



**DESAIN REAKTOR PADA PABRIK N-BUTIL METAKRILAT MELALUI
PROSES ESTERIFIKASI MENGGUNAKAN KATALIS ASAM SULFAT
KAPASITAS 78.000 TON/TAHUN**

Skripsi

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana

Sarjana Teknik

Program Studi Teknik Kimia

Oleh

Miftahul Janah (5213416014)

JURUSAN TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2020

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Miftahul Janah
NIM : 5213416014
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Desain Reaktor Pada Pabrik N-Butil Metakrilat Melalui Proses Esterifikasi Menggunakan Katalis Asam Sulfat Kapasitas 78.000 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, 15 Oktober 2020

Pembimbing,



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

NIP. 197211062006042001

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, 15 Oktober 2020

Yang membuat pernyataan,



Miftahul Janah

NIM. 5213416014

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Desain Reaktor Pada Pabrik N-Butil Metakrilat Melalui Proses Esterifikasi Menggunakan Katalis Asam Sulfat Kapasitas 78.000 Ton/Tahun” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 15 Oktober 2020.

Oleh

Nama : Miftahul Janah

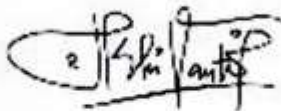
NIM : 5213416014

Program Studi : Teknik Kimia

Panitia

Ketua Panitia

Sekretaris



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

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


NIP. 197103161999032002

NIP. 197211062006042001

Penguji 2

Penguji 1

Pembimbing



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

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

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

NIP. 197103161999032002

NIP. 197103161999032002

NIP. 197211062006042001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



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

NIP. 1969113019940310001

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

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

- Imam Syafi'i

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

- John F. Kennedy

PERSEMBAHAN

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

ABSTRAK

Miftahul Janah. 2020. “Desain Reaktor Pada Pabrik N-Butil Metakrilat Melalui Proses Esterifikasi Menggunakan Katalis Asam Sulfat Kapasitas 78.000 Ton/Tahun”. Skripsi. Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

Pembimbing : Dr. Megawati, S. T., M. T.

N-Butil Metakrilat dibuat dengan proses esterifikasi, asam metakrilat direaksikan dengan butanol dengan perbandingan 1:1,2 menggunakan katalis asam sulfat membentuk n-butyl metakrilat. Reaksi esterifikasi ini berlangsung pada suhu 90°C dan tekanan atmosferis. Reaktor yang digunakan adalah *Continuous Stirred Tank Reactor*. Asam metakrilat terkonversi 93,2% menjadi n-butyl metakrilat di dalam reaktor dengan produk samping berupa air. Reaksi yang terjadi bersifat eksotermis, sehingga untuk menjaga suhu di dalam reaktor diperlukan pendingin sebagai penghilang panas yang dihasilkan dari reaksi. Pendingin yang digunakan adalah air dari PT. Krakatau Tirta Industri(KTI). Suhu di dalam reaktor dijaga agar tetap pada range operasi dengan cara mengalirkan air pendingin melalui jaket pendingin yang melapisi reaktor. Produk keluaran reaktor berupa campuran asam metakrilat, butanol, asam sulfat, n-butyl metakrilat, dan air selanjutnya dipisahkan menuju dekanter 1.

Reaktor merupakan salah satu alat penting yang digunakan pada pembuatan n-butyl metakrilat karena merupakan pusat reaksi kimia. Reaktor sebagai tempat berlangsungnya reaksi antara asam metakrilat dan butanol untuk menghasilkan n-butyl metakrilat. *Continuous Stirred Tank Reactor* memiliki prinsip kerja yaitu mampu mereaksikan campuran multikomponen. Reaktor untuk proses esterifikasi n-butyl metakrilat dari asam metakrilat dan butanol dengan kapasitas 78.000 ton/tahun yaitu reaktor jenis RATB dengan lama waktu tinggal reaksi 1,9637 jam. Dimensi dari reaktor yaitu tinggi reaktor 8,9929 m, diameter 3,7262 m, tebal *shell* 0,4375 in, tebal *head* 0,25 in. jenis reaktor pada pengaduk yaitu *Disk Six Flat Blade Open* dengan jumlah pengaduk 2 buah. Bahan prarancangan reaktor tangki berpengaduk adalah *Carbon Steel SA-204 Grade-A*.

Kata kunci : N-Butyl Metakrilat, Reaktor, *Continuous Stirred Tank Reactor*

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kepada Allah SWT, hanya karena rahmat dan ridho-Nya, penulis akhirnya dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“Prarancangan Pabrik N-Butil Metakrilat Dari Asam Metakrilat Dan Butanol Dengan Proses Esterifikasi Menggunakan Katalis Asam Sulfat Kapasitas 78.000 Ton/Tahun”**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Program Strata I (S1) Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum., Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, MT., Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Ibu Dr. Dewi Selvia Fardhyanti, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang.
4. Ibu Irene Nindita Pradnya S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing satu dan Ibu Dr. Megawati, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing dua yang selalu memberi bimbingan, motivasi dan arahan yang membangun dalam penyusunan Skripsi.
5. Ibu Dr. Dewi Selvia Fardhyanti, S.T., M.T. selaku dosen penguji satu yang telah memberikan masukan pengarahan dalam penyempurnaan penyusunan Skripsi
6. Ibu Rr. Dewi Artanti P, S.T., M.T. selaku dosen penguji dua yang telah memberikan masukan pengarahan dalam penyempurnaan penyusunan Skripsi.
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 sehingga kami dapat menyelesaikan Skripsi.

