



**PERHITUNGAN NERACA MASSA DAN NERACA PANAS PADA PRA-
RANCANGAN PABRIK N-BUTIL METAKRILAT MELALUI PROSES
ESTERIFIKASI DENGAN KATALIS ASAM SULFAT KAPASITAS 78.000
TON/TAHUN**

Skripsi

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

Oleh

Rifan Fauzi

(5213416028)

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

2020

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Rifan Fauzi
NIM : 5213416028
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Perhitungan Neraca Massa Dan Neraca Panas Pada Pra-Rancangan Pabrik N-Butil Metakrilat Melalui Proses Esterifikasi Dengan 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

LEMBAR PENGESAHAN

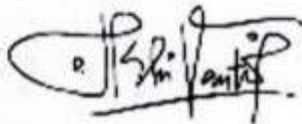
Skripsi dengan judul "Perhitungan Neraca Massa Dan Neraca Panas Pada Pra-Rancangan Pabrik N-Butil Metakrilat Melalui Proses Esterifikasi Dengan Katalis Asam Sulfat Kapasitas 78.000 Ton/Tahun" telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 15 Oktober 2020.

Oleh

Nama : Rifan Fauzi
NIM : 5213416028
Program Studi : Teknik Kimia

Panitia

Ketua Panitia



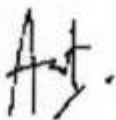
Dr. Dewi S. Fardhyanti, S.T., M.T.
NIP. 197103161999032002

Sekretaris



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

Penguji 2



Rr. Dewi Artanti P, S.T., M.T.
NIP. 198711192014042000

Penguji 1



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

Pembimbing



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

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.
NIP. 1969113019940310001

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,



Rifan Fauzi

NIM. 5213416028

ABSTRAK

Rifan Fauzi, 2020. “Perhitungan Neraca Massa Dan Neraca Panas Pada Pra-Rancangan Pabrik N-Butil Metakrilat Melalui Proses Esterifikasi Dengan 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 bantuan katalis asam sulfat membentuk n-butil betakrilat. Reaksi esterifikasi ini berlangsung pada suhu 90°C dan tekanan 1 atm. Asam metakrilat terkonversi sebesar 93,2% menjadi n-butil metakrilat di dalam reaktor *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) dengan produk samping natrium Sulfat. Kemurnian produk n-butil betakrilat sebesar 99,5% dan kemurnian natrium sulfat sebesar 98%. Reaksi yang terjadi bersifat eksotermis, sehingga untuk menjaga suhu didalam reaktor diperlukan pendingin sebagai penghilang panas yang dihasilkan dari reaksi. Peralatan proses yang digunakan meliputi tangki penyimpanan bahan baku, tangki penyimpanan produk, reaktor tangki berpengaduk, dekanter, netralizer, *evaporator*, dan distilasi. Sedangkan alat pendukungnya adalah *cooler*, *heater*, pompa, kondensor, *reboiler* dan akumulator. Pabrik n-butil metakrilat ini di rancang dengan kapasitas 78.000 ton/tahun. Berdasarkan perhitungan neraca massa dan neraca panas alat secara keseluruhan, tidak ada selisih massa/energi yang masuk dan massa/energi yang keluar, maka neraca massa dan neraca panas sistem berada pada kesetimbangan serta tidak terdapat panas yang terbuang. Kebutuhan steam untuk evaporator sebesar 3.182.494,467 kg/jam, distilasi sebesar 2.578.983,750 kg/jam, *Heater* (E-01) sebesar 761.373,027 kg/jam, *Heater* (E-02) 690.163,993 kg/jam, *Heater* (E-03) sebesar 881,050 kg/jam, *Heater* (E-05) 477.786,587 kg/jam, dan *Heater* (E-07) sebesar 2.822.821,100 kg/jam. Sedangkan kebutuhan air pendingin untuk reaktor sebesar 1.663.320,967 kg/jam, kondensor evaporator sebesar 3.196.098,190 kg/jam, netralizer sebesar 20.647,366 kg/jam, kondensor distilasi sebesar 2.248.523,136 kg/jam, *cooler* (E-04) sebesar 1.836.047,812 kg/jam, *cooler* (E-06) sebesar 13.535,247 kg/jam, *cooler* (E-08) sebesar 95.849,408 kg/jam, dan *cooler* (E-09) sebesar 2.857.933,411 kg/jam.

Kata Kunci: Neraca Massa, Neraca Panas, Esterifikasi, *Steam*, Pendingin

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kepada Allah SWT, hanya karena rahmat dan ridho-Nya, penulis akhirnya dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “**Perhitungan Neraca Massa Dan Neraca Panas Pada Pra-Rancangan Pabrik N-Butil Metakrilat Melalui Proses Esterifikasi Dengan 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
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Rumusan Masalah	4
1.5. Tujuan.....	4
1.6. Manfaat.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 N-Butil Metakrilat	6
2.2 Macam-Macam Proses	7
2.2.1 Bahan Baku Asam Metakrilat dan Butanol.....	7
2.2.2 Bahan Baku Metakrolein, Butanol dan Oksigen.....	8
2.2.3 Bahan Baku Metil Metakrilat dan Butanol	9
2.3 Sifat-sifat Fisis dan Kimia Bahan.....	10
2.4 Tinjauan Proses Secara Umum.....	12
2.4.1 Tahap persiapan bahan baku	12
2.4.2 Tahap reaksi	12
2.4.3 Tahap pemurnian hasil	13
2.5 Tinjauan Termodinamika	14
2.6 Tinjauan Kinetika	16
2.7 Neraca Massa	18

