

**PRARANCANGAN PABRIK N-BUTIL METAKRILAT DARI ASAM  
METAKRILAT DAN N-BUTANOL DENGAN KAPASITAS 25.000**

**TON/TAHUN**

**Tugas Khusus**

**Perancangan Menara Distilasi (MD-501)**

**(Tugas Akhir)**

**Oleh:**

**RISTIANY JANUARTY**

**1815041063**



**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**BANDAR LAMPUNG**

**2023**

## ABSTRAK

### PRARANCANGAN PABRIK N-BUTIL METAKRILAT ( $C_8H_{14}O_2$ ) DARI ASAM METAKRILAT ( $C_4H_6O_2$ ) DAN N-BUTANOL ( $C_4H_{10}O$ ) DENGAN KAPASITAS 25.000 TON/TAHUN Perancangan Menara Distilasi (MD-501)

Oleh RISTIANY JANUARTY

N-Butil Metakrilat merupakan salah satu produk industri kimia yang digunakan sebagai pengikat dalam industri kayu lapis, sebagai perekat dalam pengerjaan furnitur, industri cat tembok sebagai pengikat dan pengental dan juga bisa digunakan sebagai pewarna pada berbagai bidang seperti cat, otomotif, dan tekstil. N-Butil Metakrilat dapat diproduksi dengan beberapa proses dari bahan baku yang berbeda yaitu Proses Esterifikasi, Transesterifikasi dan sintesis. Dalam prarancangan pabrik N-Butil Metakrilat ini dipilih proses Esterifikasi karena lebih menguntungkan dari segi ekonomi, konversi produk dan bahan baku serta energi dibandingkan proses lainnya.

Kapasitas produksi pabrik direncanakan 25.000 ton/tahun dengan 330 hari kerja dalam 1 tahun. Lokasi pabrik direncanakan didirikan di Kawasan Industri Panca Puri, Ciwandan, Cilegon. Tenaga kerja yang dibutuhkan pabrik ini sebanyak 160 orang dengan bantuan bahan usaha Perseroan Terbatas (PT) yang dipimpin oleh seorang Direktur Utama yang dibantu oleh Direktur Produksi dan Direktur Pemasaran dan Keuangan dengan struktur organisasi *line and staff*. Dari analisis ekonomi diperoleh:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp 494.578.652.951,72
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp 87.278.585.815,01
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp 581.857.238.766,73
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 37,92 %
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 18,61 %
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT)	= 2,162 tahun
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI)	= 30,81 %
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF)	= 38,52 %

Mempertimbangkan rangkuman di atas, sudah selayaknya pendirian pabrik N-Butil Metakrilat ini dikaji lebih lanjut, karena pabrik ini merupakan pabrik yang menguntungkan dan mempunyai prospek yang baik.

Kata kunci: N-Butil Metakrilat, Asam Metakrilat, n-Butanol, Ekonomi

## ABSTRACT

### MANUFACTURING OF *N-BUTYL METHACRYLATE* (C<sub>8</sub>H<sub>14</sub>O<sub>2</sub>) FROM *ACRYLIC ACID* (C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>) AND *N-BUTANOL* (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O) WITH CAPACITY 25.000 TONS/YEAR Design of Distillation Column (MD-501)

By RISTIANY JANUARTY

N-Butyl Methacrylate is an industrial chemical product that is used as a binder in the plywood industry, as an adhesive in furniture work, in the wall paint industry as a binder and thickener and can also be used as a colorant in various fields such as paint, automotive and textiles. N-Butyl Methacrylate can be produced using several processes from different raw materials, namely the Esterification, Transesterification and Synthesis processes. In the pre-design of the N-Butyl Methacrylate factory, the Esterification process was chosen because it is more profitable in terms of economics, conversion of products and raw materials and energy compared to other processes.

The factory's production capacity is planned to be 25,000 tons/year with 330 working days in 1 year. The factory location is planned to be established in the Panca Puri Industrial Area, Ciwandan, Cilegon. The workforce required by this factory is 160 people with the assistance of a Limited Liability Company (PT) business material led by a Main Director who is assisted by the Production Director and Marketing and Finance Director with a line and staff organizational structure. From the economic analysis, it is obtained that :

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp 494.578.652.951,72
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp 87.278.585.815,01
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp 581.857.238.766,73
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 37,92 %
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 18,61 %
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT)	= 2,162 tahun
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI)	= 30,81 %
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF)	= 38,52 %

Considering the summary above, it is appropriate that the establishment of this Methyl Acetate plant is further reviewed, because it is a profitable factory and has good prospects.

Key words : N-Butyl Methacrylate, Methacrylic Acids, n-Buthanol, Economic

**PRARANCANGAN PABRIK N-BUTIL METAKRILAT DARI ASAM  
METAKRILAT DAN N-BUTANOL DENGAN KAPASITAS 25.000**

**TON/TAHUN**

**Tugas Khusus**

**Perancangan Menara Distilasi (MD-501)**

**Oleh:**

**RISTIANY JANUARTY**

**1815041063**

**Tugas Akhir**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar**

**SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Kimia**

**Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**BANDAR LAMPUNG**

**2023**

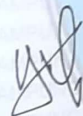
Judul Skripsi : **PRARANCANGAN PABRIK N-BUTIL  
METAKRILAT DARI ASAM METAKRILAT  
DAN N-BUTANOL DENGAN KAPASITAS  
25.000 TON/TAHUN  
(Perancangan Menara Distilasi (MD-501))**

Nama Mahasiswa : *Ristiany January*

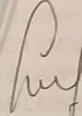
Nomor Pokok Mahasiswa : 1815041063

Program Studi : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik



**Yuli Darni, S.T., M.T.**  
NIP. 197407122000032001



**Lia Lismeri, S.T., M.T.**  
NIP. 1985103122008122004

2. Ketua Jurusan Teknik Kimia

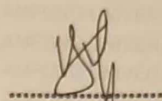


**Yuli Darni, S.T., M.T.**  
NIP. 197407122000032001

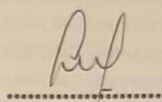
**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

Ketua : **Yuli Darni, S.T., M.T.**

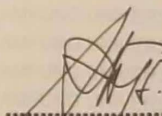


Sekretaris : **Lia Lismeri, S.T., M.T.**

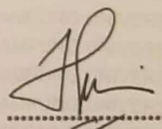


Penguji

Bukan Pembimbing I : **Ir. Azhar, M.T.**



Bukan Pembimbing II : **Muhammad Haviz, S.T., M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. )**  
NIP. 197509282001121001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **15 November 2023**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atas pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana diterbitkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pada skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, November 2023



Ristiany Januarty

NPM. 1815041063

## RIWAYAT HIDUP



Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Darma Sunjaya dan Ibu Rismawati, dilahirkan di Bogor, pada tanggal 11 Januari 2000.

Penulis menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-Kanak di RA-AR Rahma Laladon Bogor pada tahun 2007, Sekolah Dasar di SD Negeri Laladon 02 pada tahun 2012, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Dramaga pada 2015, dan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Dramaga pada tahun 2018.

Penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) pada tahun 2018.

Pada tahun 2021 penulis melakukan Kerja Praktik di PT Kalirejo Lestari Lampung Tengah, Lampung dengan tugas khusus “Evaluasi Alat *Decanter* di Stasiun Klarifikasi pada Produksi CPO (*Crude Palm Oil*)”. Kemudian pada tahun 2022 penulis melakukan penelitian dengan judul “Ekstraksi Zat Pewarna Alami dari Batang Kayu Sungkai (*Peronema canescens Jack*) Menggunakan Metode *Ultrasonic Assisted Extraction* (Studi Jenis Solvent dan Waktu Ekstraksi)”.

Selama kuliah penulis aktif dalam organisasi Intra Kampus yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia Universitas Lampung (Himatemia).



## MOTTO

“Libatkanlah Allah dalam segala urusanmu, maka Allah akan menetapkan kebenaran bagimu”  
(HR. at-Tirmidzi)

“Siapapun yang tidak pernah melakukan kesalahan berarti tidak pernah mencoba sesuatu yang baru”  
(Albert Einstein)

“Sembunyikan Prosesmu, dan tunjukkan Hasilmu”  
(Guntur Badjideh)

*“Everything will be OK in the end. But, if it's not OK, Then it's not the end”*  
(Ristiany Januarty)

*“Don't complain about the process, everything has their own obstacle”*  
(Ristiany Januarty)

# *SEBUAH KARYA*

*Dengan mengucap syukur kepada Allah SWT,  
Kupersembahkan karya kecilku ini kepada:*

*Kedua orang tuaku, Ayah dan Mama tercinta,  
Terima kasih yang tak terhingga untuk segala bentuk kasih dan sayang yang  
hingga detik ini masih senantiasa tercurah untuk anak tengahimu ini.*

*Keluarga besarku,  
Terima kasih banyak untuk do'a dan dukungan baiknya selama ini.*

*Sahabat-sahabatku tersayang,  
Terima kasih selalu ada dan menemani dengan setulus hati.*

*Para pengajar sebagai tanda hormatku,  
Terima kasih atas ilmu yang telah diberikan selama ini*

*Serta kupersembahkan kepada Almamaterku tercinta,  
semoga dapat berguna dikemudian hari.*

## SANWACANA

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga tugas akhir dengan judul “Prarancangan Pabrik N-Butil Metakrilat dari Asam Metakrilat dan n-Butanol dengan Kapasitas 25.000 Ton/Tahun” ini dapat diselesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar sarjana (S-1) di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari beberapa pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung dan selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan banyak ilmu, pengarahan, bimbingan, kritik dan saran selama penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu bermanfaat yang diberikan tersebut dapat berguna dikemudian hari.
2. Ibu Lia Lismeri, S.T., M.T. selaku Dosen Penanggung Jawab Mata Kuliah Tugas Akhir dan selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan dan motivasi dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
3. Bapak Ir. Azhar, M.T. selaku Dosen Peguji I yang telah memberikan saran, kritikan dan juga mengasah logika untuk mengarahkan ke jalan yang benar dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
4. Bapak Muhammad Haviz, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan banyak saran dan kritikan dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.

5. Ibu Simparmin Br. Ginting, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan dan motivasi selama masa kuliah.
6. Seluruh Dosen dan Civitas Akademika Teknik Kimia Universitas Lampung, atas semua ilmu yang telah diberikan selama masa studi. Semoga dapat menjadi bekal dan acuan untuk terus berkembang di masa depan
7. Ayah dan mamah, atas segala cinta, kasih, sayang, do'a, dukungan, kepercayaan, ketulusan dan semangat yang tak henti-hentinya diberikan kepada penulis sampai detik ini.
8. Teh Rida & Kekey yang sudah bersedia menjadi tempat berkeluh kesah dan selalu memberikan dukungan dan tampanan sehingga penulis dapat menyelesaikan studi hingga akhir.
9. Keluarga besar tercinta, atas do'a dan segala bentuk dukungan baik materi maupun moril yang telah diberikan selama ini.
10. Ashilla Utari, S.T. selaku Partner TA penulis selama 11 bulan terakhir ini menempuh suka duka tugas akhir bersama. Sudah melalui drama tugas akhir yang lebih drama dari drama Korea, *isn't it though?* Mengisi kekurangan satu sama lain dalam pengerjaan tugas akhir ini MasyaAllah Tabarakallah! *Soon* kita harus ketemu di puncak kesuksesan masing-masing yah!!!
11. Grup Makan Sehat Bersama Ashilla, Valerie dan Salma yang sudah membuat banyak *moment* bersama penulis selama kuliah di Teknik Kimia Unila. Terlalu banyak suka duka yang sudah dilewati bersama, dan semoga hal-hal baik senantiasa mengiringi langkah kita kedepannya.
12. Paguyuban Perpus Uli, Jimmy, Mian, Elizan, Deli yang telah berjuang bersama dalam pengerjaan tugas akhir hingga mendapat gelar S.T.
13. Grup Wacana Mba Laras, Pileh, Gita, Bule, Eja, Bintang, Depi yang sudah memberikan semangat kepada penulis selama penulis berada di perantauan.
14. Novita, Ayu, Agoy, Jihan, Fadzil, Dandi, Alul, Ikhsan yang telah memberikan dukungan kepada penulis, sehingga penulis tidak mudah menyerah dan bertahan untuk tinggal di Lampung selama menyelesaikan kuliah.
15. Teman-teman angkatan 2018 Teknik Kimia yang pada kesempatan ini ingin penulis sebutkan satu persatu secara singkat. Mulai dari Eka, Nitha, Rachel, Yoyo, Agita, Della, Azizah, Rahma, Cantika, Titin, Ulin, Ghea, Pito, Rimed,

Erisha, Amirul, Teteh, Raka, Ipeh, Ijan, Elistia, Mian, Kiwul, Ardel, Bela, Zia, Valerie, Mail, Cece, Faza, Azzam, Devi, Jihan, Pakle, Okta, Yuni, Kiyao, Uli, Enda, Jajang, Verna, Irsa, Risti, Kristin, Deli, Salma, Alya, Thalya, Andi, Ike, Shilla. Terimakasih banyak untuk 5,5 tahun ini sudah turut menemani perjalanan, membantu dalam banyak hal dan juga memeriahkan alur cerita penulis di Teknik Kimia. *See u on Top!*

16. Semua pihak lainnya yang telah membantu dan mendo'akan kebaikan untuk penulis yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
17. Terakhir: Kepada penulis, Terimakasih sudah melewati semua tahapan yang ada, terimakasih sudah menjadi kuat baik fisik maupun mental, tetap berproses dan semoga cepat dirayakan dan dikayakan.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan kalian dengan yang lebih baik dan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Aamiin.

