

**PRARANCANGAN PABRIK *BUTYL ETHANOATE* DARI *ACETIC ACID*
DAN N-BUTANOL KAPASITAS 44.000 TON/TAHUN
(Tugas Khusus Perancangan Reaktor (RE-201))**

(SKRIPSI)

Oleh:

KHANSA ARIKAH AZALPA

1915041028



**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2024

ABSTRAK

PRARANCANGAN PABRIK *BUTYL ETHANOATE* DARI *ACETID ACID*

DAN N-BUTANOL KAPASITAS 44.000 TON/TAHUN

Tugas Khusus Perancangan Reaktor - 201 (RE-201)

Oleh

KHANSA ARIKAH AZALPA

Butil Etanoat adalah salah satu bahan kimia industri dengan kegunaan sebagai pelarut, cat, dan pelapis. Proses produksi Butil Etanoat dilakukan dengan proses esterifikasi antara asam asetat dan butanol. Kebutuhan utilitas pabrik dalam bentuk sistem pengolahan dan penyediaan air, penyediaan uap, air pendingin, dan sistem pembangkit listrik. Pabrik direncanakan dibangun di Gresik, Jawa Timur dan beroperasi dengan kapasitas produksi 44.000 ton/tahun dengan 330 hari kerja dalam 1 tahun. Tenaga kerja dibutuhkan sebanyak 147 orang, pabrik berbentuk badan usaha Perseroan Terbatas (PT) dan struktur organisasi *line and staff*.

Dari analisis ekonomi diperoleh:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp 854.318.736.854,-
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp 213.579.684.214,-
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp 1.067.898.421.068,-
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 45,38%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 27,71%
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) _b	= 2,03 tahun
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) _a	= 2,41 tahun
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) _b	= 31,36%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) _a	= 25,08%
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF)	= 32,16%

Berdasarkan paparan di atas, maka pendirian pabrik Butil Etanoat dinilai layak untuk dipertimbangkan kedepannya karena menguntungkan secara ekonomi dan memiliki masa depan yang relatif menjanjikan.

Kata kunci: esterifikasi, *line and staff*, $C_6H_{12}O_2$

ABSTRACT

DESIGN OF BUTYL ETHANOATE FACTORY FROM ACETIC ACID AND N-BUTANOL CAPACITY 44.000 TON/YEAR

Design of Reactor – 201 (RE-201)

By

KHANSA ARIKAH AZALPA

Butyl Ethanoate is one of the industrial chemicals with uses as solvents, paints, and coatings. Butyl Ethanoate production process is carried out by esterification process between acetic acid and butanol. Plant utility needs in the form of water treatment and supply systems, steam supply, cooling water, and power generation systems. The plant is planned to be built in Gresik, East Java and operate with a production capacity of 44,000 tons/year with 330 working days in 1 year. The required workforce is 147 people, the factory is established in the form of a Limited Liability Company (PT) and a line and staff organizational structure.

From the economic analysis obtained:

Fixed Capital Investment	(FCI)	= Rp 854.318.736.854,-
Working Capital Investment	(WCI)	= Rp 213.579.684.214,-
Total Capital Investment	(TCI)	= Rp 1.067.898.421.068,-
Break Even Point	(BEP)	= 45,38%
Shut Down Point	(SDP)	= 27,71%
Pay Out Time before taxes	(POT) _b	= 2,03 years
Pay Out Time after taxes	(POT) _a	= 2,41 years
Return on Investment before taxes	(ROI) _b	= 31,36%
Return on Investment after taxes	(ROI) _a	= 25,08%
Discounted cash flow	(DCF)	= 32,16%

Based on the above explanation, the establishment of a Butyl Ethanoate plant is considered feasible to consider in the future because it is economically profitable and has a relatively promising future.

Key words: esterification, line and staff, $C_6H_{12}O_2$

**PRARANCANGAN PABRIK *BUTYL ETHANOATE* DARI *ACETIC ACID*
DAN N-BUTANOL KAPASITAS 44.000 TON/TAHUN
(Tugas Khusus Perancangan Reaktor (RE-201))**

**Oleh
KHANSA ARIKAH AZALPA
1915041028**

**Skripsi
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
2024**

Judul Skripsi : **PRARANCANGAN PABRIK BUTYL ETHANOATE
DARI ACETIC ACID DAN N-BUTANOL
KAPASITAS 44.000 TON/TAHUN
(Tugas Khusus Perancangan Reaktor (RE-
201))**

Nama Mahasiswa : **Khansa Arikah Azalpa**

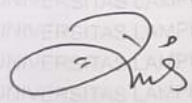
No. Pokok Mahasiswa : 1915041028

Program Studi : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik

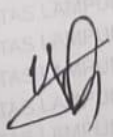


MENYETUJUI,
Komisi Pembimbing


Dr. Hertl Utami, S.T., M.T.
NIP. 197112192000032001


Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc.
NIP. 196809021997022005

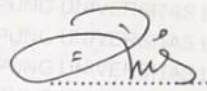
Ketua Jurusan Teknik Kimia


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

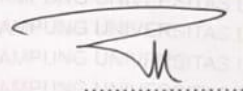
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

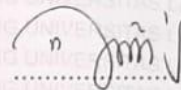
Ketua : **Dr. Herti Utami, S.T., M.T.**



Sekretaris : **Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc.**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Eng. Dewi Agustina I., S.T., M.T.**



Ir. Azhar, M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 27 Mei 2024

SURAT 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.

Bandarlampung, 27 Mei 2024



Khansa Arikah Azalpa
NPM. 1915041028

RIWAYAT HIDUP



Khansa Arikah Azalpa, Penulis Tugas Akhir ini dilahirkan di Kabupaten Cianjur, Jawa Barat pada tanggal 18 Agustus 2001, sebagai anak perrtama dari tiga bersaudara pasangan Bapak Ahmad Raden dan Ibu Dewi Diawati.

Penulis menyelesaikan Pendidikan di TK Al-Husna pada tahun 2006, Sekolah Dasar Negeri Cibusah Kota 02 pada tahun 2013, Sekolah Menegah Pertama Negeri 1 Cibusah pada tahun 2016, dan Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Cibusah pada tahun 2019.

Pada tahun 2019, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi (SBMPTN). Selama kuliah penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan antara lain sebagai Staff Hubungan Antar Lembaga Badan Koordinasi Kegiatan Mahasiswa Teknik Kimia Indonesia (BKKMTKI) daerah 1 (Lampung – Jambi) periode 2020 – 2022. Sekretaris Departemen Hubungan Luar Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (Himatemia) Fakultas Teknik periode 2021, dan Staff Hubungan Luar Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (Himatemia) Fakultas Teknik Universitas Lampung periode 2020.

Pada tahun 2022, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Puseurjaya, Kecamatan Telukjambe Timur, Kabupaten Karawang, Jawa Barat, serta melaksanakan Kerja Praktek di PT. Madubaru Padokan Tirtonirmolo PG Madukismo, Yogyakarta dengan Tugas Khusus "Evaluasi Kinerja *Juice Heater* I pada Stasiun Pemurnian". Pada tahun 2023 penulis melakukan penelitian dengan judul "Pengaruh Waktu Kontak dan Luas Permukaan Elektroda Seng (Zn) pada Metode EAPR (*Electro Assisted Phytoremediation*) Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Kelapa Sawit" di Laboratorium Mikrobiologi Teknik Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Motto dan Persembahan

Tanggungjawablah atas segala jalan yang kau pilih

”Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya...”

