



**SPEKIFIKASI DESAIN REAKTOR TIPE FIXED BED
PADA PRA-RANCANG PABRIK STIRENA
MONOMER DARI ETILBENZENA DENGAN PROSES
DEHIDROGENASI KATALITIK KAPASITAS 100.000
TON/TAHUN**

Skripsi

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

Oleh :

MAFATIKHUL BILADUDIN

NIM.5213416006

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

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Mafatikhul Biladudin
NIM : 5213416006
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Spesifikasi Desain Reaktor Tipe Fixed Bed pada Pra-Rancang Pabrik Stirena Monomer dari Etilbenzena dengan Proses Dehidrogenasi Katalitik Kapasitas 100.000 Ton/Tahun

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

Semarang, 7 September 2020

Pembimbing



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

NIP.197310172000032001

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Spesifikasi Desain Reaktor Tipe Fixed Bed pada Pra-Rancang Pabrik Stirena Monomer dari Etilbenzena dengan Proses Dehidrogenasi Katalitik Kapasitas 100.000 Ton/Tahun” telah dipertahankan didepan sidang Panitia Ujian Skripsi Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang pada tanggal 25 September 2020.

Oleh

Nama : Mafatikhul Biladudin

NIM : 5213416006

Program Studi : S-1 Teknik Kimia

Panitia

Ketua Jurusan Teknik Kimia

Fakultas Teknik



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

NIP. 197103161999032002

Sekretaris Jurusan Teknik Kimia

Fakultas Teknik



Dr. Megawati, S.T.,M.T

NIP. 197211062006042001

Penguji 1



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

NIP. 197103161999032002

Penguji 2



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

NIP. 198711112015041003

Pembimbing



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

NIP. 197310172000032001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang



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 doctor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri. Tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat 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 ataupun sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 7 September 2020

Yang membuat pernyataan,



Mafatikhul Biladudin

NIM. 5213416006

MOTTO

Ketika melihat orang-orang yang disekelilingmu jalannya lebih cepat biarin saja karena kita juga punya porsinya. Jangan mentang-mentang cemburu badan kita ditambahin beban supaya kita juga harus lebih cepat daripada mereka. Lagian semesta juga lagi bekerja buat kita. Asalkan kita tetap mau jalan bukan membiarkan begitu aja. Kalau hari ini tidak banyak menghasilkan coba lagi besok, kan masih banyak harapan. Siapa tahu semesta lagi berpihak pada kita.

PERSEMBAHAN

1. Bapak, Ibu, Adik dan seluruh keluarga tercinta.
2. Seluruh Dosen Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang.
3. Teman-teman seperjuangan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang Angkatan 2016.
4. Almameter Universitas Negeri Semarang.

INTISARI

Mafatikhul Biladudin, 2020. Spesifikasi Desain Reaktor Tipe Fixed Bed pada Pra-Rancang Pabrik Stirena Monomer dari Etilbenzena dengan Proses Dehidrogenasi Katalitik Kapasitas 100.000 Ton/Tahun, Program Studi S1, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

Pabrik stirena monomer ini dirancang dengan kapasitas 100.000 ton/tahun. Bahan baku yang digunakan yaitu etilbenzena dengan menggunakan proses dehidrogenasi katalitik, katalis yang digunakan adalah Shell 105. Kebutuhan bahan baku etilbenzena disuplai oleh PT. Styrimo Mono Indonesia (SMI) sebesar 49,75 %. Pabrik stirena monomer didirikan di Kabupaten Serang yang berada di Kawasan Industri Puloampel. Pabrik ini akan beroperasi 24 jam selama 330 hari pertahun. Peralatan proses yang digunakan pada pabrik stirena monomer antara lain adalah tangki penyimpanan, *heat exchanger*, *mixer*, reaktor, *furnace*, *separator drum*, dekanter dan menara distilasi.

Unit pendukung proses didirikan sebagai unit penunjang berlangsungnya suatu proses produksi dalam pabrik yang terdiri dari unit penyediaan air pendingin, *steam*, sumber tenaga listrik, bahan bakar serta unit pengolahan limbah. Pendirian laboratorium berfungsi untuk menjaga kualitas dan mutu produk yang dihasilkan.

Bentuk perusahaan yaitu Perseorangan Terbatas (PT) dengan struktur organisasi sistem *line* dan staff. Sistem pembagian jam kerja karyawan dibagi dalam dua golongan yaitu karyawan *shift* dan *non shift* dengan jumlah jam kerja 40 jam tiap minggu.

Reaktor yang digunakan adalah tipe *fixed bed* jenis *single bed* memiliki dimensi tinggi 7,964 m, tebal *shell* 0,25 in, diameter dalam (ID) *shell* 83,64 in, dan diameter luar *shell* (OD) 84,14 in. Kecepatan volumetrik umpan reaktor berdasarkan hasil perancangan sebesar 167221,212 m³/jam.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Proposal Skripsi dengan judul “Prarancang Pabrik Stirena Monomer dari Etil Benzena dengan Proses Dehidrogenasi Katalitik Kapasitas 100.000 Ton/Tahun”.