Bandar Lampung, November 2023  
Penulis,

Ristiany Januaryty

## DAFTAR ISI

<b>DAFTAR ISI</b> .....	i
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Penentuan Kapasitas.....	3
1.3 Tempat dan Lokasi Pabrik .....	5
<b>BAB II DESKRIPSI PROSES</b> .....	9
2.1 Jenis – jenis Proses .....	9
2.2 Pemilihan Proses .....	12
2.3 Pemilihan proses meninjau dari panas reaksi ( $\Delta H$ ).....	21
2.4 Pemilihan proses meninjau dari energi Gibbs ( $\Delta G^\circ$ ).....	23
2.5 Uraian Proses.....	26
<b>BAB III SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK</b> .....	28
3.1. Spesifikasi Bahan Baku.....	28
3.2. Spesifikasi Bahan Baku Penunjang.....	32
3.3. Spesifikasi Produk.....	35
<b>BAB IV NERACA MASSA DAN ENERGI</b> .....	39
4.1 NERACA MASSA.....	40
4.1.1 <i>Mixing Tank</i> (MT-101) .....	40
4.1.2 Reaktor (RE-201).....	40
4.1.3 <i>Neutralizer</i> (NE-301).....	41
4.1.4 Dekanter (DE-401).....	41
4.1.5 Menara Distilasi (MD-501).....	42
4.2 NERACA ENERGI.....	42
4.2.1 <i>Mixing Tank</i> (MT-101).....	43
4.2.2 <i>Heater</i> (HE-101) .....	43
4.2.3 Reaktor (RE-201).....	43
4.2.4 <i>Neutralizer</i> (NE-301).....	44
4.2.5 <i>Cooler</i> (CO-201).....	44
4.2.6 Decanter (DE-401).....	44

4.2.7	<i>Heater</i> (HE-401) .....	44
4.2.8	Menara Distilasi (MD-501).....	45
4.2.9	Cooler (CO-501) .....	45
<b>BAB V SPESIFIKASI ALAT</b> .....		46
5.1	Peralatan Proses.....	46
5.1.1.	Storage Tank Asam Metakrilat ( $C_4H_6O_2$ ) (ST-101).....	46
5.1.2.	Pompa Proses (PP-101).....	47
5.1.3.	Storage Tank n-Butanol ( $C_4H_{10}O$ ) (ST-102).....	47
5.1.4.	Pompa Proses (PP-102).....	48
5.1.5.	Storage Tank Asam Sulfat ( $H_2SO_4$ ) (ST-103) .....	48
5.1.6.	Pompa Proses (PP-103).....	49
5.1.7.	Mixing Tank (MT-101).....	50
5.1.8.	Heater (HE-101).....	50
5.1.9.	Reaktor (RE-201).....	51
5.1.10.	Pompa Proses (PP-201).....	52
5.1.11.	Storage Tank Sodium Hidroksida (NaOH) (ST-104) .....	52
5.1.12.	Pompa Proses (PP-104).....	53
5.1.13.	Netralizer (NE-301) .....	54
5.1.14.	Pompa Proses (PP-301).....	54
5.1.15.	Cooler (CO-301) .....	55
5.1.16.	Dekanter (DE-401).....	55
5.1.17.	Pompa Proses (PP-401).....	56
5.1.18.	Heater (HE-401).....	57
5.1.19.	Pompa Proses (PP-402).....	57
5.1.20.	Menara Distilasi (MD-501).....	58
5.1.21.	Condensor (CD-503).....	58
5.1.22.	Reboiler (RB-501).....	59
5.1.23.	Accumulator (ACC-502).....	60
5.1.24.	Pompa Proses (PP-501).....	60
5.1.25.	Pompa Proses (PP-502).....	61
5.1.26.	Cooler (CO-501) .....	62
5.1.27.	<i>Storage Tank</i> n-Butil Metakrilat (N-BMA) (ST-105).....	62

5.1.28. Pompa Proses (PP-105).....	63
5.2. Peralatan Utilitas .....	64
5.2.1. Tangki Air Filter (ST-601).....	64
5.2.2. Pompa Utilitas (PU-102).....	64
5.2.3. Tangki <i>Demin Water</i> (ST-602) .....	65
5.2.4. Pompa Utilitas (PU-102).....	65
5.2.5. Tangki Dispersan (ST-603).....	66
5.2.6. Pompa Utilitas (PU-103).....	67
5.2.7. Tangki Inhibitor (ST-604).....	67
5.2.8. Pompa Utilitas (PU-104).....	68
5.2.9. <i>Cooling Tower</i> (CT-601) .....	68
5.2.10. Pompa Utilitas (PU-105).....	69
5.2.11. <i>Cold Basin</i> (CB-601) .....	70
5.2.12. Pompa Utilitas (PU-106).....	70
5.2.13. Tangki Kondensat (ST-606).....	71
5.2.14. Pompa Utilitas (PU-107).....	71
5.2.15. Tangki Hidrazin (ST-610).....	72
5.2.16. Pompa Utilitas (PU-108).....	72
5.2.17. Deaerator (DE-601).....	73
5.2.18. Pompa Utilitas (PU-122).....	74
5.2.19. Tangkii Domestik (ST-607) .....	74
5.2.20. Tangki Hidrant (ST-611).....	75
5.2.21. <i>Boiler</i> (BO-601) .....	75
5.2.22. <i>Steam Blower</i> (BL-601) .....	76
5.2.23. Kompresor (CP-601).....	76
5.2.24. <i>Cylone</i> (CN-601).....	77
5.2.25. <i>Air Dryer</i> (AD-601) .....	77
5.2.26. <i>Blower</i> (BL-01) .....	77
5.2.27. <i>Blower</i> (BL-02) .....	78
5.2.28. <i>Blower</i> (BL-03) .....	78
5.2.29. <i>Blower</i> (BL-04).....	78
5.2.30. Generator (GC-701) .....	78



5.2.31. Tangki BBM (ST-612).....	79
5.2.32. Bak Limbah (BPL-01).....	79
<b>BAB VI UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH.....</b>	<b>81</b>
6.1. Unit Penyediaan Air .....	81
6.2. Unit Penyediaan <i>Steam</i> .....	98
6.3. Unit Pembangkit Tenaga Listrik .....	99
6.4. Unit Penyediaan Bahan Bakar.....	99
6.5. Unit Penyediaan Udara Tekan.....	100
6.6. Unit Pengolahan Limbah.....	100
6.7. Laboratorium .....	102
6.8. Instrumentasi dan Pengendalian Proses .....	105
<b>BAB VII TATA LETAK PABRIK.....</b>	<b>108</b>
7.1. Lokasi Pabrik.....	108
7.2. Tata Letak Pabrik .....	111
7.3. Estimasi Area Pabrik .....	116
7.4. Tata Letak Peralatan Proses.....	116
<b>BAB VIII SISTEM MANAJEMEN DAN ORGANISASI PERUSAHAAN</b>	<b>119</b>
8.1. Bentuk Perusahaan .....	119
8.2. Struktur Organisasi Perusahaan.....	122
8.3. Tugas dan Wewenang .....	125
8.4. Status Karyawan Dan Sistem Penggajian.....	133
8.4.1. Status Karyawan.....	133
8.4.2. Gaji Karyawan .....	134
8.5. Pembagian jam Kerja Karyawan .....	134
8.5.1. Karyawan Non-Shift .....	135
8.5.2. Karyawan <i>Shift</i> .....	135
8.6. Penggolongan Jabatan Dan Jumlah Karyawan.....	137
8.6.1. Penggolongan Jabatan.....	137
8.6.2. Perincian Jumlah Karyawan.....	138
8.7. Kesejahteraan karyawan.....	141
<b>BAB IX INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI.....</b>	<b>144</b>
9.1. Investasi.....	144
9.1.1. <i>Total Capital Investment</i> (TCI).....	144
9.1.2. <i>Total Production Cost</i> (TPC).....	146

9.2. Evaluasi Ekonomi.....	150
9.2.1. <i>Return on Investment (ROI)</i> .....	150
9.2.2. <i>Pay out Time (POT)</i> .....	151
9.2.3. <i>Break Even Point (BEP)</i> .....	151
9.2.4. <i>Shut Down Point (SDP)</i> .....	152
<b>BAB X KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	154
10.1. Kesimpulan.....	154
10.2. Saran .....	154
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	155

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data Impor N-Butil Metakrilat .....	3
Tabel 1.2 Pabrik N-Butil Metakrilat yang Sudah Berdiri .....	5
Tabel 1.3 Jarak lokasi pabrik dan bahan baku .....	6
Tabel 2.1 Harga Produk dan Bahan Baku.....	12
Tabel 2.2 Nilai $\Delta H_{f(298)}$ bahan baku dan produk.....	22
Tabel 2.3 Perbandingan proses produksi N-Butil Metakrilat .....	25
Tabel 4.1 Neraca Massa pada <i>Mixing Tank</i> (MT-101) .....	40
Tabel 4.2 Neraca Massa Reaktor (RE-201) .....	40
Tabel 4.3 Neraca Massa <i>Neutralizer</i> (NE-301).....	41
Tabel 4.4 Neraca Massa Dekanter (DE-401) .....	41
Tabel 4.5 Neraca Massa Menara Distilasi (MD-501) .....	42
Tabel 4.6 Neraca Massa Overall .....	42
Tabel 4.7 Neraca Energi <i>Mixing Tank</i> (MT-101).....	43
Tabel 4.8 Neraca Energi <i>Heater</i> (HE-101) .....	43
Tabel 4.9 Neraca Energi Reaktor (RE-201) .....	43
Tabel 4.10 Neraca Energi <i>Neutralizer</i> (NE-301) .....	44
Tabel 4.11 Neraca Energi <i>Cooler</i> (CO-201).....	44
Tabel 4.12 Neraca Energi Decanter (DE-401).....	44
Tabel 4.13 Neraca Energi <i>Heater</i> (HE-401) .....	44
Tabel 4.14 Neraca Energi Menara Distilasi (MD-501).....	45
Tabel 4.15 Neraca Energi Cooler (CO-501) .....	45
Tabel 5.1 Spesifikasi Tangki Asam Metakrilat (ST-101) .....	46
Tabel 5.2 Spesifikasi Pompa Proses (PP-101) .....	47
Tabel 5.3 Spesifikasi Tangki n-Butanol (ST-102) .....	47
Tabel 5.4 Spesifikasi Pompa Proses (PP-102) .....	48
Tabel 5.5 Spesifikasi Tangki Asam Sulfat (ST-103) .....	48
Tabel 5.6 Spesifikasi Pompa Proses (PP-103) .....	49
Tabel 5.7 Spesifikasi <i>Mixing Tank</i> (MT-101) .....	50
Tabel 5.8 Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-101) .....	50