(QS. Al-Baqarah : 286)

”Jika kamu tidak sanggup menahan lelahnya belajar, maka kamu harus sanggup menahan perihnya kebodohan”

(Imam Syafi’i)

”Dan mudahkanlah untukku urusanku”

(QS. Thaha : 26)

”Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

(QS. Al-Insyirah : 5)

Skripsi yang baik adalah skripsi yang selesai

Sebuah Karya

Kupersembahkan dengan sepenuh hati untuk:

Allah SWT, atas izin, nikmat dan karunia-Nya, aku tetap tegar sehingga mampu menyelesaikan semua ini.

Ayah, Ibu, Adik-adik, serta seluruh Keluargaku, terimakasih atas segala doa, kasih sayang, pengorbanan, keikhlasan, kesabarannya, dan semua hal lainnya. Ini hanyalah setitik balasan yang tidak bisa dibandingkan dengan segala pengorbanan dan kasih sayang kalian selama ini.

Guru-guruku, sebagai tanda hormatku, terimakasih atas ilmu yang telah diberikan.

Diri Sendiri, terimakasih karena sudah berjuang dan terus melangkah , hingga akhirnya mampu menyelesaikan semua ini. Terimakasih karena memutuskan tidak menyerah, sesulit apapun cobaan dalam proses penyusunan tugas akhir ini.

Sahabat-sahabatku, terimakasih atas dukungan, doa, bantuan dan ketulusannya serta waktu bersama selama ini.

*Dan tak lupa kupersembahkan kepada Almamaterku
tercinta, terkhusus
Civitas Akademika Jurusan Teknik Kimia Universitas
Lampung,
terimakasih atas ilmu dan pengalaman yang telah diberikan.*

SANWACANA

Bismillahirrahmanirrahim...

Puji dan Syukur penulis haturkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul "*Prarancangan Pabrik Butyl Ethanoat dari Acetic Acid dan n-Butanol Kapasitas 44.000 Ton/Tahun (Perancangan Reaktor (RE-201))*" dengan sebaik-baiknya sebagai salah satu syarat yang harus ditempuh mahasiswa untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa selama penyusunan laporan ini banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Melalui kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Allah SWT atas karunia-Nya dalam penyelesaian tugas akhir ini.
2. Keluargaku tercinta, Ayah dan Ibu, atas doa, dukungan, pengorbanan, cinta dan kasih sayang yang tak pernah putus mengiringi setiap langkahku. Isal dan Inun yang selalu membuatku terus termotivasi untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan cepat. Serta, keluarga besarku terkasih, atas doa, dukungan, bantuan dan kasih sayangnya.
3. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung.
4. Ibu Lia Lismeri, S.T., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung dan selaku penanggungjawab mata kuliah tugas akhir.

5. Dr. Herti Utami, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I, sekaligus dosen pembimbing Kerja Praktek penulis yang selalu memberikan pengarahan, bantuan, bimbingan, kritik dan saran selama penyelesaian tugas akhir ini.
6. Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing II, sekaligus dosen Pembimbing Akademik penulis yang selalu memberikan pengarahan, bantuan, bimbingan, kritik dan saran selama penyelesaian tugas akhir ini.
7. Dr. Eng. Dewi Agustina Iryani, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan saran dan kritik selama masa pengujian hingga masa revisi.
8. Ir. Azhar, M.T., selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan saran dan kritik selama masa pengujian hingga masa revisi.
9. Alm. Bapak Edwin Azwar, S.T., PGD., M.T.A., PhD., selaku dosen Pembimbing Akademik penulis saat awal kedatangan ke jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung yang selalu memberikan arahan kepada penulis.
10. Seluruh Dosen dan Civitas Akademika Teknik Kimia Universitas Lampung, atas segala ilmu, bekal dan bantuan yang telah diberikan sebagai bekal masa depan yang bermanfaat.
11. Kanesia Natalie Yobel selaku *partner* tugas akhir saya, terimakasih atas kerja keras, semangat dan rasa rajin yang ditularkan hingga kita dapat menyelesaikan tugas akhir ini dalam kurun waktu kurang lebih 8 bulan. Terimakasih banyak Yobel sudah berjuang bersama sejauh ini, semoga segala impian yang diharapkan dapat terwujud dan sukses selalu dimanapun berada.

12. Rhandy Kusuma Wijaya yang selalu ada dan tidak pernah lelah memberikan semangat, dukungan, doa, bantuan, serta kasih sayang yang besar selama penyelesaian tugas akhir ini. Terimakasih sudah bersedia mendengar segala emosi yang penulis luapkan walau tidak begitu mengerti apa yang terjadi. Terimakasih selalu menemani langkah-langkah penulis. Terimakasih sudah berjuang dan tumbuh bersama.
13. Desra, Yobel, Faleh, Fadhil, Niki, Ikhsan (BFC) yang selalu membawa keceriaan, memberikan semangat, kasih sayang, membantu, serta menjadi sahabat yang menyenangkan selama penulis berada di Teknik Kimia Universitas Lampung. Semoga lebih banyak diberikan kebahagiaan, serta sukses selalu kemanapun langkah selanjutnya yang kalian pilih.
14. Ati Nuria Rohmah selaku *partner* penelitian penulis yang telah bersabar dan memberikan kesempatan penulis untuk mendaftar tugas akhir saat masih berlangsungnya proses penelitian. Sukses selalu dimanapun Ati berada.
15. Teman – teman satu rumahku di Lampung, Dita, Eno, Kinan, dan Miranda yang selalu memberikan semangat, membantu, dan menghibur ketika penulis sedang merasa kesulitan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
16. Teman – teman KKN JABAR 9 yang bersedia berkumpul ketika sedang penat dengan urusan akademik masing-masing. Terkhusus Dina dan Marella yang selalu memberikan semangat, serta saling menghibur ketika lelah. Sukses untuk kalian semua dimanapun kalian berada.
17. Indri, Natasya, Mega, Gilang, Alwi, dan seluruh angkatan 22-ku yang selalu memberikan semangat kepada penulis selama penyelesaian tugas akhir ini.

18. Teman – teman 9A yang masih akrab dan terus berhubungan, serta tetap saling memberi semangat selama penyelesaian tugas akhir ini.
19. Teman – teman angkatan 2019 Teknik Kimia Unila yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Terimakasih atas bantuannya selama penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
20. Himatemia FT Unila dan BKKMTKI yang telah menjadi wadah untuk mengembangkan potensi yang ada pada penulis serta memberikan banyak manfaat yang berguna hingga kemudian hari.
21. Kakak – kakak dan adik – adik tingkat di Teknik Kimia Unila yang telah membantu menyelesaikan tugas akhir ini.
22. Semua pihak yang telah membantu penyusunan tugas akhir ini.

Semoga Allah membalas semua kebaikan yang telah diberikan kepada penulis. Penulis menyadari laporan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Semoga tugas akhir ini dapat berguna bagi yang membacanya.

