Fruktosa (Scopes, <i>et al.</i> , 1988)
	Alat reaksi utama	Katode: Amalgam Anode: Timbal (Tang, 2003)	Reaktor: <i>Fixed bed</i> , Slurry tank reactor, Trickle <i>bed</i>	Reaktor: Bioreaktor (Vignoli, 2006)
	Bahan pendukung	Larutan: KOH dan H ₂ SO ₄ (Tang, 2003)	Katalis: Nickel, Nikel, (Wisniak, 1979)	Bakteri: <i>zymomonas mobilis</i> (Vignoli, 2006)
	Kondisi Operasi	T: 120-140°C P: 125 atm (Dewi <i>et al.</i> , 2014)	T: 130-180°C P: 39-118 atm (US Patent, 1982)	T: 50-60°C P: - (Shuler, 1992)
	Konversi reaksi	80 % (Tang, 2003)	80,5-99,5% (US Patent, 1982)	95 % (Vignoli, 2006)
	Kualitas produk	Kualitas produk rendah karena bahan-bahan impuritas dari	Kualitas produk tinggi karena bahan-bahan impuritas dari hasil reaksi	Kualitas produk rendah karena bahan-bahan impuritas dari

		hasil reaksi samping lebih banyak, kemurnian sorbitol 50-60% (Dewi <i>et al.</i> , 2014)	samping sedikit, kemurnian sorbitol $\geq 70\%$ (Dewi <i>et al.</i> , 2014)	hasil reaksi samping lebih banyak, kemurnian sorbitol 50-60% (Dewi <i>et al.</i> , 2014)
2	Segi Ekonomi	Harga elektroda mahal	Bahan tambahan seperti gas hidrogen dan katalis nikel mudah dijangkau sehingga lebih murah serta efektif	Biaya tambahan seperti pengaturan kadar pH pada dan proses pemisahan produk menggunakan ultrafiltrasi membran yang cukup mahal

2.3 Reaktor *Fixed Bed*

Reaktor *Fixed Bed* merupakan suatu reaktor yang mana katalis berdiam didalam reaktor *bed*. Di dalam reaktor, katalis ditopang oleh suatu struktur *catalyst support* berupa *perforated tray* dengan tambahan lapisan inert semacam ceramic balls dengan diameter bervariasi sesuai dengan ukuran partikel katalis baik di sisiter bawah maupun di lapisan atas *bed* katalisator.

Secara spesifik, reaktor *fixed bed* yang ada di unit pengolahan minyak bumi dirancang oleh vendor berdasarkan kebutuhan proses. Struktur internal reaktor pun berbeda dari vendor satu dengan lainnya. Karena sifatnya yang sangat spesifik, perancangan reaktor itu sendiri biasanya juga terkait dengan prosesnya, misalnya perancangan reaktor *fixed bed* untuk *unicracking* akan berbeda dengan perancangan reaktor *fixed bed* untuk MSDW *Lube Catalytic Dewaxing*. Hal ini

terkait dengan kebutuhan proses, terutama terkait dengan kebutuhan katalis yang sangat spesifik tergantung pada vendornya masing-masing. Meskipun demikian, secara umum bagian-bagian internal reaktor tetapsama, hanya saja tiap lisensor proses maupun vendor reaktor tersebut memilikitypical design masing-masing yang diharapkan mampu mengoptimalkan fungsidari reaktor tersebut.

Bagian utama dari sebuah reaktor *fixed bed* adalah reaktor vessel, reaktor internals, katalisator, inert dan graded katalisator.

1. Reaktor vessel

Reaktor vessel pada umumnya menyediakan tempat bagi katalis dan tempat berlangsungnya kontak antara minyak umpan dan katalis yang kemudian terjadi reaksi. Reaktor vessel dirancang dengan dasar perancangan pressure vessel (ASME BPVC Section VIII Division 2). Kunci dari perancangan reaktor vessel ini adalah pemilihan material, allowable working pressure, dimensi dan ketebalan dinding vessel. Reaktor *fixed bed* biasanya digunakan untuk umpan (pereaktan) yang mempunyai viskositas kecil.