Tabel 5.9 Spesifikasi Reaktor (RE-201) .....	51
Tabel 5.10 Spesifikasi Pompa Proses (PP-201) .....	52
Tabel 5.11 Spesifikasi Tangki Sodium Hidroksida (ST-104).....	52
Tabel 5.12 Spesifikasi Pompa Proses (PP-104) .....	53
Tabel 5.13 Spesifikasi Netralizer (NE-301).....	54
Tabel 5.14 Spesifikasi Pompa Proses (PP-301) .....	54
Tabel 5.15 Spesifikasi Cooler (CO-301).....	55
Tabel 5.16 Spesifikasi Dekanter (DE-401) .....	55
Tabel 5.17 Spesifikasi Pompa Proses (PP-401) .....	56
Tabel 5.18 Spesifikasi Heater (HE-401) .....	57
Tabel 5.19 Spesifikasi Pompa Proses (PP-402) .....	57
Tabel 5.20 Spesifikasi Menara Distilasi (MD-501) .....	58
Tabel 5.21 Spesifikasi Condensor (CD-503) .....	58
Tabel 5.22 Spesifikasi Reboiler (RB-501) .....	59
Tabel 5.23 Spesifikasi Accumulator (ACC-502) .....	60
Tabel 5.24 Spesifikasi Pompa Proses (PP-501) .....	60
Tabel 5.25 Spesifikasi Pompa Proses (PP-502) .....	61
Tabel 5.26 Spesifikasi Cooler (CO-501).....	62
Tabel 5.27 Spesifikasi <i>Storage Tank</i> n-Butil Metakrilat (ST-105).....	62
Tabel 5.28 Spesifikasi Pompa Proses (PP-105) .....	63
Tabel 5.29 Spesifikasi Tangki air filter (ST-601) .....	64
Tabel 5.30 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-101) .....	64
Tabel 5.31 Spesifikasi Tangki <i>Demin Water</i> (ST-602).....	65
Tabel 5.32 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-102) .....	65
Tabel 5.33 Spesifikasi Tangki Dispersan (ST-603) .....	66
Tabel 5.34 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-103) .....	67
Tabel 5.35 Spesifikasi Tangki Inhibitor (ST-604) .....	67
Tabel 5.36 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-104) .....	68
Tabel 5.37 Spesifikasi <i>Cooling Tower</i> (CT-601).....	68
Tabel 5.38 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-105) .....	69
Tabel 5.39 Spesifikasi Cold Basin (CB-601).....	70
Tabel 5.40 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-106) .....	70

Tabel 5.41 Spesifikasi Tangki Kondensat (ST-606).....	71
Tabel 5.42 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-107).....	71
Tabel 5.43 Spesifikasi Tangki Hidrazin (ST-610).....	72
Tabel 5.44 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-108).....	72
Tabel 5.45 Spesifikasi Deaerator (DE-601).....	73
Tabel 5.46 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-122).....	74
Tabel 5.47 Spesifikasi Tangki Domestik (ST-607).....	74
Tabel 5.48 Spesifikasi Tangki Hidrant (ST-611).....	75
Tabel 5.49 Spesifikasi Boiler (BO-601).....	75
Tabel 5.50 Spesifikasi <i>Blower</i> (BL-601).....	76
Tabel 5.51 Spesifikasi Kompresor (CP-601).....	76
Tabel 5.52 Spesifikasi <i>Cylone</i> (CN-601).....	77
Tabel 5.53 Spesifikasi <i>Air Dryer</i> (AD-601).....	77
Tabel 5.54 Spesifikasi <i>Blower</i> (BL-01).....	77
Tabel 5.55 Spesifikasi <i>Blower</i> (BL-02).....	78
Tabel 5.56 Spesifikasi <i>Blower</i> (BL-03).....	78
Tabel 5.57 Spesifikasi <i>Blower</i> (BL-04).....	78
Tabel 5.58 Spesifikasi Generator (GS-701).....	78
Tabel 5.59 Spesifikasi Tangki BBM (ST-612).....	79
Tabel 5.60 Spesifikasi Bak Penampung Limbah (BPL-01).....	79
Tabel 6.1 Parameter Fisik dalam Standar Baku Mutu Kesehatan.....	82
Tabel 6.2 Parameter Biologi dalam Standar Baku Mutu Kesehatan.....	82
Tabel 6.3 Parameter Kimia dalam Standar Baku Mutu Kesehatan.....	83
Tabel 6.4 Kebutuhan Air Umum.....	84
Tabel 6.5 Kebutuhan Air untuk Pendingin.....	86
Tabel 6.6 Kebutuhan Air untuk <i>Steam</i> .....	89
Tabel 6.7 Total Kebutuhan Air di Pabrik n-Butil Metakrilat.....	92
Tabel 6.8 Tingkatan Kebutuhan Informasi dan Sistem Pengendalian.....	106
Tabel 6.9 Pengendalian Variabel Utama Proses.....	107
Tabel 7.1 Rincian Lahan Pabrik.....	116
Tabel 8.1 Jadwal kerja masing-masing regu.....	136
Tabel 8.2 Perincian Tingkat Pendidikan.....	137

Tabel 8.3 Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat Proses .....	139
Tabel 8.4 Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat Utilitas .....	139
Tabel 8.5 Perincian Jumlah Karyawan Berdasarkan Jabatan.....	140
Tabel 9.1 <i>Fixed Capital Investment</i> .....	145
Tabel 9.2 <i>Manufacturing Cost</i> .....	147
Tabel 9.3 <i>General Expenses</i> .....	147
Tabel 9.4 Biaya Administratif.....	148
Tabel 9.5 <i>Minimum acceptable present return on investment</i> .....	150
Tabel 9.6 <i>Acceptable payout time</i> untuk tingkat resiko pabrik.....	151
Tabel 9.7 Parameter Kelayakan Ekonomi Pabrik n-Butil Metakrilat .....	153

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Data Impor N-Butil Metakrilat.....	4
Gambar 1.2 Peta Lokasi Pabrik N-Butil Metakrilat.....	6
Gambar 6.1 <i>Deaerator</i> .....	91
Gambar 6.2 Skema Proses Elektrolisis .....	102
Gambar 7.1 Lokasi Pabrik .....	111
Gambar 7.2 Tata Letak Pabrik dan Fasilitas Pendukung.....	115
Gambar 7.3 Tata Letak Alat Proses .....	118
Gambar 8.1 Struktur Organisasi Perusahaan .....	124
Gambar 9.1 Grafik Analisa Ekonomi .....	152

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai salah satu negara berkembang di dunia harus siap menghadapi era perdagangan bebas. Saat ini Indonesia masih tertinggal dibandingkan dengan negara – negara lain di era ini. Kondisi perekonomian yang terpuruk persis pada saat akan dimulainya era perdagangan bebas yang merupakan indikasi yang tidak dapat dipungkiri. Oleh karena itu perlunya usaha – usaha baru agar indonesia lebih dapat berkompetisi dengan negara lain yang salah satunya dibidang industri. Pembangunan industri merupakan bagian dari upaya pembangunan ekonomi jangka panjang untuk menciptakan struktur perekonomian yang lebih kuat dan seimbang, khususnya yang menekankan pada industry teknologi tinggi yang didukung oleh industri kuat lainnya. Seiring dengan berkembangnya industri ,kebutuhan akan bahan baku dan bahan penunjang semakin meningkat.

Proses industrialisasi diharapkan dapat lebih dimantapkan untuk mendukung perkembangan industri – industri di Indonesia, yang salah satunya yaitu industri n-butyl metakrilat. N-butyl Metakrilat memiliki rumus molekul  $C_8H_{14}O_2$  dan mempunyai nama IUPAC yang diantaranya *2-methyl-2-proponic acid butyl ester*, *butyl 2-methyl-2-propionate*, dan *2-methyl butyl acrylate*. N-



butil Metakrilat merupakan suatu monomer yang dapat digunakan sebagai kopolimer dalam jumlah tertentu maupun dalam bentuk polimer emulsi. Polimer emulsi merupakan salah satu produk yang banyak digunakan pada bidang industri ataupun di kehidupan sehari-hari. Dalam bidang industri, polimer emulsi dapat dimanfaatkan sebagai blinder atau pengikat, dalam industri kayu lapis, dapat dimanfaatkan sebagai perekat dalam pengerjaan furnitur, industri cat tembok, polimer emulsi digunakan sebagai pengikat dan pengental, selain itu juga polimer emulsi ini dapat digunakan sebagai pewarna pada berbagai sektor industri yang diantaranya yaitu industri makanan, cat (*coating*), otomotif, tekstil dan lain sebagainya. Dalam industri tekstil sebagai macam emulsi yang digunakan pada proses pengkanjian (*sizing*), pencapan (*printing*) dan penyempurnaan (*finishing*).

Banyaknya kegunaan produk n-butil metakrilat pada dunia industri maka keperluan dari produk ini akan semakin meningkat disetiap tahunnya dengan meningkatnya jumlah pemakaian produk industri pengguna bahan tersebut. Hingga saat ini di Indonesia, n-butil metakrilat belum diproduksi secara mandiri sehingga kebutuhan bagi industri lokal masih mengimpor dari luar negeri. N-butil metakrilat dibuat dari asam metakrilat dan butanol dengan menggunakan katalis asam sulfat. Bahan baku asam metakrilat diperoleh dari PT. Nippon Shokubai Acrylindo yang berlokasi di daerah Cilegon dengan kapasitas 60.000 ton/tahun, Banten dan untuk bahan baku n-butanol diperoleh dari PT. Oxo Nusantara yang berkapasitas 50.000 ton/tahun dan berada di Gresik, Jawa Timur. Untuk bahan baku tambahan  $H_2SO_4$  yang digunakan

sebagai katalis diperoleh dari PT. Indonesia Acid Industri dengan kapasitas pabrik 33.000 ton/tahun.

## 1.2 Penentuan Kapasitas

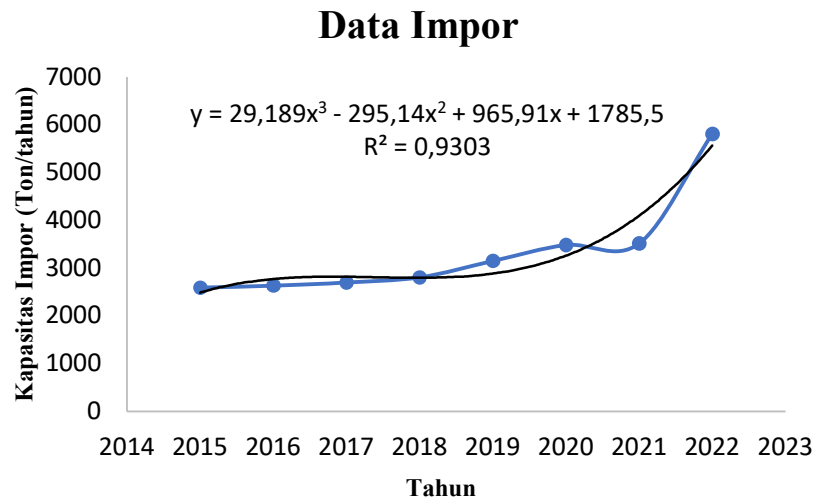
Dalam penentuan kapasitas pabrik n-butyl metakrilat, dilakukan beberapa analisa berdasarkan data impor, data impor di negara ASEAN :

### a. Data Impor

Industri yang menggunakan n-butyl metakrilat sebagai bahan baku lanjutan atau tambahan dapat ditinjau dari beberapa contoh industri. Berdasarkan data impor yang diperoleh dari data Badan Pusat Statistik tahun 2018 – 2022 dapat dilihat dari Tabel 1.1 berikut:

**Tabel 1.1** Data Impor N-Butil Metakrilat

<b>Tahun</b>	<b>Total Impor (Ton/tahun)</b>
2015	2.589,77
2016	2.631,47
2017	2.696,47
2018	2.805,83
2019	3.147,13
2020	3.481,85
2021	3.518,03
2022	5.805,72