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, 15 Oktober 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
MOTTO.....	v
PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Manfaat.....	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 N-Butil Metakrilat	5
2.2 Proses Pembuatan N-Butil Metakrilat.....	5
2.2.1 Bahan Baku Asam Metakrilat dan Butanol.....	5
2.2.2 Bahan Baku Metakrolein, Butanol dan Oksigen.....	6
2.2.3 Bahan Baku Metil Metakrilat dan Butanol	7
2.3 Sifat-Sifat Fisis dan Kimia Bahan	8
2.4 <i>Continuous Stirred Tank Reactor</i>	10
2.4.1 Mekanisme kerja reaktor berpengaduk	10

2.5	Tinjauan Termodinamika	10
2.6	Tinjauan Kinetika	13
BAB III		16
METODE PENELITIAN		16
2.1	Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	16
2.2	Alat dan Bahan	16
2.3	Prosedur Kerja.....	16
BAB IV		17
PEMBAHASAN		17
4.1	Menentukan Tipe Reaktor	17
4.2	Menentukan Bahan Konstruksi Reaktor.....	18
4.3	Menghitung Dimensi Reaktor	18
BAB V.....		46
PENUTUP.....		46
5.1	Kesimpulan.....	46
5.2	Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA		47

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Data Impor N-Butil Metakrilat di Indonesia.....	2
Tabel 2. 1 Perbandingan Proses Pembuatan n-butil metakrilat.....	8
Tabel 2. 2 Perbandingan Sifat fisis dan kimia dari tiap komponen	8
Tabel 2. 3 Panas Pembentukan Komponen.....	11
Tabel 4. 1 Data Komponen Masuk Reaktor (R-01)	18
Tabel 4. 2 Data Komponen Keluar Reaktor (R-01)	19
Tabel 4. 3 Data Densitas Masing-Masing Komponen	19
Tabel 4. 4 Data Viskositas Masing-Masing Komponen	20
Tabel 4. 5 Data Kecepatan Laju Alir Volumetrik	20
Tabel 4. 6 Perhitungan LMTD Pada R-01	32
Tabel 4. 7 Menghitung nilai k.....	34

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Komposisi Struktur Kimia N-Butil Metakrilat	5
Gambar 4. 1 Reaktor-01	17

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri kimia merupakan salah satu sektor industri yang mengalami perkembangan cukup signifikan. Industri kimia merupakan sektor industri yang mengolah atau merubah bahan baku menjadi barang setengah jadi maupun bahan jadi yang memiliki nilai ekonomis tinggi melalui serangkaian proses kimia.

Salah satu industri kimia yang memiliki prospek bagus adalah n-butil metakrilat yang mempunyai rumus molekul $C_8H_{14}O_2$ mempunyai nama IUPAC diantaranya diantaranya *2-methyl-2-propanic acid, butyl ester, butyl 2-methyl-2-propene*, dan *2-methyl butyl acrylate* (PubChem, 2020). N-butil metakrilat merupakan kopolimer yang berbentuk emulsi polimer yang digunakan sebagai bahan baku *additive* pada berbagai industri. N-butil metakrilat digunakan sebagai bahan *additive* dalam industri cat yaitu sebagai campuran pendispersi warna pada cat merata membentuk emulsi, sehingga cat dapat menempel jika diaplikasikan pada media vertikal. N-butil metakrilat juga diaplikasikan pada industri tekstil, tinta, dan perekat kayu.

Berdasarkan data yang diperoleh dari UN-data Comtrade diketahui bahwa kebutuhan n-butil metakrilat di Indonesia cenderung meningkat setiap tahunnya. Kebutuhan n-butil metakrilat di Indonesia adalah sebesar jumlah impor n-butil metakrilat karena di Indonesia belum ada pabrik n-butil metakrilat.

Berikut data impor N-Butil Metakrilat menurut UN-data Comtrade dari tahun 2010 sampai 2018 ditunjukkan pada Tabel 1.1.

Tabel 1. 1 Data Impor N-Butil Metakrilat di Indonesia

Tahun	Kg	Ton
2010	41.375.483	41.375,48
2011	44.811.593	44.811,59
2012	47.628.368	47.628,37
2013	48.615.221	48.615,22
2014	54.083.400	54.083,4
2015	51.070.359	51.070,36
2016	65.436.928	65.436,93
2017	62.728.268	62.728,27
2018	62.096.472	62.096,47

(Sumber : UNdata, 2019)

Berdasarkan Tabel 1.1 dapat disimpulkan bahwa konsumsi n-butyl metakrilat di Indonesia cukup besar, namun di Indonesia masih mengandalkan impor dari luar negeri serta belum ada pabrik dalam negeri yang beroperasi untuk menanggulangi masalah tersebut. Sehingga, pendirian pabrik n-butyl metakrilat di Indonesia akan membantu untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, membuka lapangan pekerjaan sehingga dapat mengurangi pengangguran, dan tidak menutup kemungkinan dapat diekspor untuk menambah devisa negara.