Bandarlampung, 27 Mei 2024

Penulis,

Khansa Arikah Azalpa
1915041028

DAFTAR ISI

COVER	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
INSIDE COVER	iv
LEMBAR PERSETUJUAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vi
SURAT PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO	ix
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI.....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xxiv
DAFTAR TABEL	xxv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Kegunaan Produk	2
1.3 Ketersediaan Bahan Baku	2
1.4 Kapasitas Rancangan.....	2
1.4.1 Data Impor Butil Etanoat di Indonesia.....	3
1.4.2 Data Ekspor Butil Etanoat di Indonesia	4
1.4.3 Data Konsumsi Butil Etanoat di Indonesia	5
1.4.4 Produksi Butil Etanoat di Indonesia	6
BAB II DESKRIPSI PROSES	
2.1 Macam-Macam Proses Pembuatan Butil Etanoat	8

2.1.1	Pembuatan Butil Etanoat dari Metil Asetat dan Butanol	8
2.1.2	Pembuatan Butil Etanoat dari Etil Asetat dan Butanol	8
2.1.3	Pembuatan Butil Etanoat dari Asam Asetat dan Butanol.....	9
2.2	Pemilihan Proses	9
2.2.1	Perhitungan Ekonomi Kasar dari Bahan Baku yang Dibutuhkan	10
2.2.2	Enthalpi Reaksi.....	18
2.2.3	Pemilihan Proses Meninjau dari Energi Gibbs (ΔG°).....	21
2.3	Konstanta Keseimbangan Reaksi.....	25
2.4	Tinjauan Kinetika	26
2.5	Uraian Singkat Proses.....	27

BAB III SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK

3.1.	Spesifikasi Bahan Baku Utama.....	31
3.2.	Spesifikasi Bahan Baku Penunjang.....	34
3.3.	Spesifikasi Produk.....	36

BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS

4.1.	Neraca Massa.....	38
4.1.1.	<i>Heater</i> (HE-201).....	38
4.1.2.	Heater (HE-202)	Error! Bookmark not defined.
4.1.3.	Heater (HE-203)	Error! Bookmark not defined.
4.1.4.	Heater (HE-204)	39
4.1.5.	Mixed Point (MP-101)	39
4.1.6.	Reaktor (RE-201)	Error! Bookmark not defined.
4.1.7.	Cooler (CO-201).....	40
4.1.8.	Neutralizer (NE-201).....	40
4.1.9.	Decanter (DC-301)	41

4.1.10. Cooler (CO-202).....	41
4.1.11. Heater (HE-205)	41
4.1.12. Menara Distilasi (MD-301)	42
4.1.13. Reboiler (RB-301).....	42
4.1.14. Cooler (CO-203).....	42
4.1.15. Condensor (CD-301)	43
4.1.16. Accumulator (ACC-301).....	43
4.1.17. Cooler (CO-204).....	43
4.2. Neraca Panas	44
4.2.1. <i>Heater</i> (HE-201).....	44
4.2.2. <i>Heater</i> (HE-202).....	44
4.2.3. <i>Heater</i> (HE-203).....	44
4.2.4. <i>Heater</i> (HE-204).....	45
4.2.5. Reaktor (RE-201)	45
4.2.6. <i>Cooler</i> (CO-201)	45
4.2.7. <i>Neutralizer</i> (NE-201)	46
4.2.8. <i>Decanter</i> (DC-301).....	46
4.2.9. <i>Cooler</i> (CO-202)	46
4.2.10. <i>Heater</i> (HE-205).....	47
4.2.11. <i>Menara Distilasi</i> (MD-301)	47
4.2.12. <i>Cooler</i> (CO-203)	48
4.2.13. <i>Cooler</i> (CO-204)	48

BAB V SPESIFIKASI PERALATAN PROSES DAN UTILITAS

5.1. Peralatan Proses	49
5.1.1. <i>Storage Tank</i> CH ₃ COOH (ST-101).....	49
5.1.2. <i>Storage Tank</i> C ₄ H ₉ OH (ST-102).....	50

5.1.3. <i>Storage Tank</i> H ₂ SO ₄ (ST-103)	50
5.1.4. <i>Storage Tank</i> NaOH (ST-104)	51
5.1.5. <i>Storage Tank</i> C ₆ H ₁₂ O ₂ (ST-105)	51
5.1.6. <i>Reaktor</i> (RE-201)	52
5.1.7. <i>Netralizer</i> (NE-201).....	53
5.1.8. <i>Decanter</i> (DC-301).....	54
5.1.9. <i>Menara Distilasi</i> (MD-301).....	54
5.1.10. <i>Condensor</i> (CD-301).....	55
5.1.11. <i>Reboiler</i> (RB-301).....	55
5.1.12. <i>Accumulator</i> (ACC-301)	56
5.1.13. <i>Heater</i> (HE-201).....	57
5.1.14. <i>Heater</i> (HE-202).....	57
5.1.15. <i>Heater</i> (HE-203).....	58
5.1.16. <i>Heater</i> (HE-204).....	58
5.1.17. <i>Heater</i> (HE-205).....	59
5.1.18. <i>Cooler</i> (CO-201)	60
5.1.19. <i>Cooler</i> (CO-202)	60
5.1.20. <i>Cooler</i> (CO-203)	61
5.1.21. <i>Cooler</i> (CO-204)	62
5.1.22. <i>Pompa Proses</i> (PP-101)	62
5.1.23. <i>Pompa Proses</i> (PP-102)	63
5.1.24. <i>Pompa Proses</i> (PP-103)	63
5.1.25. <i>Pompa Proses</i> (PP-104)	64
5.1.26. <i>Pompa Proses</i> (PP-105)	65
5.1.27. <i>Pompa Proses</i> (PP-106)	65
5.1.28. <i>Pompa Proses</i> (PP-107)	66

5.1.29. Pompa Proses (PP-108)	66
5.1.30. Pompa Proses (PP-109)	67
5.1.31. Pompa Proses (PP-110)	67
5.2. Peralatan Utilitas.....	68
5.2.1. Bak Sedimentasi (BS-401)	68
5.2.2. Tangki Alum (ST-401)	68
5.2.3. Tangki Kaporit (ST-402)	69
5.2.4. Tangki Soda Kaustik (ST-403).....	70
5.2.5. <i>Clarifier</i> (CL-401)	70
5.2.6. <i>Sand Filter</i> (SF-401)	71
5.2.7. Tangki Air Filter (ST-404)	72
5.2.8. <i>Hot Basin</i> (HB-401)	72
5.2.9. Tangki Asam Sulfat (ST-405)	73
5.2.10. Tangki Inhibitor (ST-406)	73
5.2.11. Tangki Dispersan (ST-407)	74
5.2.12. <i>Cooling Tower</i> (CT-401).....	75
5.2.13. <i>Cold Basin</i> (CB-401).....	75
5.2.14. <i>Cation Exchanger</i> (CE-401).....	76
5.2.15. <i>Anion Exchanger</i> (AE-401).....	76
5.2.16. Tangki <i>Demin Water</i> (ST-408).....	77
5.2.17. Tangki Hidrazin (ST-409)	77
5.2.18. <i>Deaerator</i> (DE-401)	78
5.2.19. <i>Boiler</i> (BO-401)	79
5.2.20. Tangki Bahan Bakar (ST-410)	79
5.2.21. <i>Blower Steam</i> (BST-401)	80
5.2.22. Generator Listrik (GS-401)	80