**Gambar 1.1** Data Impor N-Butil Metakrilat

Berdasarkan Gambar 1.1 dan Tabel 1.1, bahwasannya kebutuhan n-butyl metakrilat di Indonesia semakin meningkat setiap tahunnya. Dari data di atas, di asumsikan pabrik akan didirikan pada tahun 2027, maka berdasarkan perhitungan dengan membuat persamaan garis polinomial orde 3 dengan  $x$  sebagai fungsi tahun dan  $y$  sebagai fungsi volume kapasitas pabrik, didapat persamaan sebagai berikut:

$$y = 29,189x^3 - 295,14x^2 + 965,91x + 1785,5$$

Keterangan :

$$x = \text{Tahun}$$

$$y = \text{Kebutuhan}$$

$$y = 29,189x^3 - 295,14x^2 + 965,91x + 1785,5$$

$$= 29,189 \times (13^3) - 295,14 \times (13^2) + 965,91 \times (13) + 1785,5$$

= 28.592 ton/tahun

b. Kapasitas Pabrik yang Telah Beroperasi

Terdapat beberapa pabrik N-Butil Metakrilat yang telah berdiri yaitu:

**Tabel 1.2** Pabrik N-Butil Metakrilat yang Sudah Berdiri

<b>Nama Pabrik</b>	<b>Lokasi</b>	<b>Kapasitas (Ton/tahun)</b>
Mitsubishi Petrochemical Company	Jepang	220.000
LX MMA	Jepang	150.000
Fushun Donglian Anxin Chemical Co,Ltd.	China	120.000

Berdasarkan data impor produksi N-Butil Metakrilat di Indonesia dari tahun 2015 – 2022 didapatkan kebutuhan produksi pabrik pada tahun 2027 dari perhitungan nilai y pada data impor adalah 28.592 ton/tahun sehingga direncanakan kapasitas pabrik n-butyl metakrilat sebesar **25.000 ton/tahun**.

### 1.3 Tempat dan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi untuk membangun pabrik merupakan salah satu faktor yang dapat menentukan kemajuan dan kelangsungan pabrik yang akan dibangun serta kestabilannya di waktu yang akan datang. Hal ini disebabkan oleh faktor distribusi dan produksi seperti ketersediaan bahan baku, pemasaran produk, sarana transportasi, dan beberapa faktor penunjang. Selain itu, perhitungan biaya yang dikeluarkan untuk pendistribusian dan produksi minimal serta pertimbangan budaya dan sosiologi masyarakat sekitar pabrik yang akan dibangun pun merupakan aspek-aspek yang harus dipertimbangkan untuk

menentukan lokasi pabrik (Timmerhaus, 2014). Hal tersebutlah yang dapat memperlancar berjalannya pendirian suatu pabrik.



**Gambar 1.2** Peta Lokasi Pabrik N-Butil Metakrilat

Berikut ini adalah pertimbangan dalam memilih lokasi pabrik:

**Tabel 1.3** Jarak lokasi pabrik dan bahan baku

Lokasi	Harga Lahan (Rp/m <sup>2</sup> )	Jarak Bahan Baku (km)			
		C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NaOH
Cilegon	Rp 2.500.000,00	1	893	139	2.1
Cikarang	Rp 3.000.000,00	174	729	51.2	174
Karawang	Rp 2.500.000,00	161	740	41	160
Gresik	Rp 4.000.000,00	891	2.8	771	891

a. Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan yaitu Asam Metakrilat yang diperoleh dari PT. Nippon Shokubai Acrylindo yang berada di daerah Cilegon dengan kapasitas 60.000 ton/tahun. n-Butanol diperoleh dari PT. Oxo Nusantara

yang berkapasitas 50.000 ton/tahun dan berada di Gresik, Jawa Timur. Asam Sulfat diperoleh dari PT. Indonesian Acids Industri, Jakarta Timur dengan kapasitas 82.500 ton/tahun dan Sodium hidroksida dari PT. Asahimas Chemical dengan kapasitas produksi 200.000 ton/tahun yang berlokasi di Cilegon, Banten.

b. Pemasaran Produk

Dalam menentukan lokasi pabrik, pemasaran produk diharapkan dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri yang mana produk n-Butil metakrilat ini biasa digunakan pada industri cat tembok, cat pelapis kayu, polimer emulsi, tekstil dan industri lainnya.

c. Transportasi

Ketersediaan sarana transportasi sangat mempengaruhi pendistribusian produk dan bahan baku baik melalui jalur darat maupun jalur laut. Cilegon merupakan salah satu Kawasan industri yang memiliki akses memadai seperti pintu tol, dermaga, dan jalan raya yang dapat digunakan sebagai sarana pendistribusian ke dalam negeri maupun luar negeri.

d. Utilitas

Utilitas yang diperlukan pada pabrik ini antara lain air, bahan bakar dan listrik. Dalam menjalankan suatu proses di sebuah pabrik, dibutuhkan air yang jumlahnya cukup besar yang digunakan sebagai air proses, air yang dibutuhkan untuk karyawan pabrik dan masyarakat sekitar pabrik, air hidran serta air umpan boiler. Oleh sebab itu, pabrik harus berada di daerah dekat dengan sumber air. Pemilihan sumber air pada pabrik n-Butil Metakrilat

yang akan di bangun di Cilegon ini diambil dari Sungai Cidanau yang memiliki jarak  $\pm 250$  meter dari lokasi pabrik yang akan di bangun.

e. Ketersediaan Tenaga Kerja

Kebutuhan tenaga kerja pabrik dapat dipenuhi dari lingkungan sekitar lokasi pabrik, mulai dari tenaga kerja terdidik, terlatih, terlampir, hingga tenaga kerja kasar. Dengan memanfaatkan masyarakat sekitar sebagai tenaga kerja, maka berdirinya pabrik ini dapat mengurangi persentase pengangguran didaerah tersebut dan dapat membantu meningkatkan taraf hidup masyarakat setempat. Menurut Data Badan Pusat Statistik 2021, Cilegon memiliki total pengangguran 10,13% dari total usia siap kerja, oleh karena itu pembangunan pabrik di daerah Cilegon ini akan sangat membantu masyarakat sekitar untuk mendapat pekerjaan.

## BAB II

### DESKRIPSI PROSES

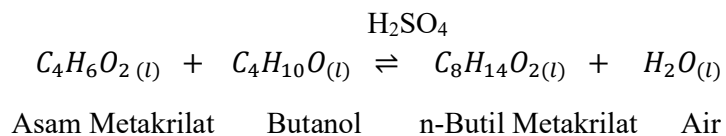
Upaya produksi di pabrik kimia memerlukan berbagai sistem proses yang berbeda dan sistem proses yang digabungkan menjadi suatu sistem produksi yang dikenal dengan teknologi proses. Umumnya, sistem proses utama pada suatu pabrik kimia adalah sistem reaksi, sistem pemisahan dan pemurnian. Selain sistem tersebut, pabrik kimia juga menggunakan berbagai sistem pendukung seperti sistem kontrol proses, penyimpanan bahan kimia, pengolahan limbah dan infrastruktur yang mendukung untuk menjalankan pabrik kimia tersebut.

#### 2.1 Jenis – jenis Proses

n-Butil Metakrilat yang mempunyai beberapa nama IUPAC, diantaranya yaitu *2-methyl-2-propenoic acid butyl ester*, *butyl 2-methyl-2-propenoate*, dan *2-methyl butyl acrylate* (PubChem, 2023). Senyawa tersebut merupakan cairan tak berwarna yang memiliki rumus molekul  $C_8H_{14}O_2$ . n-Butil Metakrilat dapat diproduksi dengan beberapa proses dan bahan yang berbeda – beda, yaitu:

##### 1. Pembuatan n-Butil Metakrilat dari Asam Metakrilat dan n-Butanol

Pembuatan n-Butil Metakrilat dengan menggunakan bahan baku dari asam metakrilat dan n-butanol diperoleh dari reaksi esterifikasi. Reaksi esterifikasi yang terjadi adalah sebagai berikut (Sakakura, 1995):

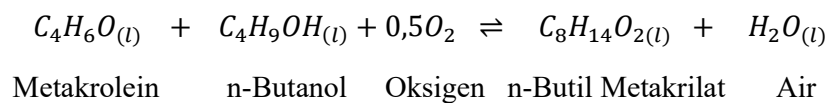




Reaksi dijalankan pada suhu 115°C. Reaksi esterifikasi antara Asam Metakrilat dengan N-Butanol merupakan reaksi kesetimbangan. Konversi Asam Metakrilat menjadi N-Butil Metakrilat sebesar 98% (Sakakura,1995). Katalis yang dapat digunakan dalam reaksi esterifikasi antara lain asam sulfat, *p-toluenesulfonic acid*, *naphtenesulfonic acid*, *benzenesulfonic acid*, dan *methanesulfonic acid*. Asam kuat ini harus dihilangkan setelah reaksi. Penghilangan asam dapat dilakukan dengan mereaksikan produk keluar reaktor dengan larutan alkali sehingga terjadi netralisasi. Dengan cara ini diperlukan alkali yang banyak agar netralisasi dapat sempurna. Selain itu sangat sulit mengambil kembali katalis asam dan asam metakrilat dengan butanol yaitu 1,0 : 1,2 sampai dengan 1,0 : 0,8. Kadar katalis asam sebaiknya antara 0,5 sampai dengan 2% berat (US patent: 4.698.440, 1987).

## 2. Pembuatan n-Butil Metakrilat dari Metakrolein, Butanol, dan Oksigen

N-Butil Metakrilat disintesis dalam reaktor alir tangki berpengaduk dengan katalis Paladium. Reaksi yang terjadi (Yamaguchi *et al.*, 2000):

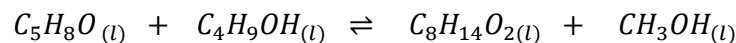


Kondisi operasi reaktor berada suhu 80°C dan tekanan 5 atm. Konversi yang diperoleh berkisar 47%-48,5%. Air yang dihasilkan akan bersaing dengan butanol dengan bereaksi dengan metakrolein. Selain itu, air dan

produk asam karboksilat mudah teradsorpsi pada permukaan katalis, sehingga mengurangi laju reaksi lebih cepat seiring dengan meningkatnya konsentrasi air dan asam karboksilat. Masalah ini dapat diatasi dengan berbagai metode, termasuk dengan menambahkan adsorben kedalam reaktor untuk menyerap air. Dengan metode ini, selektivitasnya menjadi lebih baik. Metode lainnya yaitu dengan menambahkan membran ke dalam reaktor, yang memungkinkan air melewatinya tetapi tidak dapat ditembus oleh asam, alkohol, atau ester yang terbentuk. (US patent No.6.107.515, 2000).

### 3. Pembuatan n-Butil Metakrilat dari Metil Metakrilat dan Metanol

N-Butil Metakrilat dibuat dengan reaksi transesterifikasi antara Metil Metakrilat dengan N-butanol. Reaksi yang terjadi (Strehlke, 1975):



Metil Metakrilat    n-Butanol    n-Butil Metakrilat    Metanol

Reaksi dilakukan dengan menggunakan katalis titanium atau zirkonium alkaholat. Suhu reaksi sebaiknya antara 110°C sampai 130°C. Konversi yang diperoleh berkisar 75%. Benzena atau sikloheksana ditambahkan untuk melarutkan metanol yang terbentuk selama reaksi. Perbandingan rasio mol reaktan metil metakrilat dengan butanol masuk reaktor antara 2 : 1 sampai dengan 1,1 : 1. Kandungan katalis yang ditambahkan antara 0,1 sampai dengan 1% berat. Ke dalam reaktor juga ditambahkan karbon aktif untuk menghilangkan warna yang terbentuk selama reaksi. Kadar karbon antara 0,1-0,2% berat. Gas yang mengandung oksigen seperti udara, dimasukkan ke dalam reaktor untuk membawa metanol dan

benzen atau sikloheksan sebagai produk hasil atas. Campuran yang keluar dari reaktor akan dihilangkan dari sisa metil metakrilat dengan *stripping* menggunakan *steam*. *Stripping* dapat digunakan untuk menghilangkan komponen yang tidak diinginkan dari suatu campuran, untuk memisahkannya dapat menggunakan aliran gas atau pelarut untuk mengeluarkan komponen tertentu dari campuran. Produk sampingnya berupa terhidrolisisnya katalis titanium alkoholat menjadi titanium hidroksida. Endapan titanium hidroksida dengan karbon aktif selanjutnya akan disaring (US Patent: 3.887.609, 1975).