2. Reaktor Internal

Struktur internal reaktor juga sangat menunjang optimalnya kinerja dari sistem reaksi yang terjadi di dalam reaktor tersebut. Beberapa kata kunci seperti distribusi umpan, distribusi panas, fouling, distribusi lapisan katalisator, dan juga temperatur reaksi merupakan beberapa hal yang mewakili peran dari struktur internal reaktor tersebut. Secara umum

struktur internal terdiri atas feed distributor, distribution tray, scale basket, quench distributor, collector ring, inert and catalyst graded.

3. Katalisator

Katalisator merupakan salah satu hal vital dalam sistem reaksi di dalam reaktor. Pasalnya, pada perancangan reaktor semua variabel proses ditentukan oleh physical properties dan kebutuhan reaksi dari katalisator. Misalnya batasan *fixed* untuk reaksi maupun regenerasi tidak boleh melebihi crushing strength dari partikel katalisator. Begitu halnya dengan temperatur. Temperatur dibatasi dengan melting point komponen penyusun katalisator.

4. Inert dan Catalyst Graded

Pada *bed* katalisator, *inert balls* diletakkan di bagian atas dan bawah katalisator. Di bagian atas katalisator, *inert balls* berfungsi meredam energy tumbukan dari aliran umpan guna menjaga distribusi katalisator di dalam *bed* katalisator. Di bagian bawah *bed* katalisator, *inert balls* berfungsi sebagai support untuk menopang katalisator dan juga menjaga agar katalisator tidak ikut mengalir keluar *bed* katalisator bersama aliran umpan. *Graded* katalisator merupakan partikel-partikel yang ditambahkan di atas ataupun di bawah katalisator di dalam *bed* katalisator yang memiliki fungsi-fungsi tertentu sesuai komposisinya. Fungsi *graded* katalisator antara lain sebagai *treatment* awal, menahan deposit, menyerap logam, dan lain-lain. Beberapa jenis *graded* katalisator

ditambahkan ke dalam *bed* katalisator guna mengoptimalkan aktivitas katalisator.

2.3.1 Kelebihan dan Kekurangan Reaktor *Fixed Bed*

Kelebihan Reaktor *Fixed Bed*

1. Dapat digunakan untuk mereaksikan dua macam gas sekaligus.
2. Kapasitas produksi cukup tinggi.
3. Pemakaian tidak terbatas pada kondisi reaksi tertentu (eksoterm atau endoterm) sehingga pemakaian lebih fleksibel.
4. Aliran fluida mendekati *plug flow*, sehingga dapat diperoleh hasil konversi yang tinggi.
5. *Fixed* rendah.
6. Oleh karena adanya *hold-up* yang tinggi, maka menghasilkan pencampuran radial yang lebih baik dan tidak ditemukan pembentuk saluran (*channeling*).
7. Pemasokan katalis per unit volume reaktor besar.
8. Hold up liquid tinggi, katalis benar-benar dibasahi, kontrol temperature lebih baik.
9. Transfer massa gas-liquid lebih tinggi daripada reaktor lainnya karena interaksi gas-liquid lebih besar.

Kekurangan Reaktor *Fixed Bed*

1. Resistansi difusi intra partikel sangat besar.

2. Nilai transfer massa dan transfer panas rendah.
3. Pemindahan katalis sangat sulit dan memerlukan *shut down* alat.
4. Konversi lebih rendah, ada kemungkinan terjadi reaksi samping homogen pada liquid

2.3.2 Macam-macam Reaktor *Fixed Bed*

Bentuk reaktor *fixed bed* dapat dibagi menjadi :

1. *Single Bed*

Sebagai penyangga katalisator dipakai butir-butir alumunia (bersifat inert terhadap zat pereaksi) dan pada dasar reaktor disusun dari butir yang besar makin keatas makin kecil, tetapi pada bagian atas katalisator disusun dari butir kecil makin keatas makin besar.