2.8	Neraca Energi	19
BAB III METODE PENELITIAN.....		21
3.1	Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	21
3.2	Alat dan Bahan	21
3.3	Prosedur Kerja	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		22
4.1.	Neraca Massa	22
4.1.1.	Neraca Massa Reaktor(R-01).....	23
4.1.2.	Neraca Massa Total Dekanter (FL-01)	24
4.1.3.	Neraca Massa Evaporator (FE-01).....	25
4.1.4.	Neraca Massa Total Netralizer (M-01)	26
4.1.5.	Neraca Massa Total Dekanter (FL-02)	26
4.1.6.	Neraca Massa Total Distilasi(T-01).....	27
4.1.7.	Neraca Massa Overall	28
4.2.	Neraca Panas	29
4.2.1.	Neraca panas disekitar reaktor (R-01).....	31
4.2.2.	Neraca panas dekanter (FL-01).....	31
4.2.3.	Neraca panas evaporator (FE-01).....	32
4.2.4.	Neraca panas netralizer (M-01).....	33
4.2.5.	Neraca panas dekanter (FL-02).....	34
4.2.6.	Neraca panas menara distilasi (T-01).....	34
4.2.7.	Neraca panas Heater (E-01)	35
4.2.8.	Neraca panas Heater (E-02)	35
4.2.9.	Neraca panas Heater (E-03)	36
4.2.10.	Neraca panas Cooler (E-04).....	36
4.2.11.	Neraca panas Heater (E-05)	37
4.2.12.	Neraca panas Cooler (E-06).....	37
4.2.13.	Neraca panas Heater (E-07)	38
4.2.14.	Neraca panas Cooler (E-08).....	38
4.2.15.	Neraca panas Cooler (E-09).....	39
BAB V PENUTUP.....		40

5.1	Kesimpulan.....	40
5.2	Saran	40
	DAFTAR PUSTAKA	41
	LAMPIRAN A PERHITUNGAN NERACA MASSA	43
	LAMPIRAN B PERHITUNGAN NERACA PANAS	73

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data Impor N-Butil Metakrilat di Indonesia.....	2
Tabel 2.1 Aplikasi n-butil metakrilat dalam beberapa jenis	6
Tabel 2.2 Daftar Perusahaan Tujuan Pasar Utama di Indonesia.....	7
Tabel 2.3 Perbandingan Sifat fisis dan kimia dari tiap komponen	10
Tabel 2.4 Panas Pembentukan Komponen.....	14
Tabel 4.1 Berat Molekul Masing-Masing Komponen	22
Tabel 4.2 Neraca Massa Total Reaktor (R-01)	24
Tabel 4.3 Neraca Massa Total Dekanter (FL-01)	25
Tabel 4.4 Neraca massa total evaporator (FE-01).....	25
Tabel 4.5 Neraca massa total netralizer (M-01).....	26
Tabel 4.6 Neraca massa dekanter (FL-02)	27
Tabel 4.7 Neraca massa distilasi (T-01).....	28
Tabel 4.8 Neraca Massa Overall	28
Tabel 4.9 Data Koefisien Kapasitas Panas Gas	29
Tabel 4.10 Data Koefisien Kapasitas Panas Cair.....	30
Tabel 4.11 Data Entalpi Uap	30
Tabel 4.12 Data Propertis Tekanan Uap	30
Tabel 4.13 Neraca panas reaktor	31
Tabel 4.14 Neraca panas dekanter	32
Tabel 4.15 Neraca Panas Evaporator	33
Tabel 4.16 Neraca Panas Netralizer	33
Tabel 4.17 Neraca Panas Dekanter	34
Tabel 4.18 Neraca Panas Menara Destilasi.....	35
Tabel 4.19 Neraca Panas Heater (E-01).....	35
Tabel 4.20 Neraca Panas Heater (E-02).....	36
Tabel 4.21 Neraca Panas Heater (E-03).....	36
Tabel 4.22 Neraca Panas Heater (E-03).....	36
Tabel 4.23 Neraca Panas Heater (E-05).....	37
Tabel 4.24 Neraca Panas Cooler (E-06).....	38

Tabel 4.25 Neraca Panas Heater (E-07).....	38
Tabel 4.26 Neraca Panas Cooler (E-08).....	39
Tabel 4.27 Neraca Panas Cooler (E-09).....	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1 Diagram Blok Produksi n-Butil Metakrilat dengan Proses Esterifikasi Menggunakan Katalis Asam Sulfat.....	23
Gambar 4.2 Diagram Alir Reaktor (R-01)	23
Gambar 4.3 Diagram Alir Dekanter (FL-01)	24
Gambar 4.4 Diagram Alir Evaporator (FE-01)	25
Gambar 4.5 Diagram Alir Netralizer	26
Gambar 4.6 Diagram Alir Dekanter (FL- 02)	26
Gambar 4.7 Diagram Alir Distilasi (T-01).....	27
Gambar 4.8 Blok Diagram Neraca Panas Reaktor.....	31
Gambar 4.9 Blok Diagram Neraca Panas dekanter (FL-01).....	32
Gambar 4.10 Blok Diagram Neraca Panas evaporator (FE-01).....	32
Gambar 4.11 Blok Diagram Neraca Panas netralizer (M-01).....	33
Gambar 4.12 Blok Diagram Neraca Panas dekanter (FL-02)	34
Gambar 4.13 Blok Diagram Neraca Panas Distilasi (T-01).....	35
Gambar 4.14 Blok Diagram Neraca Panas Heater (E-01)	35
Gambar 4.15 Blok Diagram Neraca Panas Heater (E-02)	36
Gambar 4.16 Blok Diagram Neraca Panas Heater (E-03)	36
Gambar 4.17 Blok Diagram Neraca Panas Cooler (E-04)	36
Gambar 4.18 Blok Diagram Neraca Panas Heater (E-05)	37
Gambar 4.19 Blok Diagram Neraca Panas Cooler (E-06)	38
Gambar 4.20 Blok Diagram Neraca Panas heater (E-07)	38
Gambar 4.21 Diagram Neraca Panas Cooler (E-08).....	39
Gambar 4.22 Blok Diagram Neraca Panas Cooler (E-09).....	39