## 2.2 Pemilihan Proses

Saat memilih suatu proses, terdapat beberapa faktor yang harus dipertimbangkan seperti bahan baku yang digunakan, suhu operasi, panas reaksi dalam keadaan standar, katalis yang digunakan, produk samping, biaya bahan baku (perkiraan perhitungan ekonomis) dan harga pembuatan produk/kg.

### 1. Pehitungan ekonomi kasar berdasarkan bahan baku yang dibutuhkan

Harga – harga bahan baku dan produk untuk pemilihan proses tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1:

**Tabel 2.1** Harga Produk dan Bahan Baku

No	Nama Bahan	Harga (\$)/ton	Harga (RP)/ton	Harga (Rp)/kg
1	Asam Metakrilat	91,67	1.400.259,-	1.400,-
2	Metil Metakrilat	988	15.091.700,-	15.092,-
3	Metakrolein	716	10.936.900,-	10.937,-

No	Nama Bahan	Harga (\$)/ton	Harga (Rp)/ton	Harga (Rp)/kg
4	n-Butanol	445	6.797.375,-	6.797,-
5	Oksigen	500	7.637.500,-	7.638,-
6.	N-Butil Metakrilat	1600	24.440.000,-	24.440,-

Keterangan : \*Alibaba.com

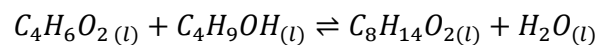
Kurs 1\$ = Rp.15.275,- (Bank Indonesia)

Tanggal Akses 1 Maret 2023

Untuk menghitung perolehan keuntungan kasar atau laba kotor dapat digunakan persamaan berikut ini:

**a. Pembuatan N-Butil Metakrilat dari Asam Metakrilat dan n-Butanol**

Reaksi dengan konversi Asam Metakrilat 98%. Basis 1 kmol reaktan:



$$BM \text{ (kg/kmol)} = \begin{matrix} 86,09 & 74,12 & 142,20 & 18,02 \end{matrix}$$

$$\text{Kapasitas produksi} = 25.000 \text{ ton/tahun}$$

$$\text{Waktu Produksi} = 330 \text{ hari}$$

$$\text{Massa } C_8H_{14}O_2 = \frac{25.000 \text{ ton}}{1 \text{ tahu}} \times \frac{1.000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}}$$

$$= 3.156,566 \text{ kg/jam}$$

Untuk kapasitas produksi n-butyl metakrilat sebesar 3.156,566 kg/jam dengan konversi 98% (Sakakura, 1995) maka jumlah kmol n-butyl metakrilat/jam yang dihasilkan adalah sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Mol } C_8H_{14}O_2 &= \frac{\text{Massa } C_8H_{14}O_2}{BM \text{ } C_8H_{14}O_2} \\ &= \frac{3.156,5657 \text{ kg/jam}}{142,2 \text{ kg/kmol}} \end{aligned}$$

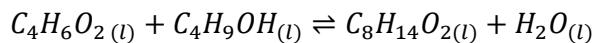
$$= 22,198 \text{ kmol/jam}$$

$$\text{Konversi} = \frac{\text{mol yang bereaksi}}{\text{mol mula-mula}}$$

$$\text{Mol Mula-mula} = \frac{\text{mol yang bereaksi}}{\text{konversi}} = \frac{22,1981 \text{ kmol/jam}}{98\%}$$

$$= 22,651 \text{ kmol/jam}$$

Maka,



$$\text{M} \quad 22,6511 \quad 22,6511$$

$$\text{B} \quad \underline{22,1981} \quad \underline{22,1981} \quad \underline{22,1981} \quad \underline{22,1981}$$

$$\text{S} \quad 0,453 \quad 0,453 \quad 22,1981 \quad 22,1981$$

### Asam Metakrilat (C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>)

Umpan segar Asam Metakrilat (Kemurnian 99%)

$$\text{BM } C_4H_6O_2 = 86,09 \text{ kg/kmol}$$

$$\text{Mol } C_4H_6O_2 \text{ awal} = 22,6511 \text{ kmol/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa } C_4H_6O_2 &= \text{mol } C_4H_6O_2 \times \text{BM } C_4H_6O_2 \\ &= 22,6511 \text{ kmol/jam} \times 86,09 \text{ kg/kmol} \\ &= 1.950,0325 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa } C_4H_6O_2 &= 1.950,0325 \text{ kg/jam} / 0,99 \\ &= 1.969,7298 \text{ kg/jam} \\ &= 17.254.833,56 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga } C_4H_6O_2 &= \text{massa } C_4H_6O_2 \times \text{harga } C_4H_6O_2 \\ &= 17.254.833,56 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp.1.400,-} \\ &= \text{Rp. 24.262.340.296,- kg/tahun} \end{aligned}$$

**n-Butanol (C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>OH)**

Umpan segar Butanol (Kemurnian 99,5%)

$$\text{BM C}_4\text{H}_9\text{OH} = 74,12 \text{ kg/kmol}$$

$$\text{Mol C}_4\text{H}_9\text{OH awal} = 22,6511 \text{ kmol/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa C}_4\text{H}_9\text{OH} &= \text{mol C}_4\text{H}_9\text{OH} \times \text{BM C}_4\text{H}_9\text{OH} \\ &= 22,6511 \text{ kmol/jam} \times 74,12 \text{ kg/kmol} \\ &= 1.678,8990 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa C}_4\text{H}_9\text{OH} &= 1.678,8990 \text{ kg/jam} / 0,995 \\ &= 1.687,3356 \text{ kg/jam} \\ &= 14.781.060,38 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga C}_4\text{H}_9\text{OH} &= \text{massa C}_4\text{H}_9\text{OH} \times \text{harga C}_4\text{H}_9\text{OH} \\ &= 14.781.060,38 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp.}6.797,- \\ &= \text{Rp.} 100.472.410.299,- /\text{tahun} \end{aligned}$$

**N-Butil Metakrilat (C<sub>8</sub>H<sub>14</sub>O<sub>2</sub>)**

$$\text{BM C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2 = 142,2 \text{ kg/kmol}$$

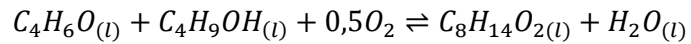
$$\begin{aligned} \text{Massa C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2 &= 25.000\text{ton/tahun} \\ &= 25.000.000 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2 &= \text{massa C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2 \times \text{harga C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2 \\ &= 25.000.000 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp.} 22.913,- \\ &= \text{Rp.} 572.812.500.000,- /\text{tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ep/profit} &= \text{Harga Jual Produk} - \text{Harga Bahan Baku} \\ &= \text{Rp.}572.812.500.000 - \text{Rp.}224.633.650.595 \\ &= \text{Rp.} 448.178.849.405,- \end{aligned}$$

**b. N-Butil Metakrilat dari Metakrolein, N-Butanol, dan Oksigen**

Reaksi dengan konversi Metakrolein 48,5%. Basis 1 kmol reaktan:



$$\text{BM (kg/kmol)} = \begin{matrix} 70,09 & 74,12 & 32 & 142,20 & 18,02 \end{matrix}$$

$$\text{Kapasitas produksi} = 25.000 \text{ ton/tahun}$$

$$\text{Waktu Produksi} = 330 \text{ hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa } C_8H_{14}O_2 &= \frac{25.000 \text{ ton}}{1 \text{ tah}} \times \frac{1.000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \\ &= 3.156,566 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

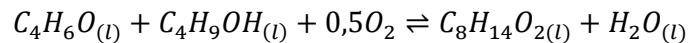
Untuk kapasitas produksi n-butil metakrilat sebesar 3.156,5657 kg/jam dengan konversi 48,5% (Yamaguchi,2000) sehingga jumlah kmol/jam n-butil metakrilat yang dihasilkan sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Mol } C_8H_{14}O_2 &= \frac{\text{Massa } C_8H_{14}O_2}{\text{BM } C_8H_{14}O_2} \\ &= \frac{3.156,5657 \text{ kg/jam}}{142,2 \text{ kg/kmol}} \\ &= 22,198 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

$$\text{Konversi} = \frac{\text{mol yang bereaksi}}{\text{mol mula-mula}}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol Mula-mula} &= \frac{\text{mol yang bereaksi}}{\text{konversi}} = \frac{22,1981 \text{ kmol/jam}}{48,5\%} \\ &= 45,769 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

Maka,



$$\text{M} \quad 45,7692 \quad 45,7692 \quad 22,8846$$

$$\text{B} \quad 22,1981 \quad 22,1981 \quad 22,1981 \quad 22,1981 \quad 22,1981$$

$$\text{S} \quad 23,5711 \quad 23,5711 \quad 0,6865 \quad 22,1981 \quad 22,1981$$

**Metakrolein (C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O)**

Umpan segar Metakrolein (Kemurnian 96%)

$$\text{BM C}_4\text{H}_6\text{O} = 70,09 \text{ kg/kmol}$$

$$\text{Mol C}_4\text{H}_6\text{O awal} = 45,7692 \text{ kmol/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa C}_4\text{H}_6\text{O} &= \text{mol C}_4\text{H}_6\text{O} \times \text{BM C}_4\text{H}_6\text{O} \\ &= 45,7692 \text{ kmol/jam} \times 70,09 \text{ kg/kmol} \\ &= 3.207,9645 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa C}_4\text{H}_6\text{O} &= 3.207,9645 \text{ kg/jam} / 0,96 \\ &= 3.341,6297 \text{ kg/jam} \\ &= 29.272.675,96 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga C}_4\text{H}_6\text{O} &= \text{massa C}_4\text{H}_6\text{O} \times \text{harga C}_4\text{H}_6\text{O} \\ &= 29.272.675,96 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp.}10.937,- \\ &= \text{Rp.} 320.152.329.666,- \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

**n-Butanol (C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>OH)**

Umpan segar Butanol (Kemurnian 99,5%)

$$\text{BM C}_4\text{H}_9\text{OH} = 74,12 \text{ kg/kmol}$$

$$\text{Mol C}_4\text{H}_9\text{OH awal} = 45,7692 \text{ kmol/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa C}_4\text{H}_9\text{OH} &= \text{mol C}_4\text{H}_9\text{OH} \times \text{BM C}_4\text{H}_9\text{OH} \\ &= 45,7692 \text{ kmol/jam} \times 74,12 \text{ kg/kmol} \\ &= 3.392,4144 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa C}_4\text{H}_9\text{OH} &= 3.392,4144 \text{ kg/jam} / 0,995 \\ &= 3.409,4617 \text{ kg/jam} \\ &= 29.866.884,89 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{Harga C}_4\text{H}_9\text{OH} &= \text{massa C}_4\text{H}_9\text{OH} \times \text{harga C}_4\text{H}_9\text{OH} \\ &= 29.866.884,89 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp.6.797,-} \\ &= \text{Rp. 203.016.416.686,- /tahun} \end{aligned}$$

### Oksigen (O<sub>2</sub>)

Umpan segar Oksigen (Kemurnian 99,5%)

$$\begin{aligned} \text{BM O}_2 &= 32 \text{ kg/kmol} \\ \text{Mol O}_2 \text{ awal} &= 22,8846 \text{ kmol/jam} \\ \text{Massa O}_2 &= \text{mol O}_2 \times \text{BM O}_2 \\ &= 22,8846 \text{ kmol/jam} \times 32 \text{ kg/kmol} \\ &= 737,3075 \text{ kg/jam} \\ \text{Massa O}_2 &= 737,3075 \text{ kg/jam} / 0,995 \\ &= 724,9844 \text{ kg/jam} \\ &= 6.350.863,456 \text{ kg/tahun} \\ \text{Harga O}_2 &= \text{massa O}_2 \times \text{harga O}_2 \\ &= 6.350.863,456 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp.7.638,-} \\ &= \text{Rp. 48.504.719.649,- /tahun} \end{aligned}$$