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

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman M.Hum., Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. Dewi Selvia Fardhyanti, S.T., M.T. Selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang.
4. Dr. Widi Astuti, S.T., M.T. dan Haniif Prasetiawan, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang selalu memberi bimbingan, motivasi dan arahan yang membangun dalam penyusunan Proposal Skripsi.
5. Dr. Dewi Selvia Fardhyanti, S.T., M.T. dan Dhoni Hartanto, S.T., M.T., M.Sc. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan pengarahan dalam penyempurnaan penyusunan Proposal Skripsi.
6. Semua dosen Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNNES yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
7. Kedua Orang tua dan keluarga atas dukungan doa, materi, dan semangat yang senantiasa diberikan tanpa kenal lelah.
8. Teman-teman Teknik Kimia Angkatan 2016 serta semua pihak yang telah memberikan semangat dan dukungan sehingga kami dapat menyelesaikan Proposal Skripsi.

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

Semarang, 7 September 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
MOTTO	v
PERSEMBAHAN.....	v
INTISARI.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Pembatasan Masalah	3
1.4 Rumusan Masalah	3
1.5 Tujuan Penelitian.....	4
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Etil benzena	5
2.2 Stirena Monomer	5

2.3	Benzena	6
2.4	Toluena.....	6
2.5	Katalis Shell 105	7
2.6	Dehidrogenasi Katalitik.....	7
2.7	Reaktor <i>Fixed Bed Single Bed</i>	8
2.8	Tinjauan Termodinamika	8
2.9	Tinjauan Kinetika	11
BAB III		14
METODE PENELITIAN.....		14
3.1	Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	14
3.2	Alat dan Bahan	14
3.3	Prosedur Kerja	14
BAB IV		15
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		15
4.1	Memilih Bahan Konstruksi	15
4.2	Menentukan Dimensi Reaktor.....	15
4.3	Menentukan densitas umpan:	17
4.4	Menentukan kecepatan volumetrik umpan :	18
4.5	Menentukan viskositas umpan :	18
4.6	Menentukan diameter reaktor.....	18
4.7	Menentukan tinggi bed:.....	19
4.8	Menghitung waktu tinggal (τ) dalam bed dan reaktor.....	24
4.9	Menghitung tebal shell reaktor.....	24
4.10	Menghitung tebal <i>head</i> reaktor.....	24
4.11	Menghitung tinggi head.....	25

4.12 Menentukan tebal isolasi	25
BAB V.....	28
PENUTUP.....	28
5.1 Kesimpulan.....	28
5.2 Saran.....	28
DAFTAR PUSTAKA	29
LAMPIRAN.....	32

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Harga Pembentukan Masing-masing Komponen	8
Tabel 1.2 Data Komponen untuk Rumus ΔG°_f	10
Tabel 4.1 Persamaan kecepatan reaksi	16
Tabel 4.2 Komposisi umpan	17
Tabel 4.3 Densitas Umpan	17
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Panjang Tube	21
Tabel 4.5 Harga Konduktivitas Termal Asbes	26

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1 Reaktor <i>Fixed bed Single Bed</i>	15
--	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan zaman yang semakin maju menyebabkan industri kimia mengalami perkembangan yang signifikan selama beberapa dekade terakhir. Hal ini tentunya memacu Indonesia untuk lebih meningkatkan dalam melakukan terobosan-terobosan baru sehingga produk yang dihasilkan mempunyai daya saing, efisien dan efektif, dan ramah terhadap lingkungan.

Artikel dari Data Riset Indonesia menyatakan bahwa Kementerian Perindustrian (Kemenperin) mencatat saat ini sudah ada sekitar 925 produsen plastik dari hulu sampai hilir dan menyerap lebih dari 37.000 tenaga kerja. Industri plastik akan terus berkembang dengan cepat. Menurut Asosiasi Industri Aromatik, Olefin, dan Plastik (Inaplas), konsumsi plastik nasional tahun 2018 mencapai 5,5 juta ton dan akan tumbuh sekitar 7% di tahun 2019.

Menanggapi situasi terhadap upaya untuk mengurangi ketergantungan impor produk petrokimia, pemerintah menetapkan peraturan yang mendorong perkembangan industri di bidang petrokimia. Sejalan dengan itu, industri petrokimia di Indonesia seperti industri stirena monomer juga turut berkembang. Hal ini terutama disebabkan oleh semakin meningkatnya permintaan produk-produk plastik yang menggunakan bahan dasar stirena monomer.