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Industri kimia merupakan salah satu sektor manufaktur yang mengalami perkembangan cukup signifikan. Industri kimia merupakan sektor strategis untuk menunjang kemandirian ekonomi bangsa, karena hal tersebut di tahun 2020 Pemerintah Indonesia berupaya mendongkrak sektor industri ini terutama dibagian hulu agar bangsa Indonesia dapat menjadi bangsa mandiri dan bersaing di ekonomi global. Indonesia saat ini masih mengandalkan impor bahan baku maupun bahan setengah jadi dari luar negeri. Indonesia memiliki banyak potensi alam apabila dilakukan pengolahan yang optimal dimana akan menghasilkan produk bahan baku, bahan setengah jadi maupun bahan jadi sehingga dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri. Pembangunan industri diarahkan agar mencapai kondisi ekonomi yang lebih kuat. Oleh karena itu, pengembangan industri lebih diperhatikan untuk mendukung kemajuan industri sebagai penggerak laju ekonomi dan perluasan lapangan pekerjaan. Industri kimia merupakan 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 *2-methyl-2-propanoic acid, butyl ester, butyl 2-methyl-2-propene,* dan *2-methyl butyl acrylate* (PubChem, 2020). N-butil metakrilat merupakan ester dari suatu asam karboksilat. N-butil metakrilat merupakan kopolimer yang berbentuk emulsi polimer yang digunakan sebagai bahan baku *additive* pada berbagai industri. N-butil metakrilat digunakan sebagai bahan aditif 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 dapat diaplikasikan juga pada industri tekstil, tinta, dan perekat kayu

Semakin bertambahnya pembangunan infrastruktur di Indonesia baik secara mikro maupun makro pasti membutuhkan bahan pelapis untuk menambah perlindungan pada bahan yang dilapisi tersebut maupun segi estetika, maka sudah dipastikan kebutuhan akan industri n-butyl metakrilat (BMA) sebagai salah satu bahan pelapis atau cat akan semakin meningkat. Selain itu, di Indonesia juga belum terdapat pabrik yang memproduksi n-Butyl Metakrilat (BMA), sehingga mengharuskan pemerintah mengimpor dari luar negeri.

Berdasarkan data Badan Pusat Statistika, jumlah impor n-butyl metakrilat cenderung mengalami kenaikan. Hal tersebut dijelaskan pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Data Impor N-Butyl 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

Berdasarkan Tabel 1.1 dapat dilihat bahwa kebutuhan impor untuk n-butyl metakrilat di Indonesia mengalami peningkatan, kebutuhan n-butyl metakrilat sebanding dengan bertambahnya tahun dapat dibuat persamaan pendekatan dengan cara regresi linear dan didapatkan persamaan $y = 3 \times 10^6 x - 6 \times 10^9$. Berdasarkan persamaan garis tersebut, maka dapat diprediksi bahwa kebutuhan impor n-butyl metakrilat di Indonesia pada tahun 2026 diperkirakan sebesar ± 78.000 ton. Oleh karena itu, untuk mengurangi impor perlu dibangun pabrik n-butyl metakrilat dengan kapasitas rancangan sebesar 78.000 ton/tahun.

N-butyl metakrilat diproduksi dengan mereaksikan asam metakrilat dan butanol dengan menggunakan katalis asam sulfat (H_2SO_4), dimana kedua bahan baku dan katalis diperoleh dari Indonesia. Reaksi pembentukan n-butyl metakrilat adalah reaksi esterifikasi yang berlangsung pada tekanan atmosferik (1 atm), suhu operasi yang relatif rendah ($90^\circ C$). Proses ini dapat menghasilkan n-butyl metakrilat dengan kemurnian hingga 99,5%. Penggunaan katalis yang murah dan mudah didapat serta waktu reaksi yang lebih singkat membuat proses ini lebih ekonomis dan efisien.

Komposisi atau massa bahan baku dan katalis yang masuk proses dihitung di setiap alat yang digunakan untuk mengetahui perpindahan massa sistem berada pada kondisi setimbang atau tidak, selanjutnya perhitungan komposisi dan massa juga diharapkan mendapatkan konsentrasi/konversi produk n-butyl metakrilat yang diinginkan sesuai dengan kapasitas 78.000 ton/tahun. Selain itu, Proses esterifikasi pada pembuatan n-butyl metakrilat menghasilkan energi panas. Perpindahan panas yang terjadi di dalam sistem dapat berupa konduksi, konveksi dan radiasi. Perhitungan panas masuk dan keluar dibutuhkan untuk mengetahui apakah sistem berada pada kondisi setimbang atau tidak setimbang.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah maka dapat diuraikan identifikasi masalah sebagai berikut.

1. n-butyl metakrilat merupakan bahan baku kimia yang digunakan sebagai cat dan pelapis.
2. Perhitungan neraca massa diperlukan untuk mengetahui komposisi yang masuk dan keluar saat proses berlangsung.
3. Perhitungan neraca panas diperlukan untuk mengetahui energi yang masuk dan keluar saat proses berlangsung.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dari prarancangan pabrik ini adalah pabrik n-butyl metakrilat dari asam metakrilat dan butanol dengan menggunakan katalis asam sulfat. Objek prarancangan pabrik berupa semua alat proses pada pabrik n-butyl metakrilat yaitu berupa tangki penyimpanan bahan baku, tangki penyimpanan produk, reaktor tangki berpengaduk, dekanter, netralizer, *evaporator*, dan distilasi. Sedangkan alat pendukungnya adalah *cooler*, *heater*, pompa, kondensor, *reboiler* dan akumulator.