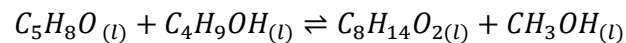
### n-Butil Metakrilat (C<sub>8</sub>H<sub>14</sub>O<sub>2</sub>)

$$\begin{aligned} \text{BM C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2 &= 142,2 \text{ kg/kmol} \\ \text{Massa C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2 &= 25.000 \text{ ton/tahun} \\ &= 25.000.000 \text{ kg/tahun} \\ \text{Harga C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2 &= \text{massa C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2 \times \text{harga C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2 \\ &= 25.000.000 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp. 22.913,-} \\ &= \text{Rp. 572.812.500.000,- /tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ep/profit} &= \text{Harga Jual Produk} - \text{Harga Bahan Baku} \\
 &= \text{Rp. } 572.812.500.000 - \text{Rp. } 571.673.466.001 \\
 &= \text{Rp. } 1.139.033.999,-
 \end{aligned}$$

**c. N-Butil Metakrilat dari Metil Metakrilat dan N-Butanol**

Reaksi dengan konversi Metil Metakrilat 75%. Basis 1 kmol reaktan:



$$\text{BM (kg/kmol)} = 100,12 \quad 74,12 \quad 142,20 \quad 32,04$$

$$\text{Kapasitas produksi} = 25.000 \text{ ton/tahun}$$

$$\text{Waktu Produksi} = 330 \text{ hari}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa } C_8H_{14}O_2 &= \frac{25.000 \text{ ton}}{1 \text{ tahun}} \times \frac{1.000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ har}}{24 \text{ jam}} \\
 &= 3.156,5657 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

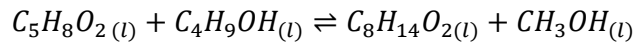
Untuk kapasitas produksi n-butil metakrilat sebesar 3.156,5657 kg/jam dengan konversi 75% (Strehlke,1975) sehingga jumlah kmol/jam n-butil metakrilat yang dihasilkan sebesar:

$$\begin{aligned}
 \text{Mol } C_8H_{14}O_2 &= \frac{\text{Massa } C_8H_{14}O_2}{\text{BM } C_8H_{14}O_2} \\
 &= \frac{3.156,5657 \text{ kg/jam}}{142,2 \text{ kg/kmol}} \\
 &= 22,1981 \text{ kmol/jam}
 \end{aligned}$$

$$\text{Konversi} = \frac{\text{mol yang bereaksi}}{\text{mol mula-mul}}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mol Mula-mula} &= \frac{\text{mol yang bereaksi}}{\text{konversi}} = \frac{22,1981 \text{ kmol/jam}}{75\%} \\
 &= 29.5974 \text{ kmol/jam}
 \end{aligned}$$

Maka,



M	29.5974	29.5974		
B	<u>22,1981</u>	<u>22,1981</u>	<u>22,1981</u>	<u>22,1981</u>
S	7,3993	7,3993	22,1981	22,1981

### Metil Metakrilat (C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub>)

Umpan segar Asam Metakrilat (Kemurnian 99%)

BM C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	= 100,12 kg/kmol
Mol C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub> awal	= 29.5974 kmol/jam
Massa C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	= mol C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub> x BM C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>
	= 29.5974 kmol/jam x 86,09 kg/kmol
	= 2.963,2944 kg/jam
Massa C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	= 2.963,2944 kg/jam / 0,99
	= 2.993,2267 kg/jam
	= 26.220.666,08 kg/tahun
Harga C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	= massa C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub> x harga C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>
	= 26.220.666,08 kg/tahun x Rp15.092,-
	= Rp. 395.714.426.267 kg/tahun

### Butanol (C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>OH)

Umpan segar Butanol (Kemurnian 99,5%)

BM C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH	= 74,12 kg/kmol
Mol C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH awal	= 29,5974 kmol/jam
Massa C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH	= mol C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH x BM C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH
	= 29,5974 kmol/jam x 74,12 kg/kmol
	= 2.193,7613 kg/jam

$$\begin{aligned}
 \text{Massa C}_4\text{H}_9\text{OH} &= 2.193,7613 \text{ kg/jam} / 0,995 \\
 &= 2.204,7853 \text{ kg/jam} \\
 &= 19.313.918,90 \text{ kg/tahun} \\
 \text{Harga C}_4\text{H}_9\text{OH} &= \text{massa C}_4\text{H}_9\text{OH} \times \text{harga C}_4\text{H}_9\text{OH} \\
 &= 19.313.918,90 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp.}6.797,- \\
 &= \text{Rp.}131.283.949.457,- /\text{tahun}
 \end{aligned}$$

### **N-Butil Metakrilat (C<sub>8</sub>H<sub>14</sub>O<sub>2</sub>)**

$$\begin{aligned}
 \text{BM C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2 &= 142,2 \text{ kg/kmol} \\
 \text{Massa C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2 &= 25.000 \text{ ton/tahun} \\
 &= 25.000.000 \text{ kg/tahun} \\
 \text{Harga C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2 &= \text{massa C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2 \times \text{harga C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2 \\
 &= 25.000.000 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp.} 22.912,500,- \\
 &= \text{Rp.} 572.812.500.000,- /\text{tahun} \\
 \text{Ep/profit} &= \text{Harga Jual Produk} - \text{Harga Bahan Baku} \\
 &= \text{Rp.} 572.812.500.000 - \text{Rp.} \\
 &\quad 526.998.375.724 \\
 &= \text{Rp.} 45.814.124.276,-
 \end{aligned}$$

### **2.3 Pemilihan proses meninjau dari panas reaksi ( $\Delta H$ )**

$\Delta H$  menunjukkan adanya panas reaksi yang dihasilkan selama proses berlangsungnya reaksi kimia, misalnya pada reaksi yang membentuk produk berupa N-butil Metakrilat. Besar kecilnya nilai  $\Delta H$  tersebut menunjukkan jumlah energi yang dibutuhkan atau dihasilkan.  $\Delta H$  yang mempunyai nilai positif (+) menunjukkan reaksi tersebut membutuhkan panas untuk berlangsungnya reaksi sehingga semakin besar  $\Delta H$  maka semakin besar juga

energi yang dibutuhkan. Sedangkan  $\Delta H$  bernilai negatif (-) menunjukkan bahwa reaksi tersebut menghasilkan panas selama reaksi berlangsung. Nilai  $\Delta H$  di tiap reaksi perlu dihitung untuk menentukan apakah reaksi tersebut bersifat menghasilkan panas atau memerlukan panas.

**Tabel 2.2** Nilai  $\Delta H_{f(298)}$  bahan baku dan produk

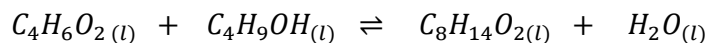
Komponen	$\Delta H_{f(298)}$ (kJ/mol)
Asam Metakrilat	-367,94
n-Butanol	-274,43
Metil Metakrilat	-347,36
Metakrolein	-112,00
Methanol	-201,17
Oksigen	-285,83
Air	-240,56
n-Butil Metakrilat	-422,00

(Yawn, 1999)

$$\Delta H_{Rx} = \Delta H_R + \Delta H_{Rx(298)} + \Delta H_p \dots \dots \dots (2.1)$$

$$\Delta H_{R(298)} = \Delta H_f \text{ produk} - \Delta H_f \text{ reaktan} \dots \dots \dots (2.5)$$

**a. N-Butil Metakrilat dari Asam Metakrilat dan N-Butanol**



$$\begin{aligned} \Delta H_{R(298K)} &= (\Delta H_f C_8H_{14}O_2 + \Delta H_f H_2O) - (\Delta H_f C_4H_6O_2 + \Delta H_f C_4H_9OH) \\ &= (-422,00 - 240,56) - (-367,94 - 274,43) \\ &= -20,19 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

**b. N-Butil Metakrilat dari Metakrolein, N-Butanol dan Oksigen**

$$\begin{aligned}
 C_4H_6O_{(l)} + C_4H_9OH_{(l)} + 0,5O_2 &\rightleftharpoons C_8H_{14}O_{2(l)} + H_2O_{(l)} \\
 \Delta H_R(298K) &= (\Delta H_f C_8H_{14}O_2 + \Delta H_f H_2O) - (\Delta H_f C_4H_6O + \\
 &\quad \Delta H_f C_4H_9OH + 0,5 \Delta H_f O_2) \\
 &= (-422,00 -240,56) - (-112,00 -274,43 + (0,5 \times - \\
 &\quad 285,83)) \\
 &= -133,215 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

**c. N-Butil Metakrilat dari Metil Metakrilat dan N-Butanol**

$$\begin{aligned}
 C_5H_8O_{(l)} + C_4H_9OH_{(l)} &\rightleftharpoons C_8H_{14}O_{2(l)} + CH_3OH_{(l)} \\
 \Delta H_R(298K) &= (\Delta H_f C_8H_{14}O_2 + \Delta H_f CH_3OH) - (\Delta H_f C_5H_8O + \\
 &\quad \Delta H_f C_4H_9OH) \\
 &= (-422,00 -201,17) - (-347,36 -274,43) \\
 &= -1,38 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

**2.4 Pemilihan proses meninjau dari energi Gibbs ( $\Delta G^\circ$ )**

$\Delta G^\circ$  menunjukkan apakah suatu reaksi kimia terjadi secara spontan atau tidak. Nilai positif (+)  $\Delta G^\circ$  menunjukkan bahwa reaksi tersebut tidak dapat berlangsung secara spontan, sehingga diperlukan energi tambahan dari luar. Sedangkan  $\Delta G^\circ$  negatif (-) menunjukkan bahwa reaksi dapat berlangsung secara spontan dan memerlukan energi yang sedikit. Oleh karena itu, semakin kecil atau semakin negatif  $\Delta G^\circ$ , semakin baik reaksinya karena energi yang dibutuhkan untuk terjadi secara spontan semakin rendah.

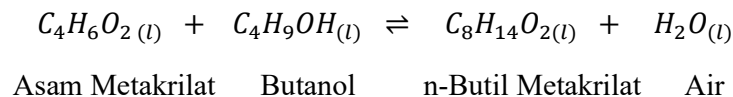
Data  $\Delta G^\circ$  pada 298K (25°C):

$$\Delta G^\circ C_4H_6O_2 = -287,72 \text{ kJ/mol} \quad (\text{Yaws, 1999})$$

$$\Delta G^\circ C_4H_9OH = -150,67 \text{ kJ/mol} \quad (\text{Yaws, 1999})$$

$\Delta G^\circ \text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2$	= -231,0 kJ/mol	(Yaws, 1999)
$\Delta G^\circ \text{H}_2\text{O}$	= -228,60 kJ/mol	(Yaws, 1999)
$\Delta G^\circ \text{C}_4\text{H}_6\text{O}$	= -57,60 kJ/mol	(Yaws, 1999)
$\Delta G^\circ \text{O}_2$	= 0	(Yaws, 1999)
$\Delta G^\circ \text{C}_5\text{H}_8\text{O}$	= -241,59 kJ/mol	(Yaws, 1999)
$\Delta G^\circ \text{CH}_3\text{OH}$	= -162,51 kJ/mol	(Smith, 2005)

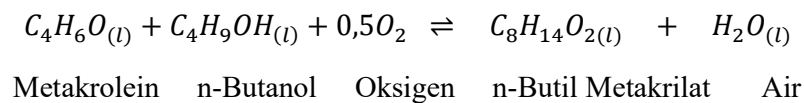
**a. N-Butil Metakrilat dari Asam Metakrilat dan N-Butanol**



$$\Delta G^\circ_{R\ 298} = \Delta G^\circ_{\text{produk}} - \Delta G^\circ_{\text{reaktan}}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ_{R\ 298} &= (\Delta G^\circ_{f\ 298} \text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2 + \Delta G^\circ_{f\ 298} \text{H}_2\text{O}) - (\Delta G^\circ_{f\ 298} \\ &\quad \text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2 + \Delta G^\circ_{f\ 298} \text{C}_4\text{H}_9\text{OH}) \\ &= (-231,0 - 228,60) - (-287,72 - 150,67) \\ &= -21,21 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