2. Multi tube

Katalisator diisi lebih dari satu tumpuk katalisator, *fixed bed* dengan katalisator lebih dari satu tumpuk banyak dipakai dalam proses adiabatik. Jika reaksi yang terjadi sangat eksotermis pada konversi yang masih kecil suhu gas sudah naik sampai lebih tinggi dari suhu maksimum yang diperbolehkan untuk katalisator, maka gas harus di dinginkan terlebih dahulu kedalam alat penukar panas diluar reaktor untuk di dinginkan dan selanjutnya dialirkan kembali ke reaktor melalui tumpukan katalisator kedua, jika konversi gas yang keluar dari tumpukan kedua belum mencapai yang direncanakan, tetapi suhu gas sudah lebih tinggi dari yang diperbolehkan maka dilakukan pendinginan lagi dengan

mengalirkan gas ke alat penukar panas kedua kemudian di kembalikan ke reaktor yang masuk melalui tumpukan katalisator ketiga dan seterusnya sampai diperoleh konversi yang diinginkan. Jika reaksi bersifat endotermis maka penukar panas diluar reaktor dapat digunakan untuk pemanas gas reaksi.

3. Multi *bed*

Katalisator diisi lebih dari satu tumpuk katalisator, *fixed bed* dengan katalisator lebih dari satu tumpuk banyak dipakai dalam proses adiabatik. Jika reaksi yang terjadi sangat eksotermis pada konversi yang masih kecil suhu gas sudah naik sampai lebih tinggi dari suhu maksimum yang diperbolehkan untuk katalisator, maka gas harus di dinginkan terlebih dahulu kedalam alat penukar panas diluar reactor untuk di dinginkan dan selanjutnya dialirkan kembali ke reaktor melalui tumpukan katalisator kedua, jika konversi gas yang keluar dari tumpukan kedua belum mencapai yang direncanakan, tetapi suhu gas sudah lebih tinggi dari yang diperbolehkan maka dilakukan pendinginan lagi dengan mengalirkan gas ke alat penukar panas kedua kemudian di kembalikan ke reactor yang masuk melalui tumpukan katalisator ketiga dan seterusnya sampai diperoleh konversi yang diinginkan. Jika reaksi bersifat endotermis maka penukar panas diluar reaktor dapat digunakan untuk pemanas gas reaksi.

2.4 Runga Kutta

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 (2.1) berikut:

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

(persamaan 2.1)

dimana :

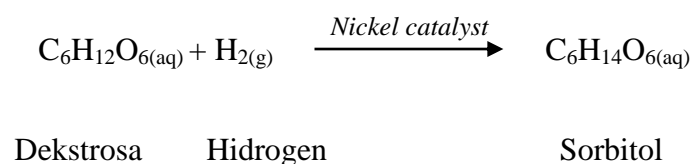
$$\begin{aligned} k_1 &= hf(x_n, y_n) \\ k_2 &= hf\left(x_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{k_1}{2}\right) \\ k_3 &= hf\left(x_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{k_2}{2}\right) \\ k_4 &= hf(x_n + h, y_n + k_3) \end{aligned}$$

(persamaan 2.2)

(Hurol, 2013)

2.5 Tinjauan Termodinamika

Reaksi hidrogenasi dekstrosa menjadi sorbitol berlangsung sebagai berikut:



(Dechamp *et al.*, 1995)

Reaksi kimia dapat berjalan secara eksotermis atau endotermis maupun secara searah atau bolak-balik. Sifat dan arah reaksi dihitung dengan menggunakan panas pembentukan standar (ΔH_f°) dan energi bebas gibbs (ΔG_f°) pada tekanan 1 atm dan suhu 298,15 K. Entalpi pembentukan standar adalah besarnya perubahan entalpi dari 1 mol senyawa dari elemen-elemennya dalam keadaan standar. ΔG_f° merupakan perubahan energi bebas gibbs yang menyertai pembentukan 1 mol zat tersebut dari unsur penyusunnya pada keadaan standar.