Stirena monomer memiliki rumus kimia $C_6H_5CH=CH_2$ merupakan senyawa organik dan termasuk dalam golongan senyawa hidrokarbon aromatik. Stirena monomer juga dikenal dengan nama *vinyl benzene*, *cinnamene*, *syrol*, *phenylethene*, *vinyl benzene*, atau *styrolene*. Stirena monomer memberi kontribusi besar dalam kehidupan manusia hingga saat ini. Hal ini dikarenakan stirena monomer merupakan monomer penting dalam industri petrokimia sebagai bahan baku dari produk - produk polimer,

seperti: *Acrylonitrile – Butadiene – Styrene Polymer (ABS)*, *Styrene – Acrylonitrile Copolymer (SAN)* dan *Styrene – Butadiene Rubber (SBR)* (Aghayarzadeh, 2014).

Diperkirakan kebutuhan stirena monomer akan meningkat dengan semakin berkembangnya industri pengolahan stirena monomer di dunia. Permintaan stirena monomer secara global mencapai 29 juta ton/tahun pada tahun 2016 dan diperkirakan akan meningkat 1,6 persen selama periode 2017-2023 (PT. CAP, 2017). Dapat disimpulkan bahwa kebutuhan global akan stirena monomer relatif meningkat setiap tahunnya dan dapat dijadikan pangsa pasar yang sangat bagus untuk kedepannya.

Saat ini di Indonesia baru terdapat satu pabrik yang memproduksi stirena monomer yaitu *PT. Styrimdo Mono Indonesia (SMI)* dengan kapasitas produksi sebesar 340.000 ton/tahun yang sekaligus memproduksi etilbenzena dengan kapasitas produksi sebesar 220.000 ton/tahun sebagai bahan baku stirena monomer (PT. CAP, 2017). Pada saat ini *PT. Styrimdo Mono Indonesia* menguasai 80% pangsa pasar stirena monomer di Indonesia dan menjadi salah satu produsen penting di kawasan Asia Tenggara dan China (PT. Barito Pacific Tbk, 2012).

Pada tahun 1925, Naugatuck Chemical Co. mencoba memproduksi stirena monomer dalam skala komersial, tetapi gagal. Baru pada saat perang dunia kedua teknologi pembuatan stirena monomer berhasil dikembangkan oleh *Badische Anilin Soda Fabrics (BASF)* dengan cara dehidrogenasi etilbenzena. Dalam produksi secara komersial, pada umumnya 90% menggunakan proses dehidrogenasi katalitik (Kirk Othmer, 1980).

Produksi stirena monomer dengan dehidrogenasi etilbenzena biasanya dilakukan dengan mencampurkan etilbenzena dengan uap dan melewati campuran melalui reaktor *fixed bed* Jenis *single bed* dengan katalis. Reaksi dehidrogenasi etilbenzena bersifat endotermis. Kondisi operasi yang digunakan dalam reaktor komersial adalah 620⁰C dan tekanan yang digunakan serendah mungkin. Pada kesetimbangan dalam kondisi

khusus, reaksi reversibel menghasilkan sekitar 65% konversi etilbenzena (CA.Patent:2387715).

Berdasarkan pertimbangan pada spesifikasi desain reaktor pendirian pabrik stirena monomer dari etilbenzena dengan proses dehidrogenasi katalitik kapasitas 100.000 ton/tahun digunakan reaktor tipe *fixed bed* jenis *single bed*.

1.2 Identifikasi Masalah

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

1. Stirena monomer merupakan bahan kimia penting dan banyak dibutuhkan di Indonesia, tetapi belum banyak terdapat pabrik stirena monomer di Indonesia sehingga pemenuhan kebutuhan harus dilakukan melalui impor dari negara lain.
2. Reaktor *fixed bed Single bed* merupakan alat penting pada pembuatan stirena monomer dalam hal proses dehidrogenasi katalitik dengan bantuan katalis Shell 105.

1.3 Pembatasan Masalah

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

1. Stirena monomer merupakan produk yang akan dihasilkan dari etilbenzena direaksikan dengan proses dehidrogenasi katalitik untuk memperoleh konversi 65%.
2. Reaktor *fixed bed single bed* adalah alat yang akan dirancang pada penelitian ini.

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* untuk menghasilkan produk stirena?

2. Bagaimana hasil perancangan reaktor *fixed bed single bed* pada pabrik stirena monomer kapasitas 100.000 ton/tahun?

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui proses perancangan reaktor *fixed bed single bed* untuk menghasilkan produk stirena.
2. Menganalisis hasil perancangan reaktor *fixed bed single bed* pada pabrik stirena monomer kapasitas 100.000 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 single bed* dalam industri kimia.
2. Bagi lingkungan dan masyarakat
Masyarakat dapat mengetahui potensi dan manfaat dari pabrik stirena monomer.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Etil benzena

Reaksi komersial terpenting etilbenzena adalah dehidrogenasinya menjadi stirena. Reaksi dilakukan pada suhu tinggi (590-630 °C), biasanya menggunakan katalis besi oksida. Uap digunakan sebagai pengencer. Secara komersial, selektivitas untuk rentang stirena dari 95 hingga 97 mol% dengan konversi 60 - 70%. Reaksi samping terutama melibatkan dealkilasi etilbenzena menjadi benzena dan toluena (Ulmann's, 2005).