1.4. Rumusan Masalah

1. Bagaimana perhitungan neraca massa pada prarancangan pabrik n-butyl metakrilat dengan proses esterifikasi dan katalis asam sulfat kapasitas 78.000 ton/tahun?
2. Berapa konversi/konsentrasi produk n-butyl metakrilat yang dihasilkan dari perhitungan neraca massa pada prarancangan pabrik n-butyl metakrilat dengan proses esterifikasi dan katalis asam sulfat kapasitas 78.000 ton/tahun?
3. Bagaimana perhitungan neraca panas pada prarancangan pabrik n-butyl metakrilat dengan proses esterifikasi dan katalis asam sulfat kapasitas 78.000 ton/tahun?
4. Bagaimana menentukan kebutuhan pemanas dan pendingin pada alat penukar panas pada prarancangan pabrik n-butyl metakrilat dengan proses esterifikasi dan katalis asam sulfat kapasitas 78.000 ton/tahun?

1.5. Tujuan

1. Mengetahui jumlah selisih massa yang masuk dan keluar pada prarancangan pabrik n-butyl metakrilat dengan proses esterifikasi dan katalis asam sulfat kapasitas 78.000 ton/tahun?
2. Mengetahui konversi/konsentrasi produk n-butyl metakrilat yang dihasilkan dari perhitungan neraca massa pada prarancangan pabrik n-butyl metakrilat dengan proses esterifikasi dan katalis asam sulfat kapasitas 78.000 ton/tahun?

3. Mengetahui jumlah selisih panas yang masuk dan keluar pada prarancangan pabrik n-butil metakrilat dengan proses esterifikasi dan katalis asam sulfat kapasitas 78.000 ton/tahun?
4. Mengetahui kebutuhan pemanas dan pendingin pada alat penukar panas pada prarancangan pabrik n-butil metakrilat dengan proses esterifikasi dan katalis asam sulfat kapasitas 78.000 ton/tahun?

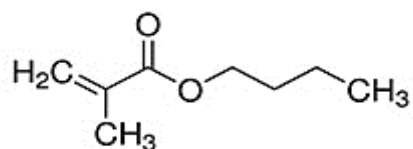
1.6. Manfaat

Hasil perhitungan neraca panas pada prarancangan pabrik n-butil metakrilat dengan proses esterifikasi dan katalis asam sulfat kapasitas 78.000 ton/tahun diharapkan dapat diterapkan dalam prarancangan pabrik n-butil metakrilat. Selain itu dapat membantu untuk dijadikan salah satu acuan dan karya ilmiah lainnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 N-Butil Metakrilat

N-butil metakrilat mempunyai nama IUPAC diantaranya *2-methyl-2-propanic acid, butyl ester, butyl 2-methyl-2-propene*, dan *2-methyl butyl acrylate* (PubChem, 2020). 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

Pendirian pabrik n-butil metakrilat ini diutamakan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Kegunaan n-butil metakrilat sendiri sangat beragam, namun secara umum n-butil metakrilat sering digunakan sebagai jenis kopolimer dimana berfungsi sebagai cat dan pelapis. Aplikasi dari n-butil metakrilat menurut jenisnya dijelaskan pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Aplikasi n-butil metakrilat dalam beberapa jenis

No	Jenis	Kegunaan
1	Kopolimer	arsitektur cat, tekstil, kertas & pelapis kulit, pelapis kayu, perekat, tinta, caulks, dan sealant
2	Homopolimer	perekat dan sebagai plasticizer polimer agar resin lebih keras

(Arpadis, 2020)

Perusahaan yang di Indonesia yang menggunakan n-butil metakrilat sebagai bahan baku ditunjukkan pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Daftar Perusahaan Tujuan Pasar Utama di Indonesia

No.	Nama Perusahaan	Lokasi
1	PT Asia Sukma	Tangerang
2	PT Chugoku Paint Indonesia	Tangerang
3	PT Isamu Raya Paint	Tangerang
4	PT Jotun Powder Coatings Indonesia	Tangerang
5	PT Nissanindo Muliaabadi	Tangerang
6	PT Chandra Nugerah Cemerlang	Bekasi
7	PT Hempel Coating Indonesia	Bekasi
8	PT Difan Prima Paint	Bekasi
9	PT Durachem Indonesia	Bekasi
10	PT Ici Paints Indonesia	Bekasi
11	PT Adha Jaya Chemical	Jakarta Barat,
12	PT Taikisha Manufacturing Indonesia	Karawang
13	PT Dana Paint Indonesia	Jakarta Timur
14	PT Pacific Pabrik Cat & Tinta	Jakarta Utara
15	PT Electrostatic Semesta Integra	Bogor
16	PT Multi Rejeki	Bandung
17	PT Oxyplast Indonesia	Pasuruan
18	PT Atlantic Ocean Paint	Gresik
19	PT Nipsea Paint And Chemicals Co. Ltd	Gresik
20	PT Avia Avian	Sidoarjo
21	PT Atlantic Ocean Paint	Surabaya
22	PT Triton Paint	Malang
23	PT Gyung Do Indonesia	Mojokerto
24	PT Hadisantoso Mukti	Kebumen

Sumber : (www.alamattelpn.com, 2019)

Selain berfungsi sebagai kopolimer, n-butyl metakrilat pula aplikatif sebagai jenis homopolimer. Homopolimer mempunyai kegunaan sebagai perekat dan *plasticizer* polimer agar membuat resin lebih keras. Perusahaan produsen resin di Indonesia ialah PT. Platinum Resins Indonesia, PT. Diachem Resin Indonesia, PT. Resin Plating Technology, dan PT. Allnex Resins Indonesia.