Berdasarkan Dechamp *et al.*, (1995) data entalpi reaksi standar pada 298 K dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Data Entalpi Pembentukan Panas Standar

Komponen	Harga ΔH_f° (kJ/mol)
Dekstrosa (aq)	- 1295,2
Hidrogen (g)	0
Sorbitol (aq)	- 1353,7

$$\begin{aligned}
 \Delta H_r^\circ &= \Sigma \Delta H_f^\circ \text{ produk} - \Sigma \Delta H_f^\circ \text{ reaktan} \\
 &= \Delta H_f^\circ \text{ C}_6\text{H}_{14}\text{O}_6 - (\Delta H_f^\circ \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \Delta H_f^\circ \text{ H}_2) \\
 &= - 1353,7 \text{ kJ/mol} - (- 1295,2 \text{ kJ/mol} + 0) \\
 &= - 58,5 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Tabel 2.3 Data Energi Bebas Gibbs Standar

Komponen	Harga ΔG°_f (kJ/mol)
Dekstrosa (aq)	-842,95
Hidrogen (g)	0
Sorbitol (aq)	-978,6

(Perry, 1999)

$$\begin{aligned}
 \Delta G^\circ_r &= (\sum \Delta G^\circ_f \text{ produk} - \sum \Delta G^\circ_f \text{ reaktan}) \\
 &= \sum \Delta G^\circ_f \text{ C}_6\text{H}_{14}\text{O}_6 - (\Delta G^\circ_f \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \Delta G^\circ_f \text{ H}_2) \\
 &= -978,6 \text{ kJ/mol} - (-842,95 \text{ kJ/mol} + 0 \text{ kJ/mol}) \\
 &= -135,65 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan, diperoleh nilai ΔH°_r negatif untuk reaksi tersebut, dengan demikian reaksi berjalan secara eksotermis dan ΔG°_r bernilai negatif yang artinya reaksi berjalan secara spontan (Smith *et al.*, 2001). Untuk mengetahui reaksi berjalan searah atau bolak-balik, maka dapat diketahui dari harga konstanta kesetimbangan menurut persamaan *Van't Hoff* yang ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$\frac{d \ln K_o}{dT} = -\frac{\Delta G}{RT^2} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.3)}$$

(Smith, *et al.*, 2001)

$$\begin{aligned}
 \Delta G^\circ_{298K} &= -R T \ln K_o \\
 \ln K_o &= \frac{\Delta G^\circ}{-RT} \\
 &= \frac{\Delta G^\circ}{-RT} \\
 &= \frac{-135.650 \text{ J/mol}}{-8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol.K}} 298 \text{ K}} \\
 K_o &= \exp (54,7511)
 \end{aligned}$$

$$K_0 = 5,99 \times 10^{23}$$

Dari persamaan:

$$\ln \frac{K}{K_0} = -\frac{\Delta H}{R} \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.4)}$$

Keterangan:

K = Konstanta kesetimbangan

T = Suhu (K)

ΔH = Panas pembentukan standar pada 298 K

Jika reaksi dijalankan pada suhu 145°C (418K), maka konstanta kesetimbangan reaksinya menjadi:

$$\ln \frac{K}{5,99 \times 10^{23}} = -\frac{58.500}{8,314} \left[\frac{1}{418} - \frac{1}{298} \right]$$

$$\ln \frac{K_{298}}{5,99 \times 10^{23}} = -7036,3 \quad (-0,000963)$$

$$\ln \frac{K_{298}}{5,99 \times 10^{23}} = 6,778$$

$$\ln K = 4,06 \times 10^{24}$$

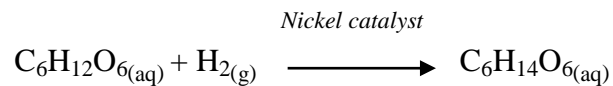
$$K = 1,40 \times 10^{24}$$

Jika dilihat dari nilai K, reaksi pembentukan sorbitol bersifat searah. Harga K bernilai besar, dimana $K = k_1/k_2$ menunjukkan bahwa nilai k_2 jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai k_1 sehingga nilai k_2 diabaikan dan dianggap berjalan satu arah (*irreversible*) (Smith *et al.*, 2001).

2.6 Tinjauan Kinetika

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

Reaksi yang terjadi dalam pembentukan sorbitol adalah:



Menurut Dechamp *et al.*, (1995) persamaan laju reaksi pembentukan sorbitol adalah:

$$r = k \frac{(K_d C_d \cdot K_{H_2} P_{H_2})}{((1 + K_d C_d + K_{H_2} P_{H_2})^2)} \quad (\text{Persamaan 2.5})$$

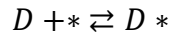
Mekanisme reaksi hidrogenasi katalitik dekstroza menjadi sorbitol terjadi sebagai berikut:

1. Difusi molekul dekstroza dan hidrogen menuju permukaan katalis

Pada Proses difusi terjadi perpindahan partikel dekstroza dan hidrogen melewati liquid. Umumnya proses difusi menuju permukaan berlangsung relatif lambat.