Reaksi yang penting secara komersial adalah oksidasi etilbenzena melalui udara menjadi hidroperoksida $C_6H_5CH(OOH)CH_3$. Reaksi berlangsung dalam fase cair tanpa katalis. Namun, karena hidroperoksida tidak stabil, paparan suhu tinggi harus diminimalkan untuk mengurangi laju dekomposisi. Produk samping berkurang jika suhu secara bertahap diturunkan selama reaksi berlangsung. Hidroperoksida selanjutnya diperlakukan dengan propilena untuk menghasilkan stirena dan *propylene oxide* sebagai produk tambahan. Pada tahun 1999 sekitar 15% dari etilbenzena yang diproduksi di seluruh dunia digunakan dalam produksi bersama stirena monomer dan *propylene oxide*. Seperti toluena, etilbenzena dapat didealkilasi secara katalitik atau termal menjadi benzena. Etilbenzena juga mengalami reaksi khas senyawa alkilaromatik lainnya (Ulmann's, 2005).

2.2 Stirena Monomer

Stirena monomer memiliki rumus kimia $C_6H_5CH=CH_2$ merupakan senyawa organik dan termasuk dalam golongan senyawa hidrokarbon aromatik. Stirena monomer juga dikenal dengan nama *vinyl benzene*, *cinnamene*, *syrol*, *phenylethene*, *vinyl benzene*, atau *styrolene*. Stirena monomer memberi kontribusi besar dalam kehidupan manusia hingga saat ini. Hal ini dikarenakan stirena monomer merupakan monomer penting dalam industri petrokimia sebagai bahan baku dari produk - produk polimer, seperti: *Acrylonitrile* –

Butadiene – Styrene Polymer (ABS), Styrene – Acrylonitrile Copolymer (SAN) dan *Styrene – Butadiene Rubber (SBR)* (Aghayarzadeh, 2014).

2.3 Benzena

Benzene adalah sumber berbagai bahan kimia organik, banyak di antaranya merupakan perantara untuk produksi sejumlah produk komersial. Benzena stabil secara termal dan pembentukannya disukai secara kinetis dan termodinamika pada suhu 500°C. Oleh karena itu, suhu yang tinggi diperlukan untuk dekomposisi termalnya atau untuk terjadinya kondensasi atau reaksi dehidrogenasi. Sebagai contoh, pada 650°C dalam kontak dengan besi, timbal, atau bahan katalitik lain, seperti vanadium, reaksi kondensasi terjadi untuk membentuk difenil dan senyawa polyaromatik lainnya. Benzena cukup stabil terhadap oksidasi, tetapi dalam kondisi yang parah ia teroksidasi menjadi air dan karbon dioksida. Dengan kekurangan udara atau oksigen dalam kondisi oksidasi, terjadi dekomposisi parsial dan pengendapan jelaga. Oksidasi dengan udara atau oksigen dalam fase uap pada suhu 350-450°C melalui katalis V – Mo menghasilkan maleat anhidrida dengan hasil 65 - 70%. Penggunaan oksigen murni tidak memberikan keuntungan dibandingkan udara. Fenol dapat diperoleh dalam hasil rendah dari oksidasi suhu tinggi benzena dengan udara (Ulmann's, 2005).

2.4 Toluena

Toluena mirip dengan benzena dalam sifat kimianya, tetapi gugus metil memberikan reaktivitas tambahan. Inti aromatik dapat dihidrogenasi menjadi metilsikloheksana. Zat pengoksidasi lebih disukai menyerang gugus metil, menghasilkan benzaldehida dan kemudian asam benzoat. Yang terakhir dapat dekarboksilasi menjadi fenol atau terhidrogenasi menjadi asam sikloheksanekarboksilat. Baik inti maupun rantai samping dapat diklorinasi. Nitrasasi mengarah ke o- dan p-nitrotoluena, yang dipisahkan dengan pembekuan, pemisahan padat-cair, dan distilasi. Nitrasasi lebih lanjut menghasilkan di- dan trinitrotoluena; TNT digunakan sebagai bahan peledak. Beberapa nitrotoluena adalah zat antara organik yang penting, seperti juga toluidin yang diperoleh darinya melalui reduksi (bahan awal untuk sintesis pewarna dan akselerator

vulkanisasi), dan dinitril yang diturunkan dari dinitrotoluena, yang menghasilkan toluena diisosianat. Yang terakhir adalah bahan awal untuk poliuretan. Alkilasi toluena dengan propilena menghasilkan isomer metilkumene (cymenes). Saponifikasi cumene hidropersida menghasilkan kresol isomer dan aseton. Asam toluenesulfonat dan asam klorida, seperti klorotoluena, bahan awal pewarna, obat-obatan, dan sakarin (Ullmann's, 2005).