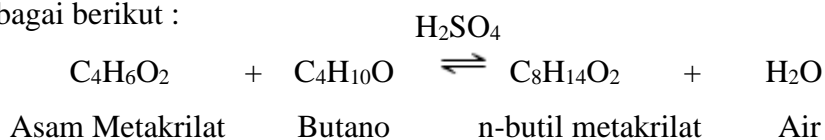
2.2 Macam-Macam Proses

2.2.1 Bahan Baku Asam Metakrilat dan Butanol

Senyawa n-butyl 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* (US0055650).

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).

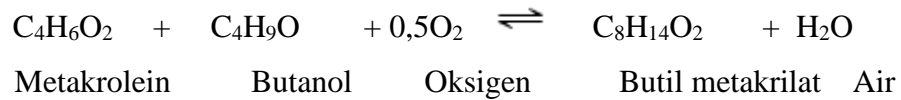
Setelah cairan keluar reaktor selanjutnya didinginkan menggunakan air pendingin dengan suhu antara 10°C sampai dengan 60 °C kemudian dicuci menggunakan air untuk ekstraksi. Suhu air pencuci lebih rendah atau sama dengan cairan keluar reaktor. Rasio berat antara air pencuci dengan cairan keluar reaktor 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-butyl metakrilat diperoleh dengan mereaksikan metakrolein, butanol dan oksigen. Katalis yang digunakan yaitu Paladium(Pd). N-Butyl metakrilat disintesis menggunakan reaktor alir tangki

Pd

berpengaduk (Yamaguchi et al, 2000). 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.

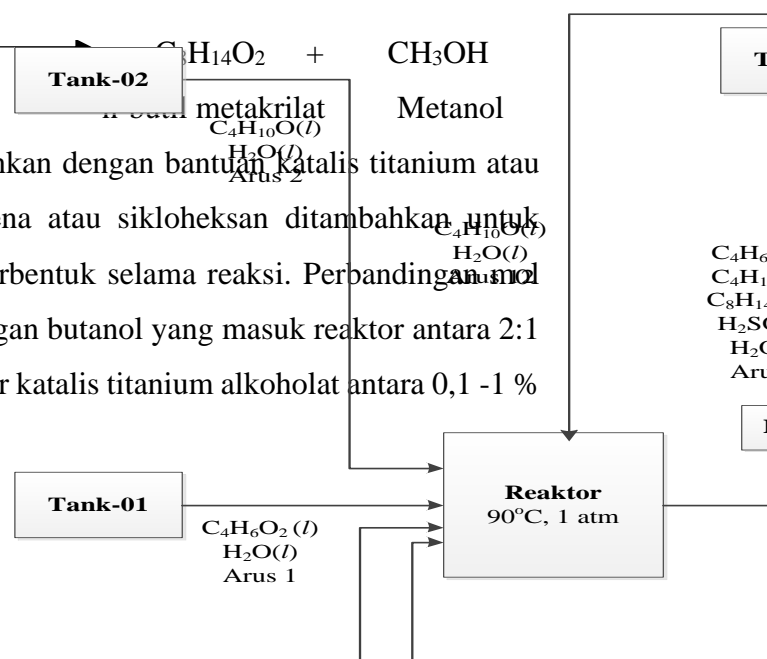
Permasalahan di atas dapat diselesaikan dengan meningkatkan produktivitas dengan menambahkan adsorben ke dalam reaktor untuk menyerap air. Dengan metode ini selektivitas menjadi lebih baik. Metode lain yang dapat dipakai adalah dengan menambahkan membran di dalam reaktor yang mampu dilewati air tetapi tidak dapat ditembus oleh asam, alkohol, maupun ester yang terbentuk (Yamaguchi et al, 2000). 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-butil 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 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 ke reaktor untuk menghilangkan warna yang terbentuk. Kadar karbon antara 0,1-0,2% berat. Gas yang mengandung oksigen misalnya udara, dialirkan ke dalam reaktor untuk membawa metanol dan benzena atau sikloheksan sebagai hasil atas. Suhu reaksi antara sebaiknya antara 110 °C-130°C(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 fisis dan kimia dari tiap komponen dijelaskan pada tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 Perbandingan Sifat fisis dan kimia dari tiap komponen

Komponen	Bahan Baku		Bahan pendukung		Produk
	Asam Metakrilat	N-Butanol	Asam sulfat	Natrium Hidroksida	n-butil 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
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

Komponen	Bahan Baku		Bahan pendukung		Produk
	Asam Metakrilat	N-Butanol	Asam sulfat	Natrium Hidroksida	n-butyl metakrilat
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
Kelarutan ^(b)	100 mg/ml at 17,2222 °C, 1 kg/kg(larut sempurna)	68 g/l at 25 °C, 0,0071 kg/kg	1 kg/kg larut dalam air at 20 °C	larut dalam air 109 g/100ml at 20 °C	kurang larut dalam air 0,08 g/100ml at 25 °C
Tegangan permukaan (N/m) ^(b)	0,0265	0,02493 at 25 °C	51,7 mN/m at 50 °C	0,07435 N/m at 18 °C	-
Sifat ^(b)	mudah terbakar, korosif, explosive	mudah terbakar, korosif	korosif, beracun	Korosif	mudah terbakar, korosif
Gejala ^(b)	Menyebabkan iritasi pada mata, kulit, dan selaput lendir	Anestesi, mual, sakit kepala, pusing, iritasi	korosif terhadap semua jaringan tubuh	Menyebabkan luka bakar parah pada mata, kulit, dan selaput lendir	Mual dan iritasi
Wujud ^(b)	cairan tidak berwarna atau kristal tidak berwarna	Cair tidak berwarna	cairan berminyak, tidak berwarna	warna putih pada padatan	Cair, tidak berwarna

Komponen	Bahan Baku		Bahan pendukung		Produk
	Asam Metakrilat	N-Butanol	Asam sulfat	Natrium Hidroksida	
Bentuk ^(b)	prisma panjang	-	-	kristal ortogonal	-
Bau ^(b)	Menyengat	Tengik	tidak berbau	tidak berbau	Bau khas ester yang samar
Rasa ^(b)	-	seperti pisang	asam	-	-

Sumber: (Bauer, 2012^(a), Pub Chem, 2020^(b), Yaws, 1999^(c))

2.4 Tinjauan Proses Secara Umum

Secara keseluruhan proses pembuatan n-butil metakrilat dengan proses esterifikasi dapat dilaksanakan melalui 3 tahap.