5.2.23. <i>Air Compressor</i> (AC-401).....	81
5.2.24. Pompa Utilitas (PU-401).....	81
5.2.25. Pompa Utilitas (PU-402).....	82
5.2.26. Pompa Utilitas (PU-403).....	82
5.2.27. Pompa Utilitas (PU-404).....	83
5.2.28. Pompa Utilitas (PU-405).....	83
5.2.29. Pompa Utilitas (PU-406).....	84
5.2.30. Pompa Utilitas (PU-407).....	84
5.2.31. Pompa Utilitas (PU-408).....	85
5.2.32. Pompa Utilitas (PU-409).....	86
5.2.33. Pompa Utilitas (PU-410).....	86
5.2.34. Pompa Utilitas (PU-411).....	87
5.2.35. Pompa Utilitas (PU-412).....	87
5.2.36. Pompa Utilitas (PU-413).....	88
5.2.37. Pompa Utilitas (PU-414).....	88
5.2.38. Pompa Utilitas (PU-415).....	89
5.2.39. Pompa Utilitas (PU-416).....	89
5.2.40. Pompa Utilitas (PU-417).....	90
5.2.41. Pompa Utilitas (PU-418).....	91
5.2.42. Pompa Utilitas (PU-419).....	91
5.2.43. Pompa Utilitas (PU-420).....	92
5.2.44. Pompa Utilitas (PU-421).....	92
5.2.45. Pompa Utilitas (PU-422).....	93
5.2.46. Bak Penampung Limbah (L-401).....	93

BAB VI UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH

6.1. Unit Penyediaan Air.....	95
--------------------------------------	-----------

6.2. Unit Penyediaan <i>Steam</i>	112
6.3. Unit Penyedia Tenaga Listrik	113
6.4. Unit Penyedia Udara Tekan	118
6.5. Unit Penyedia Bahan Bakar	118
6.6. Unit Pengolahan Limbah.....	119
6.7. Laboratorium	120
6.8. Instrumen dan Pengendalian Proses	123

BAB VII TATA LETAK DAN LOKASI PABRIK

7.1. Lokasi Pabrik	126
7.2. Tata Letak Pabrik	129
7.3. Estimasi Area Pabrik	132

BAB VIII MANAGEMEN DAN ORGANISASI

8.1. Bentuk Perusahaan	138
8.2. Struktur Organisasi Perusahaan	141
8.3. Tugas dan Wewenang	144
8.4. Kepala Bagian.....	146
8.5. Kepala Seksi.....	150
8.6. Status Karyawan dan Sistem Penggajian	151
8.7. Pembagian Jam Kerja Karyawan	152
8.7.1. Karyawan Reguler	152
8.7.2. Karyawan <i>Shift</i>	153
8.8. Pembagian Jam Kerja Karyawan	155
8.8.1. Penggolongan Jabatan	155
8.8.2. Perincian Jumlah Karyawan	156
8.9. Kesejahteraan Karyawan	159
8.10. Kesehatan dan Keselamatan Kerja	160

BAB IX INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI

9.1. Investasi.....	163
9.2. Evaluasi Ekonomi.....	168
9.3. Angsuran Pinjaman	171
9.4. Penentuan Tingkat Risiko Pabrik	171

BAB X SIMPULAN DAN SARAN

10.1. Simpulan	173
10.2. Saran.....	174

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A

LAMPIRAN B

LAMPIRAN C

LAMPIRAN D

LAMPIRAN E

LAMPIRAN F

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Grafik Impor Butil Etanoat.....	3
Gambar 1.2. Grafik Ekspor Butil Etanoat	5
Gambar 1.3. Grafik Konsumsi Butil Etanoat	6
Gambar 2.1. Diagram Alir Pembuatan Butil Etanoat.....	30
Gambar 6.1. <i>Cooling Tower</i>	100
Gambar 6.2. Diagram <i>Cooling Water System</i>	101
Gambar 6.3. Diagram Alir Pengolahan Air.....	104
Gambar 7.1. Peta Provinsi Jawa Timur	134
Gambar 7.2. Peta Kabupaten Gresik	134
Gambar 7.3. Area Sungai Bengawan Solo	135
Gambar 7.4. Tata Letak Peralatan Proses.....	135
Gambar 7.5. Tata Letak Pabrik dan Fasilitas Pendukung.....	136
Gambar 8.1. Struktur Organisasi Perusahaan.....	143
Gambar 9.1. Grafik Analisa Ekonomi.....	170
Gambar 9.2. Kurva <i>Cummulative Cash Flow</i>	171

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1.	Data Statistik Impor Butil Etanoat	3
Tabel 1.2.	Data Statistik Ekspor Butil Etanoat.....	4
Tabel 1.3.	Data Konsumsi Butil Etanoat di Indonesia	6
Tabel 2.1.	Harga Bahan Baku dan Produk Proses I	10
Tabel 2.2.	Harga Bahan Baku dan Produk Proses II	13
Tabel 2.3.	Harga Bahan Baku dan Produk Proses III.....	16
Tabel 2.4.	$\Delta H^{\circ}F$ dari Setiap Komponen pada Suhu 298,15°K	19
Tabel 2.5.	$\Delta H^{\circ}F$ dari Setiap Komponen pada Suhu 298,15°K	20
Tabel 2.6.	$\Delta H^{\circ}F$ dari Setiap Komponen pada Suhu 298,15°K	20
Tabel 2.7.	Harga Energi <i>Gibbs</i> Bahan Baku dan Produk Proses I	22
Tabel 2.8.	Harga Energi <i>Gibbs</i> Bahan Baku dan Produk Proses II.....	22
Tabel 2.9.	Harga Energi <i>Gibbs</i> Bahan Baku dan Produk Proses III	23
Tabel 2.10.	Perbandingan Proses Produksi Butil Etanoat	24
Tabel 4.1.	Neraca Massa <i>Heater</i> (HE-201).....	38
Tabel 4.2.	Neraca Massa <i>Heater</i> (HE-202).....	38
Tabel 4.3.	Neraca Massa <i>Heater</i> (HE-203).....	38
Tabel 4.4.	Neraca Massa <i>Heater</i> (HE-204).....	39
Tabel 4.5.	Neraca Massa <i>Mixed Point</i> (MP-101).....	39
Tabel 4.6.	Neraca Massa Reaktor (RE-201).....	39
Tabel 4.7.	Neraca Massa <i>Cooler</i> (CO-201).....	40
Tabel 4.8.	Neraca Massa <i>Neutralizer</i> (NE-201).....	40
Tabel 4.9.	Neraca Massa <i>Decanter</i> (DC-301).....	41