Bahan baku yang digunakan untuk membuat n-butyl metakrilat adalah asam metakrilat dan butanol dengan katalis asam sulfat dan natrium hidroksida sebagai penetral. Berikut industri di Indonesia yang memproduksi bahan baku n-butyl metakrilat ditunjukkan pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Pabrik Penyedia Bahan Baku di Indonesia

Bahan Baku	Nama Perusahaan	Lokasi	Kapasitas (ton/tahun)
^a Asam Metakrilat	PT. Nippon Shokubai	Cilegon, Indonesia	80.000
^b Butanol	PT. Chandra Asri Cilegon	Cilegon, Indonesia	500.000
^c Asam Sulfat	PT. Acid Industri	Jakarta Timur, Indonesia	82.500
^d Natrium Hidroksida	PT.Asahimas Chemical	Cilegon, Indonesia	700.000

^aNipponShokubaiCo., ^b www.chandra-asri.com., ^cwww.indoacid.com,

^dwww.asc.co.id.

Semakin meningkatnya industri kimia bahan baku n-butyl metakrilat, serta di Indonesia belum ada pabrik n-butyl metakrilat maka, permintaan akan produk n-butyl metakrilat ini akan terus mengalami peningkatan pada tahun yang akan datang. Oleh sebab itu, pabrik n-butyl metakrilat perlu didirikan di Indonesia dengan pertimbangan sebagai berikut:

1. Kebutuhan n-butyl metakrilat di Indonesia cukup besar, sehingga dengan adanya pabrik n-butyl metakrilat dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri.
2. Pemenuhan kebutuhan n-butyl metakrilat di Indonesia saat ini masih mengandalkan impor dari luar negeri seperti dari Cina. Indonesia belum ada pabrik n-butyl metakrilat. Didirikannya pabrik ini di Indonesia diharapkan dapat memperkecil ketergantungan terhadap impor n-butyl metakrilat.
3. Bahan baku pembuatan n-butyl metakrilat berupa butanol dan asam metakrilat banyak tersedia di Indonesia
4. Mengurangi pengangguran dengan menciptakan lapangan kerja baru bagi masyarakat.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana cara merancang *continuous stirred tank reactor* pada pabrik n-butyl metakrilat dengan proses esterifikasi asam metakrilat dan butanol menggunakan katalis asam sulfat kapasitas 78.000 ton/tahun?
2. Bagaimana hasil rancangan *continuous stirred tank reactor* pada pabrik n-butyl metakrilat dengan proses esterifikasi asam metakrilat dan butanol menggunakan katalis asam sulfat kapasitas 78.000 ton/tahun.

1.3 Tujuan

Secara khusus penelitian ini bertujuan, antara lain :

1. Mengetahui cara merancang *continuous stirred tank reactor* pada pabrik n-butyl metakrilat dengan proses esterifikasi asam metakrilat dan butanol menggunakan katalis asam sulfat kapasitas 78.000 ton/tahun.
2. Mengetahui hasil rancangan *continuous stirred tank reactor* pada pabrik n-butyl metakrilat dengan proses esterifikasi asam metakrilat dan butanol menggunakan katalis asam sulfat kapasitas 78.000 ton/tahun

1.4 Manfaat

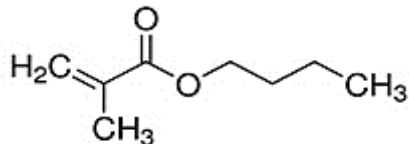
Manfaat dari penelitian ini, antara lain:

1. Memberikan pengetahuan mengenai cara merancang *continuous stirred tank reactor* pada pabrik n-butyl metakrilat dengan proses esterifikasi asam metakrilat dan butanol menggunakan katalis asam sulfat kapasitas 78.000 ton/tahun.
2. Dapat mengaplikasikan hasil rancangan *continuous stirred tank reactor* pada pabrik n-butyl metakrilat dengan proses esterifikasi asam metakrilat dan butanol menggunakan katalis asam sulfat kapasitas 78.000 ton/tahun.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 N-Butil Metakrilat

N-butil metakrilat mempunyai nama kimia *2-Propeonic acid, 2-methyl, buthyl ester*, dan *2-methyl buthyl acrylate*. N-butil metakrilat merupakan cairan bening dan tidak berwarna dengan bau seperti ester yang samar. Formula molekulnya adalah $C_8H_{14}O_2$ dengan berat molekul 142 gram/mol(US005386052A). Komposisi struktur kimia n-butil metakrilat dijelaskan pada gambar 2.1 berikut.