2.5 Katalis Shell 105

Komposisi	: 62% Fe ₂ O ₃ ; 2% Cr ₂ O ₃ ; 36% K ₂ CO ₃ .
Kode dagang	: Shell 105
Bentuk	: <i>pellet</i>
Waktu tinggal	: 4 tahun (Regenerasi)
<i>Bulk density</i>	: 1.422 kg/m ³
<i>Pellet density</i>	: 2.500 kg/m ³
<i>Void fraction internal</i>	: 0,4 m ³ <i>f</i> /m ³ <i>pellet</i>
<i>Void fraction bed</i>	: 0,4 m ³ <i>f</i> /m ³ <i>reactor</i>
Diameter	: 0,0055 m

(Amy et al, 2002)

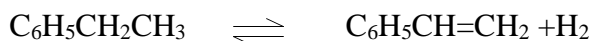
2.6 Dehidrogenasi Katalitik

Dehidrogenasi katalitik adalah reaksi langsung dari etilbenzena menjadi stirena monomer, cara tersebut adalah proses pembuatan stirena monomer yang banyak dikembangkan dalam produksi komersial. Reaksi dehidrogenasi katalitik terjadi pada fase uap dimana *steam* melewati katalis padat. Katalis yang digunakan adalah shell 105, yang terdiri dari campuran besi sebagai Fe₂O₃ 62 %, kromium sebagai Cr₂O₃ 2 % dan kalium sebagai K₂CO₃ 36 % (Amy et al, 2002). Reaksi bersifat endotermis, dan merupakan reaksi kesetimbangan. Sedangkan reaktornya dapat bekerja secara adiabatik (Ullmann's, 2005).

Stirena monomer sangat mudah terpolimerisasi, sehingga harus ditambahkan inhibitor pada kolom distilasi pertama. Inhibitor yang digunakan adalah *4-tert-butylcathecol* yang sudah sangat umum digunakan sebagai inhibitor untuk stirena monomer. Inhibitor ini penting untuk mencegah stirena

monomer terpolimerisasi, yang menghasilkan reaksi eksotermis tinggi yang dapat membahayakan (Kirk Othmer, 1980).

Reaksi yang terjadi:



$$\Delta H (600^\circ\text{C}) = 124,9 \text{ kJ/mol (1.4)}$$

Temperatur reaktor berkisar antara 620°C pada tekanan 1 – 1,5 atm. Pada saat kesetimbangan, konversi etilbenzena berkisar antara 50–70% dengan yield 88–95 %mol (Ullmann's, 2005).

2.7 Reaktor *Fixed Bed Single Bed*

Reaktor Fixed Bed adalah reaktor dengan menggunakan katalis padat yang diam dan zat pereaksi berfase gas. Butiran-butiran katalisator yang biasa dipakai dalam reaktor fixed bed adalah katalisator yang berlubang di bagian tengah, karena luas permukaan persatuan berat lebih besar jika dibandingkan dengan butiran katalisator berbentuk silinder, dan aliran gas lebih lancar. Sebagai penyangga katalisator dipakai butir-butir alumunia (bersifat inert terhadap zat pereaksi) dan pada dasar reactor disusun dari butir yang besar makin keatas makin kecil, tetapi pada bagian atas katalisator disusun dari butir kecil makin keatas makin besar (Amy et al, 2002).

2.8 Tinjauan Termodinamika

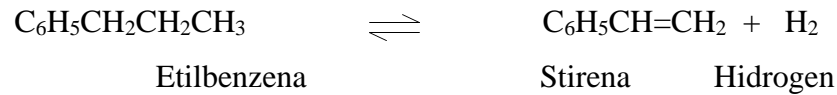
Tinjauan termodinamika adalah untuk mengetahui reaksi tersebut bersifat endotermis (memerlukan panas) atau eksotermis (melepaskan panas), serta mengetahui apakah reaksi berjalan searah atau bolak-balik yang dapat dihitung dengan perhitungan menggunakan panas pembentukan standar (ΔH_f°) dan energi bebas Gibbs (ΔG°) pada tekanan 1 atm dan suhu 25°C .