2. Adsorbs molekul dekstroza dan hidrogen pada permukaan katalis

Proses adsorbsi dapat diilustrasikan menjadi bentuk persamaan neraca kesetimbangan kimia sebagai berikut:

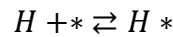


$$r = k_{ads} C_D C_* - k_{des} C_{D*}$$

$$K_D = \frac{k_{ads}}{k_{des}}$$

$$C_{*0} = C_* + C_{A*}$$

$$\theta_D = \frac{C_{D*}}{C_{*0}} = \frac{K_D C_D}{1 + K_D C_D}$$



$$r = k_{ads} P_H C_* - k_{des} P_{H*}$$

$$K_H = \frac{k_{ads}}{k_{des}}$$

$$C_{*0} = C_* + P_{H*}$$

$$\theta_D = \frac{P_{H*}}{C_{*0}} = \frac{K_H P_H}{1 + K_H P_H}$$

Ketika kedua molekul reaktan teradsorpsi, maka persamaan neraca dipermukaan katalis sebagai berikut:

$$C_{*0} = C_* + P_{D*} + P_{H*}$$

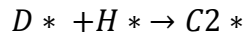
$$\theta_H = \frac{K_D C_D}{1 + K_D C_D + K_H P_H}$$

$$\theta_H = \frac{K_H P_H}{1 + K_D C_D + K_H P_H}$$

3. Reaksi berlangsung di permukaan katalis

Reaksi pada permukaan katalis telah dijelaskan pada persamaan Langmuir Hinshelwood bahwa agar pereaksi tersebut harus teradsorpsi dipermukaan. Setelah kedua reaktan teradsorpsi pada permukaan katalis, reaksi baru

dapat terjadi dipermukaan katalis. Reaksi pada permukaan dapat ditulis sebagai berikut:



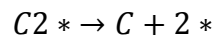
$$r = k C_{D*} P_{H*}$$

$$r = k \theta_D P_H$$

$$r = k \left(\frac{K_D C_D}{1 + K_D C_D + K_H P_H} \right) \left(\frac{K_H P_H}{1 + K_D C_D + K_H P_H} \right)$$

$$r = \frac{k K_D C_D K_H P_H}{(1 + K_D C_D + K_H P_H)^2}$$

Setelah terjadinya reaksi, desorpsi sorbitol dari permukaan katalis dengan mekanisme sebagai berikut:



4. Difusi sorbitol meninggalkan permukaan katalis

Berdasarkan Dechamp *et, al.*, (1995) laju reaksi pembentukan sorbitol dipengaruhi oleh reaksi permukaan antara dekstroza teradsorpsi dan hidrogen teradsorpsi. Tahap mekanisme reaksi yang menentukan adalah tahap reaksi yang berjalan paling lambat. Reaksi yang paling lambat terjadi dipermukaan katalis dengan nilai $k = 497 \text{ mmol/jam.gNi}$, $K_D = 0,865411/\text{mol}$, dan $K_H = 0,0723 \text{ Mpa}^{-1}$, maka persamaan kecepatan reaksi menjadi :

$$r = \frac{k K_D C_D K_H P_H}{(1 + K_D C_D + K_H P_H)^2}$$

(Persamaan 2.6)

$$r = \frac{\left(\frac{497 \text{ mmol}}{\text{jam}} \cdot \text{gNi}\right) \left(0,8654 \frac{\text{L}}{\text{mol}}\right) C_D (0,0723^{-1}) P_H}{\left(1 + \left(\frac{0,8654 \text{ L}}{\text{mol}}\right) C_D + (0,0723 \text{ Mpa}^{-1}) P_B\right)^2}$$