Gambar 2. 1 Komposisi Struktur Kimia N-Butil Metakrilat

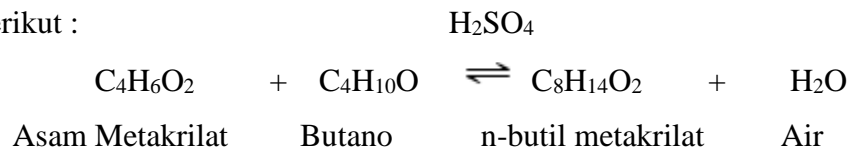
N - Butil Metakrilat dapat dibuat melalui 3 cara, yaitu dengan bahan baku asam metakrilat dan butanol, dengan bahan baku metakrolein, butanol, dan oksigen, dan dengan bahan baku metil metakrilat dan butanol.

2.2 Proses Pembuatan N-Butil Metakrilat

2.2.1 Bahan Baku Asam Metakrilat dan Butanol

Senyawa n-butil metakrilat diperoleh dari reaksi esterifikasi dengan mereaksikan asam metakrilat dengan butanol. Katalis yang digunakan adalah asam kuat seperti Asam Sulfat, Asam sulfat, Asam Fosfor, *p-toluene sulfonic acid*, dan *benzene sulfonic acid* (US20020055650A1).

Reaksi esterifikasi Asam Metakrilat dengan Butanol adalah sebagai berikut :

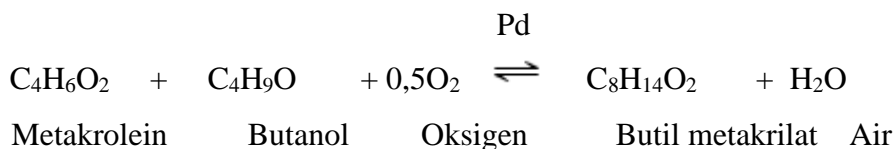


Dalam esterifikasi antara asam metakrilat dan butanol, perbandingan mol reaktan yang biasa digunakan adalah 1,0:1,2 sampai dengan 1,0 : 0,8 yang dimasukkan ke reaktor. Jumlah katalis asam yang digunakan adalah 0,5 sampai 2,0 % berat reaktan. Reaksi umumnya dilakukan pada suhu 70°C sampai 180 °C(US005386052A). Esterifikasi dapat terjadi hanya ketika konsentrasi asam dan alkohol dibuat excess jika tidak hidrolisis akan terjadi(Kirk Ortmer, 1981).Konversi asam metakrilat yang didapatkan dari esterifikasi asam metakrilat dengan n-butanol yang bereaksi pada suhu 85 °C - 95 °C sebesar 93,2 % (EP0552541A).

Setelah cairan keluar reaktor selanjutnya didinginkan menggunakan air pendingin dengan suhu antara 10°C sampai dengan 60 °C kemudian dicuci menggunakan air untuk ekstraksi. Suhu air pencuci lebih rendah atau sama dengan cairan keluar reaktor. Rasio berat antara air pencuci dengan cairan keluar reaktor antara 0,05 sampai dengan 0,2. Pencucian dapat menggunakan mixer kemudian didiamkan agar terpisah. Air yang telah digunakan untuk mencuci mengandung asam metakrilat dan katalis asam. Kadar air dapat dikurangi dengan cara *evaporasi*, selanjutnya larutan asam di *recycle* ke reaktor (US005386052A).

2.2.2 Bahan Baku Metakrolein, Butanol dan Oksigen

N-butil metakrilat diperoleh dengan mereaksikan metakrolein, butanol dan oksigen. Katalis yang digunakan yaitu Paladium(Pd). N- Butil metakrilat disintesis menggunakan reaktor alir tangki berpengaduk (USOO6107515A). Reaksinya sebagai berikut :



Reaksi ini menghasilkan air, reaksi air dengan metakrolein membentuk asam karboksilat sebagai produk samping. Selain itu, produk

seperti air dan asam karboksilat mudah teradsorpsi ke permukaan katalis sehingga mengurangi laju reaksi saat konsentrasi air dan asam karboksilat meningkat.