Tabel 1.1 Harga Pembentukan Masing-masing Komponen

Komponen	ΔH_f° (J/mol)	ΔG_f° (J/mol)
$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	29.920	130.890
$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2$	147.360	213.900
H_2	0	0

(Smith *et al*, 2001)

Reaksi dehidrogenasi etilbenzena:



$$\begin{aligned} \text{Total } \Delta\text{Hf}^0 \text{ reaksi} &= \Delta\text{Hf}^0 \text{ produk} - \Delta\text{Hf}^0 \text{ reaktan} \\ &= (\Delta\text{Hf}^0 \text{ C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2 + \Delta\text{Hf}^0 \text{ H}_2) - (\Delta\text{Hf}^0 \text{ C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_3) \\ &= (147.360 \text{ J/mol} + 0) - (29.920 \text{ J/mol}) \\ &= 117.440 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas didapat ΔH^0_f reaksi dehidrogenasi etilbenzena bernilai positif, dimana ΔH^0_f bernilai positif maka reaksi bersifat endotermis. Reaksi dehidrogenasi merupakan reaksi kesetimbangan yang dapat dilihat dari perhitungan konstanta kesetimbangan dapat dilihat melalui perubahan Energi Gibbs. Perubahan Energi Gibbs dapat dihitung dari persamaan:

$$\frac{d \ln K_o}{dT} = - \frac{\Delta G}{RT}$$

$$\Delta G^0 = -RT \ln K$$

(Smith *et al*, 2001)

Keterangan:

ΔH^0_f = Jumlah panas pembentukan suatu zat pada kondisi standar $T=25^\circ\text{C}$ dan P 1 atm (J/mol)

ΔG^0_f = Energi Gibbs pada keadaan standar ($T=298,15$ K) dan ($P=1$ atm) (J/mol)

K = Konstanta kesetimbangan

R = Tetapan gas ideal ($R= 8,314$ J/mol.K)

T = Suhu standar (298,15 K)

$$\begin{aligned} \text{Total } \Delta\text{G}^0_f \text{ reaksi} &= \Delta\text{G}^0_f \text{ produk} - \Delta\text{G}^0_f \text{ reaktan} \\ &= (\Delta\text{Gf}^0 \text{ C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2 + \Delta\text{Gf}^0 \text{ H}_2) - (\Delta\text{Gf}^0 \text{ C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_3) \\ &= (213.900 \text{ J/mol} + 0) - 130.890 \text{ J/mol} \\ &= 83.010 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ln K &= -\frac{\Delta G}{RT} \\ &= -\frac{(-83.010 \text{ J/mol})}{(8,314 \text{ J/mol K} \times 298 \text{ K})} \\ &= -33,5045 \\ K &= 2,8128 \times 10^{-15} \end{aligned}$$

Apabila pada suhu 25^oC diperoleh ΔG°_f bernilai positif maka tidak terjadi reaksi secara spontan, oleh karena itu perlu diketahui nilai ΔG°_f pada suhu operasi untuk mengetahui terjadi reaksi atau tidak pada suhu tersebut. Data yang digunakan adalah sebagai berikut (Yaws, 1999):

$$\Delta G^{\circ}_f = A + BT + CT^2$$

Tabel 1.2 Data Komponen untuk Rumus ΔG°_f

Komponen	A	B	C
Ethylbenze	326,263	$1,1297 \times 10^{-1}$	$1,8500 \times 10^{-5}$
Styrene	145,657	$2,1917 \times 10^{-1}$	$2,849 \times 10^{-5}$
Hydrogen	0	0	0

Sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned} \Delta G^{\circ}_f \text{ 893 Ethybenzene} &= 441,898 \text{ kJ/mol} \\ \Delta G^{\circ}_f \text{ 893 Styrene} &= 354,095 \text{ kJ/mol} \\ \Delta G^{\circ}_f \text{ 893 Hydrogen} &= 0 \text{ kJ/mol} \\ \Delta G^{\circ}_f \text{ reaksi} &= \Delta G^{\circ}_f \text{ produk} - \Delta G^{\circ}_f \text{ reaktan} \\ &= (\Delta G^{\circ}_f \text{ Styrene} + \Delta G^{\circ}_f \text{ H}_2) - (\Delta G^{\circ}_f \text{ Ethylbenzene}) \\ &= (364,095 \text{ kJ/mol} + 0 \text{ kJ/mol}) - 441,898 \text{ kJ/mol} \\ &= -77,8028 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Perhitungan di atas menunjukkan nilai ΔG°_f reaksi bernilai negatif, sehingga pada suhu 620^oC reaksi dapat berlangsung. Apabila persamaan tersebut diintegrasikan dengan batas K' sampai K dan T' sampai T maka diperoleh persamaan:

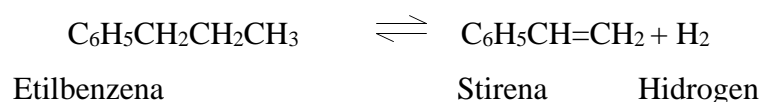
$$\ln \frac{K}{K_o} = -\frac{\Delta H}{R} \times \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right]$$

(Smith *et al*, 2001)

Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan persamaan 1.8 sifat reaksi dapat diketahui dengan melihat harga K yaitu sebesar 0,1463. Berdasarkan perhitungan diketahui bahwa harga K pada suhu 25°C sangat kecil, demikian juga nilai K pada suhu operasi 620°C, oleh karena itu reaksi dehidrogenasi merupakan reaksi kesetimbangan *reversible*. Konstanta kesetimbangan reaksi memiliki nilai lebih dari 1, diartikan bahwa reaksi akan berjalan kekanan, dan reaksi mendekati produk sehingga produk dari reaksi tersebut akan terbentuk. Sedangkan, apabila nilai konstanta kesetimbangan reaksi kurang dari 1, kesetimbangan akan bergeser ke kiri sehingga reaktan bertambah dan menyebabkan tidak terbentuknya produk. Harga K dapat diperbesar dengan menaikkan suhu operasi yaitu dengan penambahan inert untuk menggeser kesetimbangan. Inert yang digunakan berupa *superheated steam* yang diinjeksikan ke dalam reaktor pada suhu sekitar 710°C (Mc. Ketta, 1983), *steam* juga digunakan dalam regenerasi katalis. Pada reaksi dehidrogenasi menghasilkan jumlah mol yang lebih besar, sehingga jika tekanan dinaikkan maka kesetimbangan akan bergeser ke kiri, maka agar kesetimbangan bergeser ke kanan, reaksi dehidrogenasi dilakukan pada tekanan rendah.

2.9 Tinjauan Kinetika

Tinjauan kinetika digunakan untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap laju reaksi. Menurut Abo-Ghander *et. al.* (2010), persamaan laju reaksi dari pembentukan stirena, benzena, dan toluena menurut reaksi:



adalah sebagai berikut :

$$r_i = k_i \left(p_{eb} - \frac{p_{st} \times p_{h_2}}{K_{EB}} \right)$$

Keterangan:

r_i = kecepatan reaksi dehidrogenasi; lbmol/(hr)(lbcat)

k_i = konstanta kecepatan reaksi; lbmol/(hr)(atm)(lbcat)

K_{EB} = konstanta kesetimbangan; atm

p_{eb} = tekanan parsial etil benzena atm

p_{st} = tekanan parsial stirena; atm

p_{h_2} = tekanan parsial hidrogen; atm

nilai k (konstanta kecepatan reaksi) dapat diperoleh melalui persamaan Arrhenius:

$$K = A \times e^{-E/RT}$$

Keterangan:

k_i = konstanta kecepatan reaksi

A = faktor tumbukan

E = energi aktivasi

R = konstanta gas

T = suhu reaksi.

Berdasarkan persamaan Arrhenius didapatkan nilai k untuk masing-masing reaksi adalah:

$$k_i = 8,5 \times 10^{-2} \exp\left(-\frac{0,909 \times 10^5}{R \times T}\right)$$

Dari persamaan 1.12 konstanta kecepatan reaksi untuk memperbesar konstanta kecepatan reaksi maka dilakukan dengan cara menggunakan katalis yaitu shell 105 untuk menurunkan energi aktivasi (E) dan menaikkan suhu operasi, sehingga ruas kanan dari persamaan tersebut dan konstanta kecepatan reaksi semakin besar atau reaksi berlangsung semakin cepat.

Harga konstanta kesetimbangan untuk reaksi dehidrogenasi etilbenzena menjadi stirena (K_{EB}) ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$K_{EB} = \exp\left[-\frac{122.725 - 126,3T - 0,002194T^2}{8,314T}\right]$$

Pengaruh suhu terhadap persamaan konstanta kecepatan reaksi dan konstanta kesetimbangan pada persamaan 1.12 adalah jika suhu semakin besar

maka konstanta kecepatan reaksinya akan semakin besar pula, sehingga kecepatan reaksinya juga semakin besar. Semakin besar suhu maka harga K semakin besar, sehingga kecepatan reaksi ($-r_A$) akan semakin besar. Sehingga naiknya suhu operasi akan memperbesar kecepatan reaksi dehidrogenasi etilbenzena.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perancangan reaktor *fixed bed single bed* memiliki dimensi tinggi 7,964 m, tebal *shell* 0,25 in, diameter dalam (ID) *shell* 83,64 in, dan diameter luar *shell* (OD) 84,14 in.
2. Kecepatan volumetrik umpan reaktor berdasarkan hasil perancangan sebesar 167221,212 m³/jam.