2.4.1 Tahap persiapan bahan baku

Butanol umpan segar dari tangki penyimpanan (TT-02) dengan suhu tangki 30⁰C pada 1 atm dialirkan menggunakan pompa menuju reaktor (R-01) lalu dicampur dengan butanol *recycle* dari menara distilasi (T-01) yang telah didinginkan menggunakan *cooler* sampai sesuai dengan kondisi operasi reaktor (90⁰C, 1 atm). Asam metakrilat dari tangki menyimpan (TT-01) dengan suhu tangki 30⁰C pada 1 atm dialirkan menggunakan pompa menuju reaktor (R-01). Asam sulfat dari tangki penyimpan (TT-03) dengan suhu tangki 30⁰C pada 1 atm dialirkan menggunakan pompa menuju reaktor (R-01). Ketiga aliran tersebut sebelum dimasukkan kedalam Reaktor (R-01) dilakukan pemanas terlebih dahulu dengan *heater* agar mencapai suhu operasi yaitu 90⁰ C dan tekanan dijaga 1 atm.

2.4.2 Tahap reaksi

Butanol dan asam metakrilat di dalam reaktor alir tangki berpengaduk pada suhu 90⁰C dengan tekanan 1 atm, suhu reaktor harus tetap dijaga pada 90⁰C dengan menggunakan jaket agar reaksi tetap berlangsung secara eksotermis. Perbandingan mol butanol :

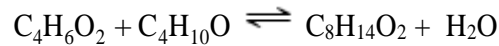
asam metakrilat = 1,2 : 1. Reaktan (asam metakrilat dan butanol dibuat berlebih(*excess*) supaya produk tidak kembali ke reaktan karena merupakan reaksi reversibel (US005386052A). Konversi total yang didapatkan 93,2% (EP0552541A).

2.4.3 Tahap pemurnian hasil

Produk keluar reaktor (R-01) dialirkan ke dekanter (FL-01) untuk dipisahkan fase ester dengan fase airnya. Fase air diumpankan ke dalam *evaporator* (FE-01) dimana fase air dipanaskan menggunakan *heater* terlebih dahulu agar mencapai suhu 102,2⁰C dan tekanan 1 atm. *Evaporator* (FE-01) memekatkan larutan asam dengan menguapkan air, air tersebut dikondensasikan lalu di-*recovery* pada tangki penampung (TT-06) agar dapat digunakan pada sistem utilitas. Larutan pekat asam di *recycle* ke reaktor (R-01) dimana larutan pekat asam didinginkan menggunakan *cooler* terlebih dahulu agar mencapai kondisi operasi (90⁰C, 1 atm). Fase ester dibawa ke netralizer (M-01). Larutan ester akan masuk ke netralizer (M-01) dinetralkan asamnya dengan menambah larutan NaOH dari tangki (TT-04) dengan suhu 30⁰C pada tekanan 1 atm secara stoikiometris dan dipisahkan dalam dekanter (FL-02). Fase air di *recovery* lebih lanjut lalu disimpan pada tangki (TT-05) dan fase ester diumpankan ke dalam menara distilasi (T-01) untuk dimurnikan esternya dimana sebelumnya fase ester dipanaskan menggunakan *heater* terlebih dahulu sampai suhunya mampu membuat butanol menjadi hasil atas menara distilasi (T-01). Butanol keluar sebagai hasil atas menara distilasi (T-01) di *recycle* ke reaktor (R-01) dimana Butanol didinginkan terlebih dahulu menggunakan *cooler* agar mencapai kondisi operasi reaktor (90⁰C, 1 atm) dan n-butyl metakrilat keluar sebagai hasil bawah menara distilasi (T-01) dimana n-butyl metakrilat didinginkan terlebih dahulu menggunakan *cooler* agar mencapai suhu 30⁰C untuk kemudian disimpan dalam tangki penyimpanan (TT-07) pada tekanan 1 atm.

2.5 Tinjauan Termodinamika

Reaksi :

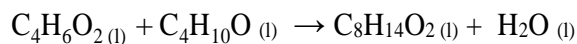


Data entalpi pembentukan setiap komponen disajikan pada Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 Panas Pembentukan Komponen

Komponen	ΔH_f (kJ/mol)	ΔG_f (kJ/mol)
$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$	-361,8	-281,82
$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	-274,6	-150,2
$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2$	-422	-231
H_2O	-241,8	-228,64

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



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

$$\Delta H_{\text{rxn}}(298K) = \Delta H^{\circ}f \text{ produk} - \Delta H^{\circ}f \text{ reaktan}$$

$$\begin{aligned} \Delta H^{\circ}f \text{ produk} &= [(\Delta H^{\circ}f \text{ C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2) + (\text{H}_2\text{O})] \\ &= (-422 + -241,8) \\ &= -663,8 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H^{\circ}f \text{ reaktan} &= [\Delta H^{\circ}f \text{ C}_4\text{H}_6\text{O}_2 + \Delta H^{\circ}f \text{ C}_4\text{H}_{10}\text{O}] \\ &= (-361,8 + -274,6) \\ &= -636,4 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