Tabel 4.10. Neraca Massa <i>Cooler</i> (CO-202).....	41
Tabel 4.11. Neraca Massa <i>Heater</i> (HE-205).....	41
Tabel 4.12. Neraca Massa Menara Distilasi (MD-301)	42
Tabel 4.13. Neraca Massa <i>Reboiler</i> (RB-301)	42
Tabel 4.14. Neraca Massa <i>Cooler</i> (CO-203).....	42
Tabel 4.15. Neraca Massa <i>Condensor</i> (CD-301)	43
Tabel 4.16. Neraca Massa <i>Accumulator</i> (ACC-301).....	43
Tabel 4.17. Neraca Massa <i>Cooler</i> (CO-204).....	43
Tabel 4.18. Neraca Panas <i>Heater</i> (HE-201).....	44
Tabel 4.19. Neraca Panas <i>Heater</i> (HE-202).....	44
Tabel 4.20. Neraca Panas <i>Heater</i> (HE-203).....	44
Tabel 4.21. Neraca Panas <i>Heater</i> (HE-204).....	45
Tabel 4.22. Neraca Panas Reaktor (RE-201).....	45
Tabel 4.23. Neraca Panas <i>Cooler</i> (CO-201).....	45
Tabel 4.24. Neraca Panas <i>Neutralizer</i> (NE-201).....	46
Tabel 4.25. Neraca Panas <i>Decanter</i> (DC-301).....	46
Tabel 4.26. Neraca Panas <i>Cooler</i> (CO-202).....	46
Tabel 4.27. Neraca Panas <i>Heater</i> (HE-205).....	47
Tabel 4.28. Neraca Panas Menara Distilasi (MD-301)	47
Tabel 4.29. Neraca Panas <i>Cooler</i> (CO-203).....	48
Tabel 4.30. Neraca Panas <i>Cooler</i> (CO-204).....	48
Tabel 5.1. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> CH ₃ COOH (ST-101).....	49
Tabel 5.2. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> C ₄ H ₉ OH (ST-102).....	50
Tabel 5.3. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> H ₂ SO ₄ (ST-103)	50

Tabel 5.4. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> NaOH (ST-104).....	51
Tabel 5.5. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> C ₆ H ₁₂ O ₂ (ST-105)	51
Tabel 5.6. Spesifikasi Reaktor (RE-201)	52
Tabel 5.7. Spesifikasi Netralizer (NE-201)	53
Tabel 5.8. Spesifikasi <i>Decanter</i> (DC-301).....	54
Tabel 5.9. Menara Distilasi (MD-301).....	54
Tabel 5.10. Spesifikasi <i>Condensor</i> (CD-301)	55
Tabel 5.11. Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-301)	55
Tabel 5.12. Spesifikasi <i>Accumulator</i> (ACC-301)	56
Tabel 5.13. Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-201)	57
Tabel 5.14. Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-202)	57
Tabel 5.15. Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-203)	58
Tabel 5.16. Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-204)	58
Tabel 5.17. Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-205)	59
Tabel 5.18. Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-201).....	60
Tabel 5.19. Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-202).....	60
Tabel 5.20. Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-203).....	61
Tabel 5.21. Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-204).....	62
Tabel 5.22. Spesifikasi Pompa Proses (PP-101)	62
Tabel 5.23. Spesifikasi Pompa Proses (PP-102)	63
Tabel 5.24. Spesifikasi Pompa Proses (PP-103)	63
Tabel 5.25. Spesifikasi Pompa Proses (PP-104)	64
Tabel 5.26. Spesifikasi Pompa Proses (PP-105)	65
Tabel 5.27. Spesifikasi Pompa Proses (PP-106)	65

Tabel 5.28. Spesifikasi Pompa Proses (PP-107)	66
Tabel 5.29. Spesifikasi Pompa Proses (PP-108)	66
Tabel 5.30. Spesifikasi Pompa Proses (PP-109)	67
Tabel 5.31. Spesifikasi Pompa Proses (PP-110)	67
Tabel 5.32. Spesifikasi Bak Sedimentasi (BS-401).....	68
Tabel 5.33. Spesifikasi Tangki Alum (ST-401)	68
Tabel 5.34. Spesifikasi Tangki Kaporit (ST-402)	69
Tabel 5.35. Spesifikasi Tangki Soda Kaustik (ST-403).....	70
Tabel 5.36. Spesifikasi <i>Clraifier</i> (CL-401)	70
Tabel 5.37. Spesifikasi <i>Sand Filter</i> (SF-401).....	71
Tabel 5.38. Spesifikasi Tangki Air Filter (ST-404)	72
Tabel 5.39. Spesifikasi <i>Hot Basin</i> (HB-401).....	72
Tabel 5.40. Spesifikasi Tangki Asam Sulfat (ST-405)	73
Tabel 5.41. Spesifikasi Tangki Inhibitor (ST-406)	73
Tabel 5.42. Spesifikasi Tangki Dispersan (ST-407)	74
Tabel 5.43. Spesifikasi <i>Cooling Tower</i> (CT-401)	75
Tabel 5.44. Spesifikasi <i>Cold Basin</i> (CB-401)	75
Tabel 5.45. Spesifikasi <i>Cation Exchanger</i> (CE-401).....	76
Tabel 5.46. Spesifikasi <i>Anion Exchanger</i> (AE-401)	76
Tabel 5.47. Spesifikasi Tangki Air Kondensat (ST-408).....	77
Tabel 5.48. Spesifikasi Tangki Hidrazin (ST-409)	77
Tabel 5.49. Spesifikasi <i>Deaerator</i> (DE-401)	78
Tabel 5.50. Spesifikasi <i>Boiler</i> (BO-401).....	79
Tabel 5.51. Spesifikasi Tangki Bahan Bakar (ST-410).....	79

Tabel 5.52. Spesifikasi <i>Blower Steam</i> (BST-401).....	80
Tabel 5.53. Spesifikasi Generator (GS-401)	80
Tabel 5.54. Spesifikasi <i>Air Compressor</i> (AC-401)	81
Tabel 5.55. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-401)	81
Tabel 5.56. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-402)	82
Tabel 5.57. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-403)	82
Tabel 5.58. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-404)	83
Tabel 5.59. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-405)	83
Tabel 5.60. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-406)	84
Tabel 5.61. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-407)	84
Tabel 5.62. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-408)	85
Tabel 5.63. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-409)	86
Tabel 5.64. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-410)	86
Tabel 5.65. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-411)	87
Tabel 5.66. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-412)	87
Tabel 5.67. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-413)	88
Tabel 5.68. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-414)	88
Tabel 5.69. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-415)	89
Tabel 5.70. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-416)	89
Tabel 5.71. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-417)	90
Tabel 5.72. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-418)	91
Tabel 5.73. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-419)	91
Tabel 5.74. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-420)	92
Tabel 5.75. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-421)	92