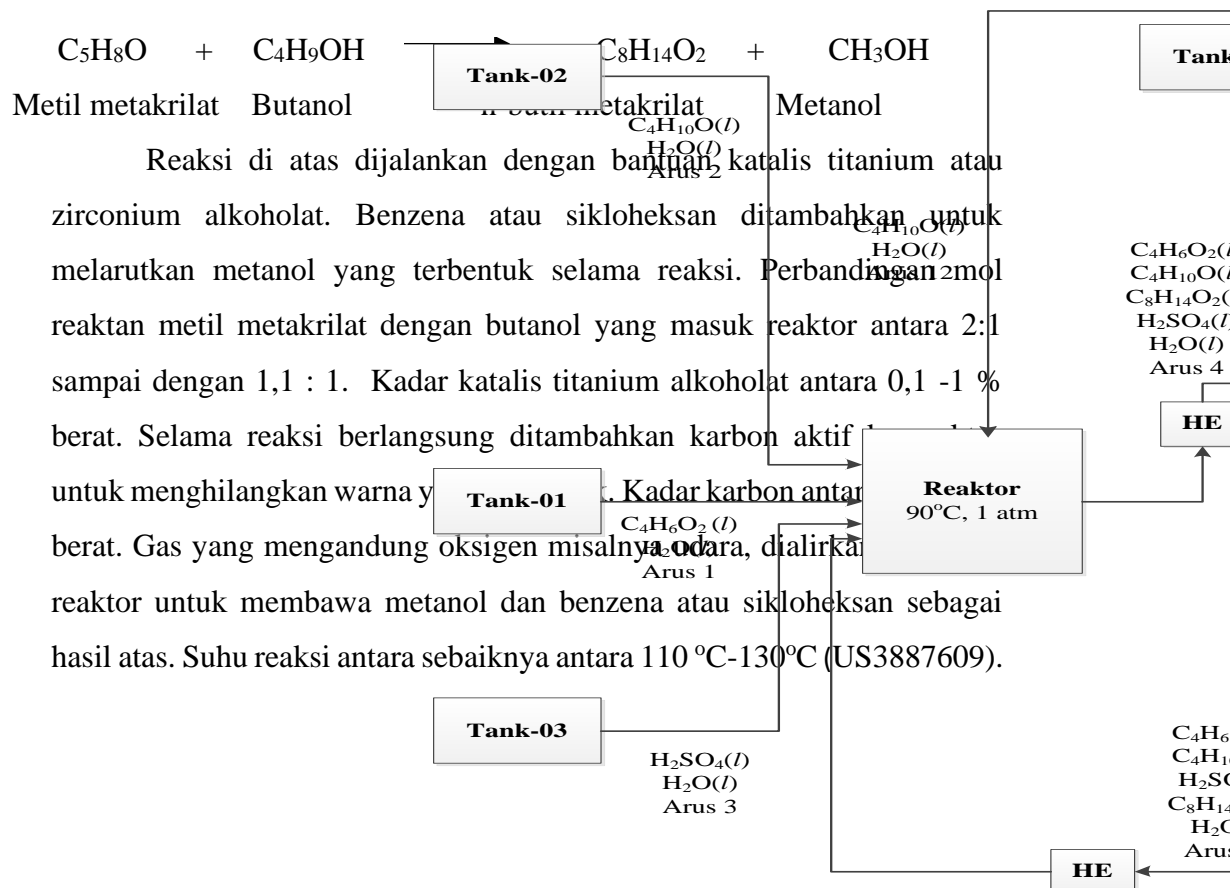
Permasalahan di atas dapat diselesaikan dengan meningkatkan produktivitas dengan menambahkan adsorben ke dalam reaktor untuk menyerap air. Dengan metode ini selektivitas menjadi lebih baik. Metode lain yang dapat dipakai adalah dengan menambahkan membran di dalam reaktor yang mampu dilewati air tetapi tidak dapat ditembus oleh asam, alkohol, maupun ester yang terbentuk (USOO6107515A). Pada proses ini memiliki kelemahan yaitu harga katalis dan bahan baku metakrolein yang mahal sehingga tidak ekonomis jika diaplikasikan di pabrik.

2.2.3 Bahan Baku Metil Metakrilat dan Butanol

N-butyl metakrilat dibuat dengan reaksi transesterifikasi dengan mereaksikan metil metakrilat dengan butanol dengan katalis titanium (Ti) (US3887609). Reaksinya sebagai berikut :



Reaksi di atas dijalankan dengan bantuan katalis titanium atau zirconium alkoholat. Benzena atau sikloheksan ditambahkan untuk melarutkan metanol yang terbentuk selama reaksi. Perbandingan 2 mol reaktan metil metakrilat dengan butanol yang masuk reaktor antara 2:1 sampai dengan 1,1 : 1. Kadar katalis titanium alkoholat antara 0,1 -1 % berat. Selama reaksi berlangsung ditambahkan karbon aktif untuk menghilangkan warna yang dihasilkan. Kadar karbon aktif antara 0,1 -1 % berat. Gas yang mengandung oksigen misalnya udara, dialirkan ke reaktor untuk membawa metanol dan benzena atau sikloheksan sebagai hasil atas. Suhu reaksi antara sebaiknya antara 110 °C-130°C (US3887609).



Perbandingan proses pembuatan n-butyl metakrilat dijelaskan pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Perbandingan Proses Pembuatan n-butyl metakrilat

1.	Bahan baku	Asam Metakrilat dan butanol	Metakrolein, butanol, dan oksigen	Metil metakrilat dan butanol
2.	Katalis	Asam sulfat	Paladium	Titanium Alkohonat
3.	Alat Operasi	Sederhana	Rumit	Rumit
4.	Kondisi operasi	^a (T = 70-110 °C P = 1 atm) ^b Konversi = 93,2 %	T = 80°C P = 5 atm	T = 110-130°C P = 5 atm Konversi = 40,3%
5.	Kondisi ekonomi	Harga bahan baku dan katalis murah dan ada di Indonesia	Harga katalis mahal dan bahan baku metakrolein mahal sehingga tidak ekonomis	Harga katalis mahal
6.	Sumber	^a = US005386052A ^b = EP0552541A	(USOO6107515A)	(US3887609)

Berdasarkan perbandingan proses di atas, maka dipilih proses esterifikasi dengan bahan baku asam metakrilat dan butanol karena bahan baku dan katalis lebih murah dan di Indonesia sudah ada.

2.3 Sifat-Sifat Fisis dan Kimia Bahan

Sifat-sifat fisis dan kimia bahan ditunjukkan pada Tabel berikut.