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

Dari perhitungan, diperoleh nilai ΔH_f° negatif untuk reaksi tersebut, dengan demikian reaksi berjalan secara eksotermis, sedangkan ΔH_G° 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 2.1.

$$\frac{d \ln K_o}{dT} = -\frac{\Delta G}{RT^2} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.1)}$$

(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:

$$\ln \frac{K}{K_o} = -\frac{\Delta H}{R} \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right) \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.2)}$$

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:

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

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

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

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

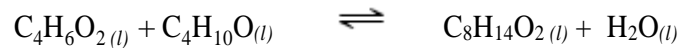
$$\frac{K}{1,011205} = 0,998023$$

$$K = 0,986965$$

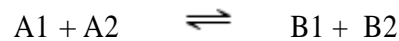
Jika dilihat dari harga K, reaksi pembentukan n-butyl metakrilat bersifat *reversible*. Karena harga $K < 1$ (Smith *et al.*, 2001).

2.6 Tinjauan Kinetika

Reaksi esterifikasi Butil metakrilat



k1



k2

$$\frac{dx}{dt} = k_1(A_{01} - x)(A_{02} - x) - k_2(B_{01} + x)(B_{02} + x) \quad (\text{Persamaan 2.3})$$

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.

$$k = Ae^{\left(\frac{-E_a}{RT}\right)} \dots\dots\dots (\text{Persamaan 2.4})$$

Dimana :

k = konstanta laju reaksi (jam)

A = laju tumbukan (1/jam)

E_a = 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

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

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

Menghitung harga k1 pada t1 = 0,5 jam

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

$$k = \frac{1,9225 \times 0,5}{1,9225 \times 0,5}$$

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

Menghitung harga k_2 pada $t_2 = 10$ jam

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

$$k = \frac{1,9225 \times 10}{1,9225 \times 10}$$

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

Sehingga, diasumsikan bahwa :

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

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

Menghitung konstanta kecepatan reaksi pada suhu 90°C ,

mengikuti persamaan Arrhenius:

$$k = A \cdot e^{(-E/RT)}$$

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

$$\text{Sehingga: } \ln k_1 = \ln A + B/T_1 \quad \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.5)}$$

$$\ln k_2 = \ln A + B/T_2 \quad \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.6)}$$

$$\ln k_1 - \ln k_2 = (B/T_1) - (B/T_2) \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.7)}$$

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

$$B = 8523,3976$$

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

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

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

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

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

Maka konstanta kecepatan reaksinya:

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

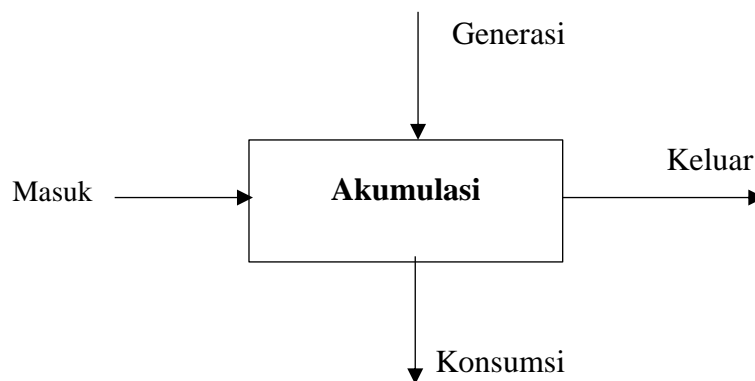
pada suhu 90°C , maka:

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

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

2.7 Neraca Massa

Neraca massa adalah suatu perhitungan yang tepat dari total bahan-bahan yang masuk, yang terakumulasi dan yang keluar dalam waktu tertentu. Pernyataan tersebut sesuai dengan hukum kekekalan massa yakni massa tak dapat dijelmakan atau dimusnahkan. Model neraca massa secara umum dijelaskan pada Gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2 Diagram Alir Neraca Massa

Menurut Himmelblau, David M. 1992 dikutip Yuliana H.R tahap-tahap menyelesaikan permasalahan atau kasus neraca massa adalah sebagai berikut.

- a. Pilih atau tentukan basis perhitungan
- b. Gambarkan diagram proses dan berikan simbol
- c. Jika tidak terjadi reaksi kimia, penyelesaian soal bukan didasarkan atas unsur yang ada tetapi atas dasar seenyawa
- d. Jika tidak melibatkan reaksi kimia, memakai satuan massa atau volume dan jika ada reaksi kimia memakai satuan mole dan dikonversi ke massa atau volume
- e. Jika terjadi reaksi kimia dihitung atas dasar unsur, atom atau molekul dan kelebihan reaktan akan keluar Bersama produk
- f. Komposisi membantu menyelesaikan perhitungan
- g. Jumlah persamaan neraca massa yang dibuat adalah jumlah besaran tidak diketahui tidak boleh melebihi jumlah persamaan neraca massa

Menurut Hougen & Watson, 1947 dikutip dari Yuliana H.R

Hukum neraca massa:

Masuk - keluar - konsumsi + generasi = akumulasi

Bila tidak ada massa yang terakumulasi, konsumsi dan generasi maka persamaan menjadi:

Massa masuk = massa keluar

Menurut Ni'mah (2017) dikutip dari Afiati, 2019 secara umum, neraca massa dapat dibedakan menjadi 2 macam yaitu:

a. Neraca massa *overall*

Neraca massa *overall* merupakan neraca massa dimana semua komponen bahan masuk dan keluar dihitung dari proses awal sampai akhir dan merupakan suatu kesatuan.

b. Neraca massa komponen

Neraca massa komponen merupakan neraca massa yang perhitungannya berdasarkan atas satu komponen bahan yang masuk saja. Komponen bahan masuk = komponen bahan keluar.