Tabel 5.76. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-422)	93
Tabel 5.77. Spesifikasi Bak Penampung Limbah (L-401)	93
Tabel 6.1. Persyaratan Kualitas Air Pendingin	97
Tabel 6.2. Kebutuhan Air Pendingin.....	98
Tabel 6.3. Kebutuhan Air Umpan Boiler	101
Tabel 6.4. Kebutuhan Air Pabrik.....	103
Tabel 6.5. Kebutuhan Air Pemadam Kebakaran	111
Tabel 6.6. Kebutuhan Penerangan Area Bangunan.....	113
Tabel 6.7. Kebutuhan Penerangan Area Luar Bangunan	114
Tabel 6.8. Kebutuhan Listrik untuk Alat Proses	116
Tabel 6.9. Kebutuhan Listrik untuk Alat Utilitas	116
Tabel 6.10. Tingkatkan Kebutuhan Informasi dan Sistem Pengendalian	124
Tabel 6.11. Pengendalian Variabel Utama Proses.....	125
Tabel 7.1. Perincian Luas Area Pabrik Butil Etanoat.....	132
Tabel 8.1. Jadwal Kerja Masing-Masing Regu	154
Tabel 8.2. Perincian Tingkat Pendidikan	155
Tabel 8.3. Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat	156
Tabel 8.4. Jumlah Karyawan Berdasarkan Jabatan	157
Tabel 9.1. <i>Fixed Capital Investment (FCI)</i>	164
Tabel 9.2. <i>Manufacturing Cost</i>	165
Tabel 9.3. <i>General Expenses</i>	166
Tabel 9.4. Biaya Administrasi	167
Tabel 9.5. <i>Minimum Acceptable Percent Return on Investment</i>	168
Tabel 9.6. <i>Minimum Acceptable Year Pay Out Time</i>	169

Tabel 9.7. Hasil Uji Kelayakan Ekonomi	172
---	-----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya kebutuhan bahan kimia di Indonesia dari tahun ke tahunnya tidak bersamaan dengan peningkatan produksi bahan kimia dalam negeri. Sampai saat ini, di Indonesia masih melakukan impor dari negara-negara lain untuk memenuhi kebutuhan bahan kimia dalam negeri. Jika hal ini dibiarkan saja, maka kuantitas impor ini akan terus meningkat setiap tahunnya. Produksi butil etanoat di Indonesia merupakan salah satu industri kimia yang kebutuhannya masih belum dapat dipenuhi. Butil etanoat adalah cairan tidak berwarna dengan rumus kimia $C_6H_{12}O_2$, yang memiliki sifat mudah terbakar dengan titik didih $126^{\circ}C$. Kebutuhan butil etanoat di Indonesia terus meningkat setiap tahunnya dan untuk memenuhi kebutuhan tersebut masih harus diimpor dari luar negeri, seperti Jerman, Hongkong, Taiwan, dan Singapura.

Langkah yang perlu dilakukan oleh Indonesia supaya dapat memenuhi kebutuhan butil etanoat adalah dengan mendirikan pabrik butil etanoat untuk memenuhi kebutuhan konsumsinya. Saat ini di Indonesia, produksi butil etanoat satu-satunya diketahui hanya diproduksi oleh PT Continental Solvindo. Maka dari itu, pendirian pabrik butil etanoat sangat menjanjikan karena dapat

mengurangi jumlah impor butil etanoat di Indonesia dikarenakan pasar produk ini besar, serta dapat memenuhi kebutuhan butil etanoat dalam negeri.

1.2 Kegunaan Produk

Aplikasi penggunaan butil etanoat sangat luas dan memiliki kegunaan sebagai pelarut di berbagai industri seperti cat, tekstil dan plastik. Butil etanoat juga digunakan sebagai pelarut ekstraksi untuk berbagai jenis minyak dan obat-obatan, serta digunakan sebagai bahan parfum dan sebagai penyedap sintetik seperti pisang, aprikot, nanas, *raspberry* dan delima (Mc. Ketta, 1978).

1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam produksi Butil Etanoat adalah bahan baku yang diproduksi di dalam negeri:

1. Asam asetat (CH_3COOH) dipasok dari PT Indo Acidatama Chemical Industri di Surakarta (Kapasitas produksi 36.600 ton/tahun).
2. Butanol ($\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$) diperoleh dari PT Petro Oxo Nusantara di Gresik (Kapasitas produksi 183.000 ton/tahun).
3. Asam sulfat (H_2SO_4) diperoleh dari PT Petrokimia Gresik di Gresik (Kapasitas produksi 1.170.000 ton/tahun).
4. Natrium hidroksida (NaOH) diperoleh dari PT Tjiwi Kimia di Sidoarjo (Kapasitas produksi 65.000 ton/tahun).

1.4 Kapasitas Rancangan

Beberapa faktor harus dipertimbangkan ketika menentukan kapasitas rancangan, antara lain:

- Jumlah konsumsi produk yang akan dihasilkan.
- *Supply* bahan baku yang akan digunakan.
- Penentuan kapasitas desain pabrik digunakan untuk menetapkan kapasitas yang dibutuhkan untuk memenuhi permintaan domestik.
- Kapasitas produksi pabrik-pabrik yang telah beroperasi.

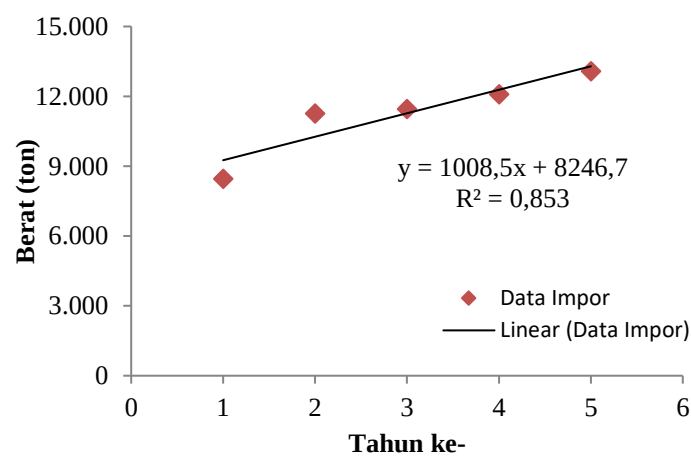
1.4.1 Data Impor Butil Etanoat di Indonesia

Berikut adalah data Badan Pusat Statistik dari tahun 2018 hingga 2022 untuk memenuhi kebutuhan butil etanoat di Indonesia dengan melakukan proses impor yang dapat dilihat pada Tabel 1.1. dan Gambar 1.1.

Tabel 1.1. Data Statistik Impor Butil Etanoat

Tahun	Impor Butil Etanoat (ton)
2018	8.457
2019	11.267
2020	11.455
2021	12.098
2022	13.084

Sumber: BPS, 2023.



Gambar 1.1. Grafik Impor Butil Etanoat

Pada sumbu x terdapat tahun ke-, yang artinya:

Tahun ke-1 = 2018

Tahun ke-2 = 2019

Tahun ke-3 = 2020

Tahun ke-4 = 2021

Dan seterusnya...

Sampai dengan tahun 2028. Kebutuhan butil etanoat dapat diprediksi dari grafik yang disajikan diatas, didapatkan Persamaan (1.1) sebagai berikut:

$$y = 1008,5 x + 8246,7 \quad (1.1)$$

$$y = 1008,5(11) + 8246,7$$

$$y = 19.340$$

Dari Tabel 1.1. terlihat bahwa impor butil etanoat ke Indonesia semakin meningkat, yang menandakan bahwa produksi butil etanoat di Indonesia masih kurang dan masih diimpor dari negara lain. Diketahui bahwa nilai y yang didapatkan sebesar 19.340 ton.