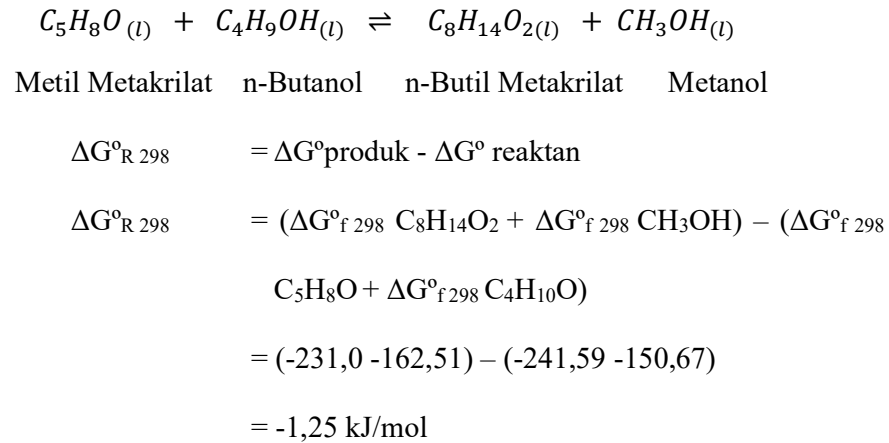
**b. N-Butil dari Metakrolein, N-Butanol, dan oksigen**



$$\Delta G^\circ_{R\ 298} = \Delta G^\circ_{\text{produk}} - \Delta G^\circ_{\text{reaktan}}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ_{R\ 298} &= (\Delta G^\circ_{f\ 298} \text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2 + \Delta G^\circ_{f\ 298} \text{H}_2\text{O}) - (\Delta G^\circ_{f\ 298} \\ &\quad \text{C}_4\text{H}_6\text{O} + \Delta G^\circ_{f\ 298} \text{C}_4\text{H}_9\text{OH} + \Delta G^\circ_{f\ 298} \text{O}_2) \\ &= (-231,0 - 228,60) - (-57,60 - 150,67 + 0) \\ &= -251,33 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

**c. N-Butil Metakrilat dari Metil Metakrilat dan N-Butanol**



**Tabel 2.3** Perbandingan proses produksi N-Butil Metakrilat

No.	Keterangan	Proses I	Proses II	Proses III
1	Bahan Baku	Asam Metakrilat dan N-Butanol	Metakrolein, N-Butanol dan Oksigen	Metil Metakrilat dan N-Butanol
2.	Konversi	98%	48,5%	75%
3.	$\Delta G^{\circ}_{R\ 298}$	-21,21	-251,33	-1,25
4.	$\Delta H_R$	-20,19	-133,215	-1,38
5.	Suhu Reaksi	115°C	80°C	110-130°C
6.	Tekanan Operasi	1 atm	5 atm	1 atm
7.	Keuntungan (Rp/Tahun)	448.178.849.405	1.139.033.999	45.814.124.276
8.	Katalis	Asam Sulfat	Paladium	Titanium, Zirconium alkoholat



Dengan mempertimbangkan ketiga jenis proses di atas, maka pada rancangan awal pabrik N-Butil Metakrilat dipilih proses dengan bahan baku Asam Metakrilat dan n-Butanol dengan beberapa pertimbangan sebagai berikut:

1. Reaksi dapat berlangsung spontan yang ditunjukkan oleh  $\Delta G^{\circ}_{R\ 298}$  lebih kecil dari nol/negatif (-) sebesar 21,21 kJ/kmol walaupun jika dibandingkan dengan proses lainnya bukanlah yang terkecil
2. Konversi proses 1 paling tinggi yaitu 98%
3. Dari segi ekonomi, proses I lebih menguntungkan dibandingkan dengan dua proses lainnya yang didasarkan oleh perhitungan ekonomi kasar, keuntungan yang didapat sebesar Rp. 448.178.849.405,-/tahun
4. Harga katalis (asam sulfat) yang digunakan pada proses I lebih murah dibandingkan Paladium dan Titanium.

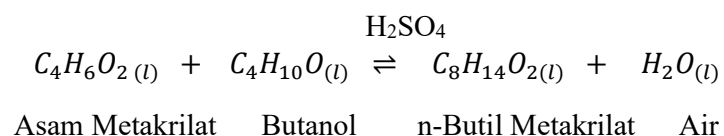
## 2.5 Uraian Proses

### 1. Unit Persiapan Bahan Baku

Asam Metakrilat dari tangki penyimpanan (ST-101) pada suhu 30°C. Asam Metakrilat dialirkan ke dalam *heat exchanger* (HE-101) untuk menaikkan suhunya menjadi 115°C yang kemudian dimasukkan ke reaktor (RE-201) melalui pompa (PP-101). Reaktan lainnya yaitu N-Butanol dan katalis Asam Sulfat dipompa masuk ke dalam reaktor dengan dipanaskan terlebih dahulu hingga suhu 115°C.

### 2. Pembentukan N-Butil Metakrilat

Reaksi yang terjadi didalam reactor adalah sebagai berikut:



Reaktor berlangsung isothermal pada suhu 115°C dan tekanan atmosferis 1 atm (US.Patent No.5386052, 1995).

Di dalam reaktor akan terjadi reaksi antara n-Butanol dan Asam Metakrilat menghasilkan n-Butil Metakrilat. reaktor yang digunakan adalah reaktor alir tangki berpengaduk (RATB).

### 3. Pemurnian Produk

Produk keluar Reaktor (RE-201) dialirkan kedalam Netralizer (NE-301) untuk menetralkan asam – asamnya seperti asam sulfat dan sisa asam metakrilat yang tidak bereaksi menggunakan larutan NaOH. Hasil keluaran dari Netralizer (NE-301) selanjutnya akan dialirkan ke dalam Dekanter (DE-401) untuk memisahkan antara fasa berat dan fasa ringan yang dihasilkan dari proses penetralan sebelumnya. Hasil atas atau fasa ringan dari Dekanter (DE-401) terdiri dari produk utama yaitu n-Butil Metakrilat dan n-Butanol sisa, dan air sedangkan hasil bawah atau fasa berat yang dihasilkan diantaranya sodium metakrilat, sodium sulfat, n-butanol, air dan produk utama yang terikut ke fasa berat. Selanjutnya, fase ester atau fasa ringan diumpankan ke dalam Menara Distilasi (MD-501) untuk dimurnikan esternya. Di dalam Menara Distilasi (MD-501) terjadi pemisahan antara N-Butil Metakrilat sebagai komponen utama hasil bawah dan N-Butanol dan air sebagai hasil atas yang di *recycle* ke reaktor (RE-201).

## BAB III

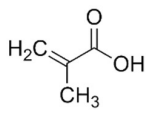
### SPEKIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK

#### 3.1. Spesifikasi Bahan Baku

a. Asam Metakrilat

Nama Lain = *2-Methylprop-2-enoic acid* (IUPAC)

Rumus Molekul = C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>

Struktur Kimia = 

Berat Molekul = 86,09 g/gmol

Titik Didih = 161,3 °C

Titik Beku = 15 °C

Suhu Kritis = 361,4 °C

Tekanan Kritis = 49,05 atm


Densitas = 1.015 kg/cm<sup>3</sup>

Viskositas = 1,43 cp

Bentuk = Cairan

Kemurnian = 99%, 1% H<sub>2</sub>O

Kelarutan dalam air = 8,9 g/L pada 50 °C

MSDS	=	
<i>Hazard statement</i>	=	<p>H302 : Berbahaya jika tertelan</p> <p>H312 : Berbahaya jika terkena kulit</p> <p>H314 : Menyebabkan kulit terbakar dan kerusakan mata</p>
<i>Precautionary</i>	=	<p>P260 : Jangan menghirup asap /gas /uap /semprotan.</p> <p>P264 : Cuci kulit yang terpapar secara menyeluruh setelah perawatan.</p> <p>P270 : Jangan makan, minum, merokok saat menggunakan produk.</p> <p>P280 : Kenakan pakaian pelindung, sarung tangan pelindung, kacamata, pelindung wajah.</p>
<i>Respons</i>	=	<p>P301+P330 : Jika tertelan : dapatkan bantuan medis.</p> <p>P301+P330 : Jika tertelan : bilas mulut. +P331</p> <p>P302+P352 : Jika terkena kulit : cuci dengan banyak air.</p> <p>P302+P361 : Jika terkena kulit : segera +P354 lepaskan semua pakaian yang terkontaminasi dan segera = cuci dengan air selama = beberapa menit.</p> <p>P304+P304 : Jika terhirup : Pindah ke tempat berudara segar dan carilah tempat yang nyaman untuk bernafas.</p>

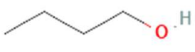
- P362+P364 : Lepaskan pakaian yang terkontaminasi dan cuci sebelum digunakan kembali.
- P405 : Simpan dalam keadaan terkunci.
- P501 : Buang isi/wadah untuk mematuhi peraturan lokal, negara bagian, dan federal.

(Pubchem)

b. Butanol

Nama Lain = 1-Butanol, n-Butanol, *Butyl Alcohol*, *n-Butyl Alcohol*

Rumus Molekul = C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O

Struktur Kimia = 

Berat Molekul = 74,12 g/mol

Titik Didih = 117,7 °C

Titik Beku = -89,8 °C

Suhu Kritis = 289 °C

Tekanan Kritis = 45 atm


Densitas = 810 kg/m<sup>3</sup>

Viskositas = 2,544 cp pada 25 °C

Bentuk = Cairan bening

Kemurnian = 99,5%, 0,05% H<sub>2</sub>O

Kelarutan dalam air = 6,35 g/L pada 50 °C

MSDS	=	
<i>Hazard statement</i>	=	H226 : Cairan dan uap mudah menyala
		H302 : Berbahaya jika tertelan
		H315 : Menyebabkan iritasi kulit
		H318 : Menyebabkan kerusakan mata yang serius
	=	H335 : Dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernafasan
	=	H336 : Dapat menyebabkan mengantuk dan pusing
<i>Precautionary</i>	=	P210 : Jauhkan dari panas/percikan/ api terbuka/permukaan yang panas. Dilarang merokok.
		P233 : Jaga wadah tertutup rapat
		P301+P312 : Jika tertelan : hubungi tenaga medis
		P303+P361 : Jika terkena kulit : lepas +P353 semua pakaian yang terkontaminasi. Bilas kulit dengan air
<i>Response</i>	=	P302+P352 : Jika terkena kulit: cuci dengan sabun dan air
		P305+P351 : Jika terkena mata : bilas +P338 dengan seksama dengan air selama beberapa menit
		P313 : Dapatkan nasehat/perhatian medis

(Pubchem dan Smart-Lab Indonesia)

## 3.2. Spesifikasi Bahan Baku Penunjang

## a. Asam Sulfat

Nama Lain = *Sulfuric acid, Dihydrogen Sulfate, Oil of Vitriol*

Rumus Molekul =  $\text{H}_2\text{SO}_4$



Berat Molekul = 98,08 g/mol

Titik Didih = 340 °C

Titik Beku = 10,36 °C

Suhu Kritis = 762,89 °C

Tekanan Kritis = 86 atm

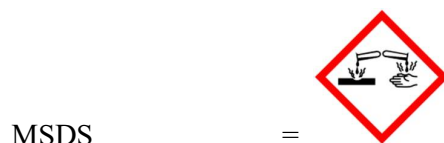
Densitas = 1.839 kg/m<sup>3</sup>

Viskositas = 2,544 cp pada 25 °C

Bentuk = Cairan

Kemurnian = 98%, 2% H<sub>2</sub>O

Kelarutan dalam air = ∞/100 g H<sub>2</sub>O



*Hazard Statement* = H290 : Dapat korosif terhadap logam  
 H314 : Menyebabkan kulit terbakar dan kerusakan mata

*Precautionary* = P260 : Jangan menghirup asap /gas /uap /semprotan.  
 P264 : Cuci kulit yang terpapar secara menyeluruh setelah penanganan.  
 P280 : Kenakan pakaian pelindung, sarung tangan pelindung, pelindung mata, pelindung wajah.