5.2 Saran

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

DAFTAR PUSTAKA

- Abo-Ghander, N. S. (2010). *Feasibility of Coupling Dehydrogenation of Ethylbenzene with Hydrogenation of Nitrobenzene in an Autothermal Catalytic Membrane Reactor*. Leuven: Dynamic and Control Process Systems.
- Aghayarzadeh, M. 2014. *Simulation and Optimization of Styrene Monomer Production Using Neural Network*. Vol. 11, No. 1 (Winter), 2014, IChE Iranian Journal of Chemical Engineering
- Alibaba. 2019. Retrieved from *alibaba.com*. Diakses pada tanggal 4 September 2019.
- Aries, R. S. and Newton, R. D. 1955. *Chemical Engineering Cost Estimation*. Mc.Graw Hill Book Co. Inc.: U.S.A.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Banten, <https://banten.bps.go.id/subject/6/tenaga-kerja.html> Diakses pada 7 September 2019
- Badan Pusat Statistik, <https://www.bps.go.id/> Diakses pada 4 September 2019.
- Brown, G.G., et all, 1978, "*Unit Operation*", Modern Asia Edition, John wiley and Sons, Inc., Charles Tuttle, Tokyo.
- Brownell, L. E and Young, E.H. 1959. *Process Equipment Design*. 1st edition. John Wiley and Sons. Inc.: New Delhe, India.
- Coulson, J. M and Richardson, J.F. 1983. *Chemical Engineering*. Vol.6. Pergamon Press: New York.
- Foust, A. A. 1980. *Principles of Unit Operation*. 2nd edition. John Wiley and Sons Inc.: New York.
- Geankoplis, Christie J.,1993, "*Transport Processes and Unit Operations*", 3rd Edition, Printice Hall of India Co. New Delhi, India.
- Himmelblau M, David, 1984, "*Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering*", 6th Edition, Printice Hall Co. Inc, New Jersey, U.S.A.
- Hougen, Olaf A. , *at al*. 1961. *Chemical Process Principle Part*. Charles E. Tuttle Company: Tokyo.

- ICIS Plant and Project. 2018. *ICIS Plant and Project*. Diambil dari ICIS:
<http://www.icis.com/>.
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. International Student Edition. Mc.Graw Hill Book Co., Inc., Tosho Printing Co., Ltd. : Tokyo, Japan.
- Kirk, R.E & Othmer, D.F., 1980, “*Encyclopedia of Chemical Technology*”, 4thed, Vol. 22, International Publisher Inc., New York
- Kirk, R.E.& Othmer, D.F., 1980, “*Encyclopedia of Chemical Technology*”, 4thed, Vol. 1, International Publisher Inc., New York.
- Lee, W. J., 2005, “*Ethylbenzene Dehydrogenation Into Styrene: Kinetic Modelling and Reactor Simulation*”, Disertation of Chemical Engineering.
- Mc. Ketta, and Cunningham. 1980. *Encyclopedia Chemical Process and Design*. Vol 13. Marchell Inc. New York.
- Mc. Ketta, and Cunningham. 1980. *Encyclopedia Chemical Process and Design*. Vol 14. Marchell Inc. New York.
- Mc. Ketta, and Cunningham. 1980. *Encyclopedia Chemical Process and Design*. Vol A25. Marchell Inc. New York.
- Mc. Ketta, John and Cunningham, D.F., 1983, “*Encyclopedia Chemical Process and Design*”, Vol. 35 Marchell Inc., New York, Toronto, London.
- Menteri Kesehatan RI. (2017). *Peraturan Menteri Kesehatan RI no.32*. Jakarta: Menteri Kesehatan RI.
- Nurcholis, Septian. 2013. *Pengaruh Corporate Social Responbilty Disclosure Terhadap Nilai Perusahaan Perbankan*. Universitas Pendidikan Indonesia.
- Peter, M. S. and Timmerhause, 1980. *Plant Design and Economics for Chemical Engineer*. 3th Edition, Mc. Graw Hill International Book Co.: Kogakusha, Tokyo.
- Provinsi Banten, Putusan Gubernur Banten Nomor 516/Kep.353-HUK/2018
- PT Styrimdo Mono Indonesia. (2016). Deskripsi Proses. Cilegon.
- PT. Chandra Asri Petrochemical, Tbk, <http://www.chandra-asri.com/> Diakses pada tanggal 5 Agustus 2019.

- Severns, H. 1964. *Steam, Air, and Gas power*. 5th ed. John Wiley and Sons, Inc.: U.S.A.
- Smith, J.M., Van Nes, H.C., dan Abbott, M.M. 2001. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamic, 5th edition*. Mc. Graw Hill Book Studnt International Edition. Tokyo.
- Treyball, R. E., 1980, "Mass – Transfer Operation", 3rd Edition. Mc Graw Hill Chemical Engineering Series.
- Ullman's, Barbara Elvers, 2005, "Encyclopedia of Industrial Chemistry", Vol. A19, VCH, German.
- Ulrich, G.D. 1984. *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. John Wiley and Sons, Inc.: New York
- Ulrich, Roger S. 1984. *View Through a window may influence recovery from sugery*. Gale Group information integrity V224 P420(2)
- Vilbrant, F. C. and Dryden, C. E., 1959, "Chemical Engineering Plant Design", 1sted. Mc Graw Hill, Kogakusha, Ltd., Tokyo.
- Yaws, C.L, 1999, "Thermodynamic and Physical Property Data", Gulf Publishing Co., Houston, Texas