1.4.2 Data Ekspor Butil Etanoat di Indonesia

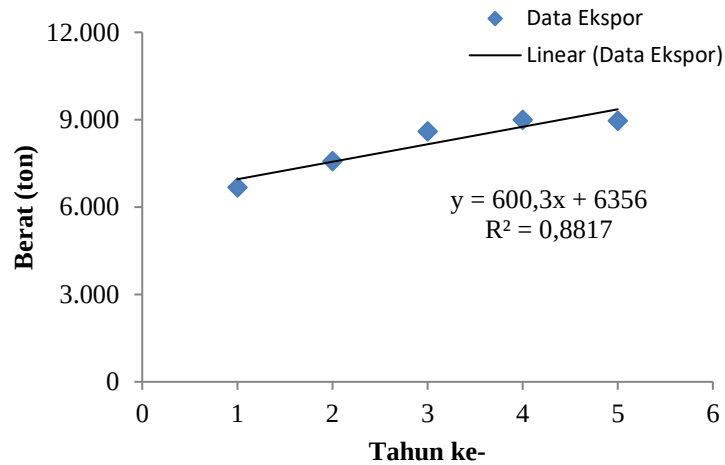
Berikut adalah data Badan Pusat Statistik dari tahun 2018 hingga 2022 untuk ekspor butil etanoat yang dilakukan Indonesia pada Tabel 1.2. dan Gambar 1.2.

Tabel 1.2. Data Statistik Ekspor Butil Etanoat

Tahun	Ekspor Butil Etanoat (ton)
2018	6.670
2019	7.570
2020	8.593

Tahun	Ekspor Butil Etanoat (ton)
2021	8.990
2022	8.962

Sumber: BPS, 2023.



Gambar 1.2. Grafik Ekspor Butil Etanoat

Dari grafik tersebut didapatkan Persamaan (1.2) sebagai berikut:

$$y = 600,3x + 6356 \quad (1.2)$$

$$y = 600,3(11) + 6356$$

$$y = 12.959,3$$

Pada Tabel 1.2. terlihat bahwa ekspor butil etanoat yang dilakukan Indonesia mengalami kenaikan yang disebabkan karena dibutuhkannya butil etanoat dalam sebagai bahan baku industri. Maka, dari persamaan tersebut didapatkan nilai y sebesar 12.959,3 ton.

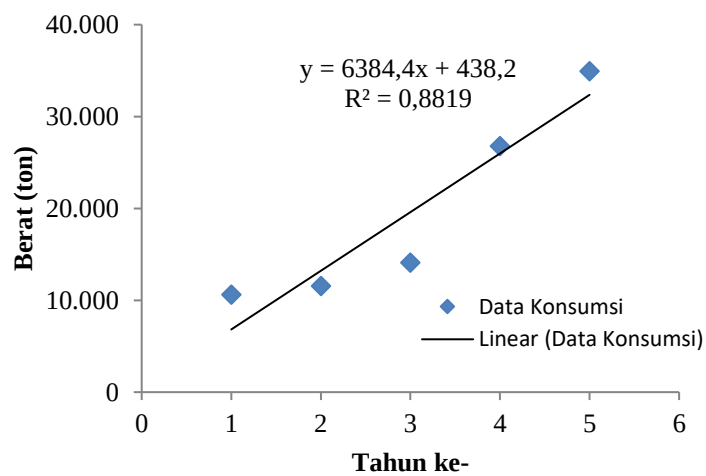
1.4.3 Data Konsumsi Butil Etanoat di Indonesia

Data konsumsi dalam negeri diperoleh dari Statistik Manufaktur Industri Produksi dapat dilihat pada Tabel 1.3. dan Gambar 1.3.

Tabel 1.3. Data Konsumsi Butil Etanoat di Indonesia

Tahun	Konsumsi Butil Etanoat (ton)
2018	10.620
2019	11.541
2020	14.098
2021	26.771
2022	34.927

Sumber: BPS, 2023.

**Gambar 1.3.** Grafik Konsumsi Butil Etanoat

Dari grafik tersebut didapatkan Persamaan (1.3) sebagai berikut:

$$y = 6384,4x + 438,2 \quad (1.3)$$

$$y = 6384,4(11) + 438,2$$

$$y = 70.666,6$$

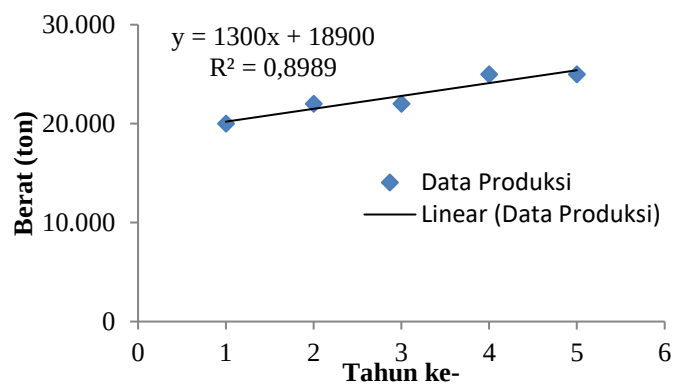
Maka, didapatkan nilai y dari persamaan tersebut sebesar 70.666,6 ton.

1.4.4 Produksi Butil Etanoat di Indonesia

Di Indonesia, pabrik yang memproduksi Butil Etanoat hanya terdapat di Indonesia Mega Prima Solvindo dengan besarnya kapasitas yang dapat dilihat pada Tabel 1.4. dan Gambar 1.4.

Tabel 1.4. Data Produksi Butil Etanoat di Indonesia

Tahun	Produksi Butil Etanoat (ton)
2018	20.000
2019	22.000
2020	22.000
2021	25.000
2022	25.000

**Gambar 1.4.** Grafik Konsumsi Butil Etanoat

Dari grafik tersebut didapatkan persamaan (1.4) sebagai berikut:

$$y = 1300x + 18900 \quad (1.4)$$

$$y = 1300(11) + 18900$$

$$y = 33.200$$

Maka, didapatkan nilai y dari persamaan tersebut sebesar 33.200 ton.

Tabel 1.3. Berdasarkan data impor, ekspor, konsumsi dan produksi Butil Etanoat, potensi kapasitas pabrik Butil Etanoat yang akan dibangun pada tahun 2028 dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (1.4) berikut:

$$\text{Peluang} = \text{Demand} - \text{Supply} \quad (1.4)$$

$$\begin{aligned} \text{Peluang} &= (\text{Ekspor} + \text{Konsumsi}) - (\text{Impor} + \text{Produksi}) \\ &= (12.595,3 + 82.790,2) - (19.340 + 33.200) \\ &= 43.209,3 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

Maka, berdasarkan hasil perhitungan, kapasitas rancangan pabrik Butil Etanoat yang akan didirikan pada tahun 2028 yaitu sebesar 44.000 ton/tahun. Sisa produksi dapat diekspor ke negara ASEAN ataupun negara lain yang membutuhkan Butil Etanoat.