*Response* = P301+P330 : Jika tertelan : bilas mulut.  
 +P331  
 P302+P361 : Jika terkena kulit : segera  
 +P354 lepas semua pakaian yang terkontaminasi dan segera bilas dengan air selama beberapa menit.  
 P304+P340 : Jika terhirup : Pindahkan ke udara segar dan tetap nyaman untuk bernafas.  
 P305+P354 : Jika terkena mata : bilas  
 +P338 dengan air selama beberapa menit, lepas lensa kontak jika ada dan lanjut membilas.  
 P316 : Dapatkan bantuan medis darurat segera.  
 P363 : Cuci pakaian yang terkontaminasi sebelum digunakan kembali

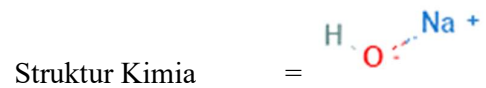
(Pubchem dan Smart-Lab Indonesia)



## b. Natrium Hidroksida (NaOH)

Nama Lain = *Sodium Hydroxide, Caustic Soda*

Rumus Molekul = NaOH



Berat Molekul = 39,99 g/mol

Titik Didih = 1.388 °C

Titik Beku = 323 °C

Densitas = 2.130 kg/m<sup>3</sup>

Viskositas = 4 cP pada 350 °C

Bentuk = Larutan

Kemurnian = 48% berat

Kelarutan dalam air = 52% H<sub>2</sub>O

MSDS =



*Hazard Statement* = H290 : Dapat korosif terhadap logam  
 H314 : Menyebabkan kulit terbakar dan kerusakan mata

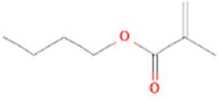
<i>Precautionary</i>	=	P260 : Jangan menghirup asap /gas /uap /semprotan.
		P264 : Cuci kulit yang terpapar secara menyeluruh setelah penanganan.
		P280 : Kenakan pakaian pelindung, sarung tangan pelindung, pelindung mata, pelindung wajah.
<i>Response</i>	=	P301+P330 : Jika tertelan : bilas mulut. +P331
		P302+P361 : Jika terkena kulit : segera +P354 lepas semua pakaian yang terkontaminasi dan segera bilas dengan air selama beberapa menit.
		P304+P340 : Jika terhirup : Pindahkan ke udara segar dan tetap nyaman untuk bernafas.
		P305+P354 : Jika terkena mata : bilas +P338 dengan air selama beberapa menit, lepas lensa kontak jika ada dan lanjut membilas.
		P363 : Cuci pakaian yang terkontaminasi sebelum digunakan kembali

### 3.3. Spesifikasi Produk

#### a. N-Butil Metakrilat

Nama Lain = *Butyl Methacrylate, 2-Methyl-butylacrylate, Methacrylic acid-butyl ester*

Rumus Molekul =  $C_8H_{14}O_2$

Struktur Kimia	=	
Berat Molekul	=	142,20 g/mol
Titik Didih	=	163 °C
Titik Beku	=	-50 °C
Densitas	=	889 kg/m <sup>3</sup>
Viskositas	=	3,116 cP pada 21 °C
Bentuk	=	Cairan
Kemurnian	=	99%, 1% C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O
Kelarutan dalam air	=	0,08 g/100g pada 50 °C

MSDS	=	
------	---	---

<i>Hazard Statement</i>	=	H226 : Cairan dan uap yang mudah terbakar
		H315 : Menyebabkan iritasi kulit
		H317 : Dapat menyebabkan reaksi alergi pada kulit
		H319 : Menyebabkan iritasi mata serius
		H335 : Dapat menyebabkan iritasi pernafasan

- Precautionary* = P210 : Jauhkan dari panas, permukaan yang panas, percikan api, sumber pengapian lainnya. Dilarang merokok
- =
- P233 : Simpan wadah tertutup rapat
- P241 : Gunakan peralatan listrik/ ventilasi/ penerangan tahan ledakan
- P242 : Hanya menggunakan alat yang tidak menimbulkan percikan api
- P243 : Lakukan tindakan pencegahan terhadap muatan listrik statis
- P261 : Hindari menghirup gas/ uap/ semprotan
- P264 : Cuci tangan segera setelah menangani
- =
- P271 : Gunakan hanya diluar ruangan atau diarea yang berventilasi baik
- P272 : Pakaian kerja yang terkontaminasi tidak boleh dikeluarkan dari tempat kerja
- P280 : Gunakan sarung tangan pelindung/pakaian pelindung/ pelindung mata/ pelindung wajah
- Respons* = P302+P352 : Jika terkena kulit : cuci dengan banyak air

- P305+P351 : Jika terkena mata : bilas  
+P338 dengan air selama beberapa  
menit
- P319 : Dapatkan bantuan medis jika  
merasa tidak sehat
- P332+P317 : Jika terjadi iritasi kulit :  
dapatkan bantuan medis
- P362+P364 : Lepaskan pakaian yang  
terkontaminasi dan cuci  
sebelum digunakan kembali
- P370+P378 : Jika terjadi kebakaran :  
gunakan alat pemadam  
kebakaran untuk  
memadamkan

## **BAB X**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **10.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisa ekonomi yang telah dilakukan terhadap n-Butil Metakrilat dengan kapasitas 25.000 ton/tahun dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. *Percent return of Investment (ROI)* sesudah pajak sebesar 30,81%
2. *Pay out time (POT)* sesudah pajak sebesar 2,162 tahun
3. *Break even point (BEP)* sebesar 37,92% dan *shut down point (SDP)* sebesar 18,61%, yakni batasan kapasitas produksi sehingga pabrik harus berhenti berproduksi karena merugi.
4. *Discounted cash flow rate of return (DCF)* sebesar 38,52% lebih besar dari suku bunga saat ini, sehingga investor akan lebih memilih untuk menanamkan modalnya ke pabrik ini daripada ke bank.

#### **10.2. Saran**

Berdasarkan pertimbangan hasil analisis ekonomi diatas, maka dapat diambil kesimpulan bahwa pabrik n-Butil Metakrilat dengan kapasitas 25.000 ton per tahun layak untuk dikaji lebih lanjut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alfa Laval, 2001. Pump Handbook, USA.
- Alibaba. 2023. [www.Alibaba.com](http://www.Alibaba.com). Diakses pada 1 Maret 2023 pukul 14.30 WIB.
- Anonim. 2023. [www.matche.com](http://www.matche.com). Diakses pada 20 September 2023 Pukul 22.15 WIB.
- Badan Pusat Statistik, 2023. Statistik Perdagangan Luar Negeri Impor dan Ekspor. Jakarta, Indonesia.
- Bank Indonesia. [www.bi.go.id](http://www.bi.go.id). Diakses pada 18 September 2023 Pukul 22.04 WIB.
- Barton. A. F. M. 2011. Solubility Sata Series for Alcohol with Water. Internatoinal Union of Pure and Applied Chemistry. Pergamon Press. School of Mathematical and Physical Sciences Murdoch University, Western Australia.
- Brown G. George. 1950. *Unit Operation 6 edition*. Willey & Sons. USA.
- Brownell and Young, 1959. Process Equipment Design. John Willey & Sons, Inc. New York.
- Carl L. Yaws, 1999. Handbook of Chemical Compound Data for Process Safety. Gulf Publishing Company. Huston, Texas.
- CEPCI. 2023. [www.chemengonline.com](http://www.chemengonline.com). Diakses pada 15 September 2023 Pukul 21.05 WIB.

- Chan. Arthur & Seider. Warren D., 2004. Batch Manufacture of Propylene Glycol. Department of Chemical and Biomolecular Engineering. University of Pennsylvania.
- Coulson J. M. and Richardson J. F., 1983. Chemical Engineering Volume 6 1<sup>st</sup> edition Fluid Flow, Heat Transfer and Mass Transfer. Butterworth-Heinemann. Washington.
- Coulson J. M. and Richardson J. F., 1989. Chemical Engineering Volume 2 5<sup>th</sup> edition Fluid Flow, Heat Transfer and Mass Transfer. Butterworth-Heinemann. Washington.
- Fogler H. Scott., 1992. Elements of Chemical Reaction Engineering 2<sup>nd</sup> edition. Butterworth-Heinemann. Washington.
- Fushun Donglian Anxin Chemical. 2023. [www.Anxinchem.com](http://www.Anxinchem.com). Diakses pada 5 Maret 2023. Pukul 17.45 WIB.
- Geankoplis, Christie J., 1993. Transport Process and Unit Operation 3<sup>th</sup> edition. Allyn & Bacon Inc. New Jersey.
- Himmelblau David, 1996. Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering 6<sup>th</sup> Edition. Prentice Hall. Inc. New Jersey.
- Kern, Donald Q., 1965. Process Heat Transfer. Mc. Graw-Hill. New York.
- LX MMA. 2023. [www.lxmma.com](http://www.lxmma.com). Diakses pada 5 Maret 2023 Pukul 19.25 WIB.
- Mc. Cabe W. L. and Smith J. C., 1985. Operasi Teknik Kimia, Erlangga. Jakarta.



- Mitshubishi Chemical Japan. 2023. [www.m-Chemical.co.jp](http://www.m-Chemical.co.jp). Diakses pada 5 Maret 2023 pukul 17.15 WIB.
- Operating Division Petrochemicals. 2017. Methacrylic acid, Technical. Ludwigshafen, Germany.
- Perry, Robert H., and Don W. Gree., 2008. Perry's Chemical Engineering Handbook 8<sup>th</sup> edition. Ms. Graw-Hill, New York.
- Powell S., 1954. Water Conditioning for Industry. Mc. Graw-Hill Book Company. New York.
- PT. Sulfindo Adiusaha. 2020. Data Keselamatan Bahan Kimia Sodium Hidroksida Liquid 48%. Serang, Banten.
- PT.Smart Lab Indonesia. 2017. Material Safety Data Sheet. Tangerang. Indonesia.
- Pubchem. 2023. [pubchem.ncbi.nlm.nih.gov](http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov). Diakses tanggal 2 Maret 2023 Pukul 13.45.
- Ronald W. Missen, Charles A. Mims and Bradley A. Saville, 1999. Introduction to Chemical Reaction Engineering and Kinetics. Department of Chemical Engineering Applied Chemistry. University of Toronto. Jhon Wiley & Sons, Inc. New York.
- Sakakura. 1995. US Patent 5.386.052. Process for Producing Acrylic or Methacrylic Esters. USA.
- Sanna, Aimaro *et al.* 2014. Energy Procedia. 64<sup>th</sup> Edition. Elsevier. Edinburgh, United Kingdom.

- Severn, W. H., Degler, H. E., & Milles, J. C., 1959. Steam, Air and Gas power, 5<sup>th</sup> edition. Jon Wiley and Sons. New York.
- Smith and Van Nes, 2005. Introduction to Chemical Engineering Chemical Process Design and Integration. John Willey and Sons. New York.
- Strehlke et al., 1975. US Patent 3.887.609. Process for The Production Of HigherAlkylacrylates and Methacrylates. USA.
- Timmerhaus et al., 1991. Plant Design and Economic for Chemical Engineering 4<sup>th</sup> edition. Mc. Geaw-Hill Book Company. New York.
- Ulrich G. D., 1984. A Guide to Chemical Engineering Process and Economics. John Willey & Sons Inc. New York.
- UNcomtrade. 2023. [www.Comtradeplus.UN.org](http://www.Comtradeplus.UN.org). Diakses pada 2 Maret 2023 pukul 11.25 WIB.
- Wallas, 1990. Chemical Process Equipment. Butterworth-Heinemann. Washington. United State of America.
- Yamaguchi et al., 2000. US Patent 6.107.515. Process for Preparing methacrylic or Acrylic Ester. USA.