Tabel 2. 2 Perbandingan Sifat fisis dan kimia dari tiap komponen

Komponen	Bahan Baku		Bahan pendukung		Produk
	Asam Metakrilat	N-Butanol	Asam sulfat	Natrium Hidroksida	n-butyl metakrilat
Rumus molekul ^(a)	C ₄ H ₆ O ₂	C ₄ H ₁₀ O	H ₂ SO ₄	NaOH	C ₈ H ₁₄ O ₂

Komponen	Bahan Baku		Bahan pendukung		Produk
	Asam Metakrilat	N-Butanol	Asam sulfat	Natrium Hidroksida	n-butil metakrilat
Berat molekul (g/gmol) ^(a)	86,09	74,12	98,0716	39,9971	142,20
Titik didih normal (°C) ^(a)	165	117,66	340	1388	163
Densitas (g/cm ³) ^(a)	1,015	0,81	1,8302	2,13	0,889
Tekanan kritis (atm) ^(a)	46,38	44,55	63,16	-	-
Suhu kritis (°C) ^(a)	370	289,78	650,89	-	-
Kapasitas panas (J/mol.K) ^(a)	174,6077 ^(c)	160,1207 ^(c)	-	59,5	1,9
Viskositas (cp) ^(a)	1,38 at 24 °C	2,544 at 25 °C	26,7	4 at 350 °C	0,92
Kepadatan Uap ^(b)	2,97	2,6	3,4	-	4,9
Tekanan uap (mm hg) ^(b)	0,99 at 25 °C	7 at 25	5,93 x 10 ⁻⁵ at 25 °C	1,82 x 10 ⁻²¹	2,12 at 25 °C
Titik nyala (°C) ^(b)	76,66667	29	-	-	52
Titik leleh (°C) ^(b)	16,11111	-89,8	10,31	323	-75

2.4 *Continuous Stirred Tank Reactor*

Reaktor merupakan suatu alat yang berperan sebagai tempat terjadinya suatu reaksi, baik itu reaksi kimia atau reaksi nuklir dan bukan terjadi secara fisika. Terjadinya reaksi ini, membuat suatu bahan berubah bentuk ke bentuk lainnya, perubahannya ada yang terjadi secara sendrinya atau bisa juga dengan bantuan energi seperti panas.

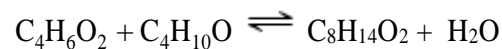
Reaktor yang umumnya terdapat di industri adalah reaktor berpengaduk atau yang dikenal dengan CSTR(Continuous Stired Tank Reactor). Reaktor berpengaduk mempunyai bagian utama yaitu tangki dan pengaduk. Pada umumnya reaktor ini dilengkapi dengan saluran masuk dan keluar serta perlengkapan lain sesuai kebutuhannya misalnya tutup, termometer, dan pemanas (Djoko Marjanto, 2009).

2.4.1 Mekanisme kerja reaktor berpengaduk

Reaktan diumpankan ke dalam suatu tangki berpengaduk bersama dengan bahan baku, kemudian akan dilakukan pengadukan dengan perangkat.

2.5 Tinjauan Termodinamika

Reaksi :

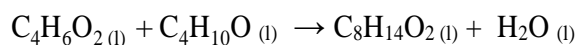


Data entalpi pembentukan setiap komponen disajikan pada Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2. 3 Panas Pembentukan Komponen

Komponen	ΔH_f (kJ/mol)	ΔG_f (kJ/mol)
$C_4H_6O_2$	-361,8	-281,82
$C_4H_{10}O$	-274,6	-150,2
$C_8H_{14}O_2$	-422	-231
H_2O	-241,8	-228,64

Sumber: (Yaws, 1999), (Perry, 2008)



$$\begin{aligned} \text{Total harga } \Delta G_f^{298K} &: \sum \Delta G_f^o \text{ produk} - \sum \Delta G_f^o \text{ reaktan} \\ &: [(-231) + (-228,64)] - [(-281,82) + (-150,2)] \\ &: -27,62 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\Delta H_{rxn}(298K) = \Delta H_f^o \text{ produk} - \Delta H_f^o \text{ reaktan}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_f^o \text{ produk} &= [(\Delta H_f^o C_8H_{14}O_2) + (H_2O)] \\ &= (-422 + -241,8) \\ &= -663,8 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_f^o \text{ reaktan} &= [\Delta H_f^o C_4H_6O_2 + \Delta H_f^o C_4H_{10}O] \\ &= (-361,8 + -274,6) \\ &= -636,4 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total harga } \Delta H_f^{298K} &: \sum \Delta H_f^o \text{ produk} - \sum \Delta H_f^o \text{ reaktan} \\ &: (-663,8) - (-636,4) \\ &: -27,4 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Dari perhitungan, diperoleh nilai ΔH_f^o negatif untuk reaksi tersebut, dengan demikian reaksi berjalan secara eksotermis, sedangkan ΔH_G^o 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 1.1.

$$\frac{d \ln K_o}{dT} = -\frac{\Delta G}{RT^2} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 1.1)}$$