Dari percobaan yang telah dilakukan Dechamp *et al* (1995), energi aktivasi reaksi tersebut adalah 67 kJ/mol sehingga persamaan kecepatan reaksi secara umum:

$$r = \frac{1,3 \times 10^{10} C_D P_H}{\left(1 + \left(\frac{0,8654L}{mol}\right) C_D + (0,0723 \text{ MPa}^{-1}) P_B\right)^2} e^{-8000/T}$$

(Persamaan 2.7)

Keterangan:

D = Dekstrosa

H = Hidrogen

* = Katalis

θ = *Surface coverage of adsorbs*

C_D = Konsentrasi dekstrosa (mol/l^{-1})

r = Laju hidrogenasi dari dekstrosa ($\text{mmol dekstrosa} \cdot \text{h}^{-1} \text{g}_{\text{Ni}}^{-1}$)

P_{H_2} = Tekanan hidrogen (MPa)

k = Konstanta laju reaksi ($\text{mmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{g}_{\text{Ni}}^{-1}$)

K_D = Konstanta kesetimbangan adsorpsi dekstrosa ($\text{l} \cdot \text{mol}^{-1}$)

K_{H_2} = Konstanta kesetimbangan adsorpsi hidrogen (MPa^{-1})

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

1. Hasil perancangan reaktor *fixed bed* pada pra rancang pabrik sorbitol dengan proses hidrogenasi katalitik dengan bantuan katalis nikel menghasilkan diameter sebesar 2,07 m dan tinggi 6,12 m.
2. Bahan Konstruksi yang dipakai pada perancangan reaktor *fixed bed* yaitu stainless steel SA-167 grade 3 type 304.
3. Volume reaktor berdasarkan hasil perancangan sebesar 22184,226 liter.

5.2 Saran

1. Pada metode penyelesaian untuk menentukan tinggi reaktor perlu dilakukan penyelesaian metode differential simultan lain sebagai nilai hasil pembanding.
2. Pada perancangan reaktor pabrik sorbitol dapat dilakukan dengan menggunakan software simulasi aspen plus kemudian membandingkannya dengan hasil hitungan manual.

DAFTAR PUSTAKA

- Ageng S, Dimas dan Surya Rosa P. 2008. *Profil Fermentasi Sukrosa Menjadi Etanol Menggunakan Zymomonas Mobilis Yang Dikoamobilkan Dengan Ekstrak Kasar Invertase*. Surabaya: Prosiding Tugas Akhir Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Banten. 2017. *Berita Resmi Statistik: Keadaan Ketenagakerjaan Banten Februari 2017*. Banten.
- Chao, J.C. and Huibers, D.T.A. 1982. *Catalytic Hydrogenation of Glucose to Produce Sorbitol*. New York: United States Patent 4322569.
- Fogler, H.S., 1999., *Element of chemical reaction engineering*, 3rd edition, New
- Indonesia. 2002. Sorini Boosts Sorbitol Production to Increase Exports. (Industry). Indonesia: P.T. Sorini, Indonesian Commercial Newsletter. ISSN: 0853-2036
- Karunia, Finisa B. 2013. *Kajian Penggunaan Zat Adiktif Makanan (Pemanis dan Pewarna) Pada Kudapan Bahan Pangan Lokal di Pasar Kota Semarang*. Semarang: Jurusan Teknik Jasa Produksi, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.
- Tang, Yougen. *et al.* 2003. *Application of Hydrogen-Storage Alloy Electrode In Electrochemical Reduction Of Glucose*. China: Journal of Power Sources 130 (2004) 56–60.
- Ullmann's. 2003. *“Encyclopedia of Industrial Chemistry” A-1*. Germany: VCH Verlagsgesell Schaff mb.
- Vignoli, J. A. *et al.* 2006. *The Production of Sorbitol by Permeabilized and Immobilized Cells of Z. Mobilis in Sucrose*. Brazil: International Journal Vol.49, n. 4 : pp. 683-687 ISSN 1516-8913.
- W. Fleeson, E, Jayawrickeme, A. Jones. 2017. *Prarancangan Pabrik Sorbitol dari Glukosa dengan Proses Hidrogenasi Katalitik Kapasitas 30.000 Ton/Tahun*. Journal of Personality and Social Psychology.