Parameter-parameter yang digunakan pada neraca massa tidak semuanya diketahui nilainya, terutama parameter yang menjadi output. Oleh sebab itu harus dilakukan perhitungan untuk menentukan parameter-parameter neraca massa. Dalam melakukan perhitungan neraca massa, diambil beberapa asumsi antara lain:

a. Kondisi aliran massa *steady state*

b. Kondisi 1 jam operasi

2.8 Neraca Energi

Neraca energi adalah persamaan matematis yang menyatakan hubungan antara energi masuk dan energi keluar suatu sistem yang berdasarkan pada satuan waktu operasi (Wuryanti, 2016 dikutip dari Afiati, 2019). Hukum 1 Termodinamika menyebutkan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, tetapi energi dapat berubah dari satu bentuk ke bentuk yang lain. Perhitungan yang salah dalam menyusun neraca energi dalam industri dapat menyebabkan kekurangan atau kelebihan jumlah energi pada suatu industri sehingga akan berakibat proses tidak akan berjalan maksimal

serta berbahaya, boros secara keuangan, dan dapat menyebabkan kerugian secara ekonomi. Perhitungan tersebut dirancang dalam konsep yang disebut dengan neraca energi.

[Energi masuk ke sistem]+[Energi yang timbul dalam sistem]= [Akumulasi energi dalam sistem]+ [Energi keluar dari sistem]+ [Energi yang dipakai dalam sistem]

$$E_1 + Q = \Delta E + E_2 + W$$

Neraca energi dapat digunakan untuk flow process pada setiap tekanan dan non-flow process yang berada dalam tekanan konstan (Smith, 2001).

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan perhitungan neraca massa alat secara keseluruhan, tidak ada selisih massa yang masuk dan massa yang keluar, maka neraca massa sistem berada pada kesetimbangan.
2. Konversi/konsentrasi produk n-butyl metakrilat yang dihasilkan sebesar 99,5%.
3. Berdasarkan perhitungan neraca panas dari alat proses, tidak ada selisih panas yang masuk dan panas yang keluar, maka neraca panas berada pada sistem setimbang. Artinya, tidak ada panas yang terbuang.
4. Kebutuhan steam untuk evaporator sebesar 3.182.494,467 kg/jam, distilasi sebesar 2.578.983,750 kg/jam, Heater (E-01) sebesar 761.373,027 kg/jam, Heater (E-02) 690.163,993 kg/jam, Heater (E-03) sebesar 881,050 kg/jam, Heater (E-05) 477.786,587 kg/jam, dan Heater (E-07) sebesar 2.822.821,100 kg/jam. Sedangkan kebutuhan air pendingin untuk reaktor sebesar 1.663.320,967 kg/jam, kondensor evaporator sebesar 3.196.098,190 kg/jam, netralizer sebesar 20.647,366 kg/jam, kondensor distilasi sebesar 2.248.523,136 kg/jam, cooler (E-04) sebesar 1.836.047,812 kg/jam, cooler (E-06) sebesar 13.535,247 kg/jam, cooler (E-08) sebesar 95.849,408 kg/jam, dan cooler (E-09) sebesar 2.857.933,411 kg/jam.

5.2 Saran

1. Perhitungan dan permodelan neraca panas dapat dikorelasikan menggunakan *software* Hysys sebagai pembanding untuk menarik kesimpulan.
2. Pastikan semua satuan dibuat seragam dalam perhitungan.
3. Lakukan perhitungan dengan teliti dan sistematis.

DAFTAR PUSTAKA

- Aichinger, H. *Et Al.* (1999) 'United States Patent Continuous Preparation Of Alkyl Esters Of (Meth)Acrylic Acid (19)', (19).
- Akhir, Afiati E, 2019. 'Perhitungan Neraca Massa Dan Neraca Panas Pada Pra-Rancangan Pabrik Glusitol Dengan Bahan Baku D-Glukosa Kapasitas 90.000 Ton/Tahun'. Semarang: Teknik Kimia Unnes
- Alibaba. <https://www.alibaba.com/>. Diakses 25 November 2019
- Arpadis. 2020. *Profil dan Kegunaan N-butyl metakrilat*. Diakses dari: www.arpadis.com. 27 Januari 2020 (08.04)
- Bauer, W. 2012. Margarine and Shortenings IAN. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, (group 12), 413–454.
- Hidaka et al . 2002. 'PRODUCTION OF METHACRYLATES', United States (12) Patent Application Publication, NO.US0055650 1(19).
- Kirk, K.E. and Orthmer, D.F., 1981. *Encyclopedia of Chemical Technology*,. 3 edition, Volume 9, The Interscience Enclypodia, John Wiley and Sons, New York.
- Nippon Shokubai Co. 2020. *Annual Production Capacity*. Diakses dari www.shokubai.co.jp pada 28 September 2020
- Perry. 1990. *Chemical Engineering's Handbook, Eight Edition*. New York : McGraw-Hill
- Perry. (2008) '*PERRY'S CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK EIGHTH EDITION*'
- PT Indonesia Acid. 2020. Kapasitas Asam Sulfat (H₂SO₄). Diakses dari: www.indoacid.com. 11 Februari 2020 (20.41)
- Pub Chem. 2020. Diakses dari: pubchem.ncbi.nlm.nih.gov. 19 Maret 2020 (04.07)
- PubChem (2020) 'Butyl methacrylate (Compound)'. Available at: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Butyl-methacrylate>.
- 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*).
- Yuliana, H.R. 2019. 'Neraca Massa Dan Neraca Panas'. Deepublish: Politeknik Negeri Ujung Pandang.