(Smith *et al.*, 2001)

$$\Delta G^{\circ}_{298K} = -RT \ln K_o$$

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

$$\ln K_o = \frac{-27.620}{-8,314 \times 298,15}$$

$$\ln K_o = 0,011142$$

$$K_o = 1,011205$$

Dari persamaan:

$$\ln \frac{K}{K_o} = -\frac{\Delta H}{R} \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right) \dots\dots\dots \text{(Persamaan 1.2)}$$

Keterangan: K = Konstanta kesetimbangan

T = *Temperature* (K) ΔH = Panas pembentukan standar pada 298,15 K

Jika reaksi dijalankan pada *Temperature* 90°C (363,15K), maka konstanta kesetimbangan reaksinya menjadi:

$$\ln \frac{K}{1,011205} = -\frac{-27.400}{8,314} \times \left(\frac{1}{363,15} - \frac{1}{298,15} \right)$$

$$\ln \frac{K}{1,011205} = 3295,645898 \times (0,002753683 - 0,003354)$$

$$\ln \frac{K}{1,011205} = -0,00198$$

$$\frac{K}{1,011205} = e^{-0,00198}$$

$$\frac{K}{1,011205} = 0,998023$$

$$K = 0,986965$$

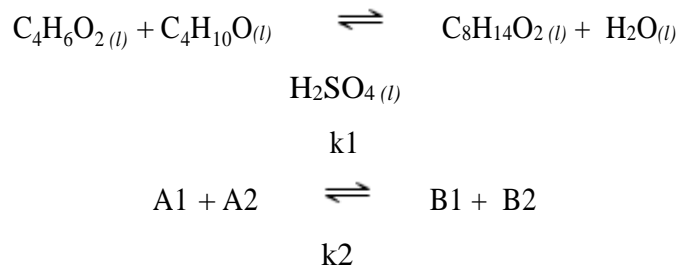
Jika dilihat dari harga K, reaksi pembentukan n-butyl metakrilat bersifat *reversible*. Karena harga $K < 1$ (Smith *et al.*, 2001). Oleh karena itu, perlu usaha agar reaksi bergeser ke arah produk.

Menurut Ishikawa (1997), beberapa usaha yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut :

- Reaktan (asam metakrilat dan butanol) *dibuat excess*.
- Menggunakan katalis (asam sulfat) yang bertujuan untuk mengarahkan reaksi ke arah produk.

2.6 Tinjauan Kinetika

Reaksi esterifikasi Butil metakrilat



$$\frac{dx}{dt} = k_1(A_{01} - x)(A_{02} - x) - k_2(B_{01} + x)(B_{02} + x)$$

Reaksi antara $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$ dengan $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$ merupakan reaksi cair-cair (homogen) dan bersifat *reversible*. Tinjauan kinetika didasarkan pada persamaan Arrhenius, dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh perubahan suhu terhadap laju reaksi.

$$k = Ae^{\left(\frac{-E_a}{RT}\right)}$$

Dimana :

k = konstanta laju reaksi (jam)

A = laju tumbukan (1/jam)

Ea = energi aktivasi (J/mol)

R = konstanta gas ideal (8,314 J/mol K)

T = suhu reaksi (K)

Dari persamaan Arrhenius diatas dapat diketahui bahwa dengan bertambahnya suhu reaksi maka konstanta laju reaksi (k) juga akan meningkat, yang berarti bahwa laju reaksinya juga meningkat.

Perhitungan kinetika menggunakan data dari US Patent No. 5,883,288 , data tersebut digunakan untuk menentukan nilai k pada suhu reaksi esterifikasi 90°C. Berikut dijelaskan perhitungan menentukan nilai k.

Diketahui data dari US Patent No. 5,883,288

$$T = (70 + 273,15)K = 343,15 K \quad : t = 0,5 \text{ jam}$$

$$T = (150 + 273,15)K = 423,15 K \quad : t = 10 \text{ jam}$$

Menghitung harga k1 pada t1 = 0,5 jam

$$k = \frac{\frac{1}{1,2-1} \ln\left(\frac{(1,2-0,93)}{(1-0,93)(1,2)}\right)}{1,9225 \times 0,5}$$

$$k_1 = 6,1846 \text{ m}^3/\text{kmol.jam}$$

Menghitung harga k2 pada t2 = 10 jam

$$k = \frac{\frac{1}{1,2-1} \ln\left(\frac{(1,2-0,93)}{(1-0,93)(1,2)}\right)}{1,9225 \times 10}$$

$$k_2 = 0,3092 \text{ m}^3/\text{kmol.jam}$$

Sehingga, diasumsikan bahwa :

$$T = (70 + 273,15) K = 343,15 K \quad : t = 7 \text{ jam} \quad : k_1 = 6,1846 \text{ m}^3/\text{kmol.jam}$$

$$T = (150 + 273,15) K = 423,15 K \quad : t = 1 \text{ jam} \quad : k_2 = 0,3092 \text{ m}^3/\text{kmol.jam}$$

Menghitung konstanta kecepatan reaksi pada suhu 90°C, mengikuti persamaan Arrhenius:

$$k = A.e(-E/RT)$$

$$\ln k = \ln A.(-E/R.T) \quad ; \text{ Bila } -E/R = B \text{ Maka: } \ln k = \ln A + B/T$$

$$\text{Sehingga: } \ln k_1 = \ln A + B/T_1 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\ln k_2 = \ln A + B/T_2 \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\ln k_1 - \ln k_2 = (B/T_1) - (B/T_2) \quad (3)$$

$$(\ln 6,1846) - (\ln 0,3092) = (B/343,15) - (B/423,15)$$

$$B = 8523,3976$$

Substitusi ke persamaan (1) $\ln k_1 = \ln A + B/T_1$

$$\ln 6,1846 = \ln A + (8523,3976/343,15)$$

$$1,8221 = \ln A + (24,8387)$$

$$\ln A = -23,01664$$

$$A = 1,009257 \times 10^{-10}$$

Maka konstanta kecepatan reaksinya:

$$k = 1,009257 \times 10^{-10} e^{(8523,3976/T)}$$

pada suhu 90°C, maka:

$$k = 1,009257 \times 10^{-10} e^{(8523,3976/363,15)}$$

$$k = 1,5748 \text{ m}^3/\text{kmol.jam}$$

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Desain reaktor CSTR dihitung dengan cara mencari data-data pendukung terlebih dahulu untuk perhitungan desain reaktor.
2. *Continuous stirred tank reactor* pada pabrik n-butil metakrilat dengan proses esterifikasi asam metakrilat dan butanol menggunakan katalis asam sulfat kapasitas 78.000 ton/tahun memiliki diameter reaktor 3,726 m, tinggi reaktor 8, 993 m, tebal *shell* 0,4375 in, tebal *head* 0,25 in dan jumlah pengaduknya 2 buah jenis *disk six flat blade open* dengan daya pengaduk 22 HP dengan bahan menggunakan *Carbon Steel SA-204 grade A*.

5.2 Saran

1. Lebih teliti dalam perancangan, pastikan satuan sama dalam proses menghitung.
2. Dapat menggunakan aplikasi *software* simulasi kemudian bandingkan dengan perhitungan lewat aplikasi *microsoft excel*.

DAFTAR PUSTAKA

- Aichinger, H. *Et Al.* (1999) 'United States Patent Continuous Preparation Of Alkyl Esters Of (Meth)Acrylic Acid (19)', (19).
- Brownell and Young. 1959. *Process Equipment Design*. United States of Amrica : John Wiley & Sons, Inc
- Coulson, J.M. and Richardson, J.F. 1985. *Petrochemical Process Major Oxygenated, Chlorinated, and Nitrated Derivates*. Paris : Editions Tencnip
- Kern, D.Q. 1983. *Process Heat Transfer*. Japan: MCGraw Hill Book Company
- Hidaka et al . 2002. 'PRODUCTION OF METHACRYLATES', United States (12) Patent Application Publication, NO.US0055650 1(19).
- Ishikawa, T., et. al.. 1997. Modelling and Optimisation of an Industrial Batch Process for the Production of DOP. London, UK. Kawabata, H., & Shiiba, K. (1981). United States Patent
- McCabe, W.L (1993). *Unit Operations of Chemical Engineering*. Singapore: McGraw-Hill Book Co
- Nippon Shokubai Co. 2020. *Annual Production Capacity*. Diakses dari www.shokubai.co.jp pada 28 September 2020
- Perry. (2008) '*PERRY'S CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK EIGHTH EDITION*'
- PT Asahimas Chemical. 2020. Kemurnian Natrium Hidroksida(NaOH). Diakses dari www.asc.co.id . 11 Februari 2020 (21.00)
- PT Chandra Asri. 2020. Kemurnian Butanol(NaOH). Diakses dari : www.chandra-asri.com . 11 Februari 2020 (20.45)
- PT Indonesia Acid. 2020. Kapasitas Asam Sulfat (H₂SO₄). Diakses dari: www.indoacid.com. 11 Februari 2020 (20.41)
- PubChem (2020) 'Butyl methacrylate (Compound)'. Available at: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Butyl-methacrylate>.
- Rase,H.F. 1977. *Chemical Reactor Design for Process Plant vol I and II, Principles and Techniques*. New York: Willey and Sons Inc
- Sakakura. 1995. *PROCESS FOR PRODUCING ACRYLIC OR METHACRYLCESTERS*. United States Patent No. 005386052A, (19).
- Smith Van Ness. 2001. *Smith, Van Ness, Abbot - Chemical Engineering Thermodynamics.pdf*.

Strehlke. 1975. *PROCESS FOR THE PRODUCTION OF HIGHER ALKYLACRYLATES AND METHACRYLATES*. United States Patent No. 3887609 (19).

Tanner, J. P. et al. 1992. *CATALYZED ESTERIFICATION PROCESS. EUROPEAN PATENT APPLICATION*, EP0552541A.

UNdata. 2019. *UN Comtrade Database*. Available at: <http://comtrade.un.org>.

Yamaguchi et al. 2000. (*PROCESS FOR PREPARING METHACRYLIC OR ACRYLCESTERS*), *United States Patent*, (19), pp. 4–11.

Yaws, C. L. 1999 (*Thermophysical Properties of Chemicals and Hydrocarbons*).