Berdasarkan perhitungan diatas, kapasitas produksi pabrik butil etanoat direncanakan sebesar 44.000 ton/tahun, dengan mempertimbangkan beberapa hal sebagai berikut:

- a. Kebutuhan butil etanoat dalam negeri Indonesia dapat terpenuhi.
- b. Mendorong berdirinya industri kimia lain yang menggunakan butil etanoat sebagai bahan baku atau bahan penolong.
- c. Menyediakan lapangan pekerjaan bagi penduduk yang tinggal di sekitar kawasan industri yang akan didirikan.
- d. Menambah devisa negara.

BAB II

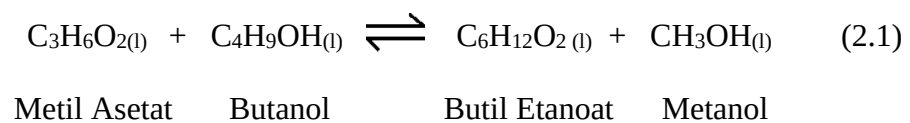
TINJAUAN PROSES

2.1 Macam-Macam Proses Pembuatan Butil Etanoat

Ada beberapa macam proses pembuatan Butil Etanoat, yaitu:

2.1.1 Pembuatan Butil Etanoat dari Metil Asetat dan Butanol

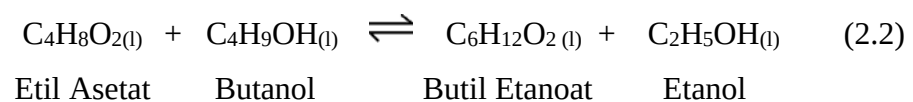
Reaksi pembuatan butil etanoat dari bahan baku metil asetat dan butanol dapat dilihat pada Persamaan (2.1) berikut:



Dalam proses ini terjadi transesterifikasi antara metil asetat dan n-butanol menggunakan katalis Amberlyst 15 yang beroperasi pada suhu 93°C. Konversi mencapai 42% ketika rasio mol antara reaktan adalah 1:1 (Sancheti dkk., 2015). Namun, katalis yang digunakan yaitu Amberlyst 15 memiliki harga yang mahal dan sulit untuk diperoleh.

2.1.2 Pembuatan Butil Etanoat dari Etil Asetat dan Butanol

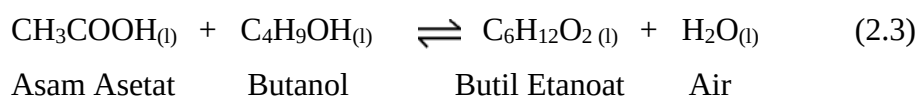
Reaksi pembuatan butil etanoat dari bahan baku etil asetat dan butanol dapat dilihat pada Persamaan (2.2) berikut:



Pada proses ini terjadi reaksi transesterifikasi terjadi antara etil asetat dan butanol menggunakan katalis boron pada suhu 115°C. Dengan perbandingan mol reaktan 1:6, konversi reaksi mencapai 75% (Bokade, 2016). Namun, katalis yang digunakan yaitu katalis boron memiliki harga yang mahal.

2.1.3 Pembuatan Butil Etanoat dari Asam Asetat dan Butanol

Reaksi pembuatan butil etanoat dari bahan baku asam asetat dan butanol dapat dilihat pada Persamaan (2.3) berikut:



Produk butil etanoat yang diproduksi dengan reaksi esterifikasi asam asetat dan butanol menggunakan katalis asam sulfat. Proses ini berlangsung pada 100°C dan tekanan 1 atmosfer. Konversi reaksi 85% diperoleh dengan perbandingan mol reaktan 1:5 (Leyes dan Othmer, 1945).

2.2 Pemilihan Proses

Dalam pemilihan proses mempertimbangkan beberapa faktor seperti: bahan baku yang digunakan, suhu operasi, panas reaksi pada keadaan standar, katalis yang digunakan, biaya bahan baku (perhitungan ekonomi kasar), energi bebas gibbs, dan panas pembentukan standar.

2.2.1 Perhitungan Ekonomi Kasar dari Bahan Baku yang Dibutuhkan

a. Pembuatan Butil Etanoat dari Metil Asetat dan Butanol

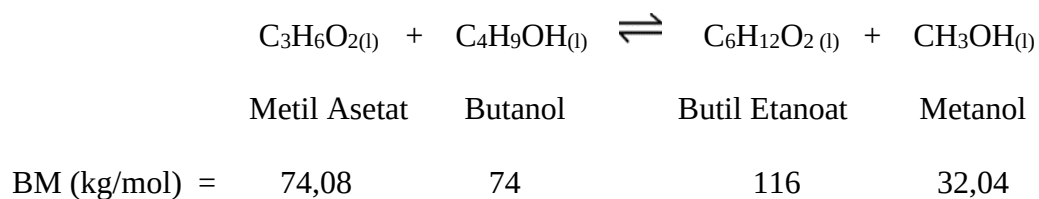
Harga bahan baku dan produk pada proses pembuatan butil etanoat dari metil asetat dan butanol dapat dilihat dari Tabel 2.1. berikut:

Tabel 2.1. Harga Bahan Baku dan Produk Proses I

Komponen	Harga (USD/kg)	Harga (Rp/kg)
Metil Asetat	1,41	21.407,61
Butanol	0,60	9.109,62
Butil Etanoat	3,50	53.139,45

(Alibaba.com)

Kurs 1 USD = 15.182,70 (diakses pada 2 Agustus 2023)



$$\text{Mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2 = \frac{\text{massa C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2}{\text{BM C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2}$$

$$\text{Massa C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2 = 44.000 \text{ ton/tahun}$$

$$= \frac{44.000}{\text{tahun}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}}$$

$$= 5.555,56 \text{ kg/jam}$$

Untuk kapasitas produksi butil etanoat sebesar 5.555,56 kg/jam dengan konversi 42% berdasarkan jurnal (Sancheti, 2015) sehingga jumlah kmol/jam butil etanoat yang dihasilkan sebesar:

$$\text{Mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2 = \frac{\text{massa C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2}{\text{BM C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2}$$

$$= \frac{5.555,56 \text{ kg/jam}}{116 \text{ kg/mol}}$$

$$= 47,89 \text{ kmol/jam}$$

Maka,

$$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_{2(l)} + \text{C}_4\text{H}_9\text{OH}_{(l)} \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2_{(l)} + \text{CH}_3\text{OH}_{(l)}$$

Mula-mula	114,02	114,02	-	-
Reaksi	47,89	47,89	47,89	47,89
Sisa	66,13	66,13	47,89	47,89

Metil Asetat (C₃H₆O₂)

Umpan segar Metil Asetat (Kemurnian 99,5%)

$$\text{BM C}_3\text{H}_6\text{O}_2 = 74,08 \text{ kg/kmol}$$

$$\text{Mol C}_3\text{H}_6\text{O}_2 \text{ awal} = 114,02 \text{ kmol/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa C}_3\text{H}_6\text{O}_2 &= \text{mol CH}_3\text{COOH} \times \text{BM CH}_3\text{COOH} \\ &= 114,02 \text{ kmol/jam} \times 74,08 \text{ kg/kmol} \\ &= 8.447,3704 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa C}_3\text{H}_6\text{O}_2 &= 8.447,3704 \text{ kg/jam} : 0,995 \\ &= 8.489,8195 \text{ kg/jam} \\ &= 74.370.818,6014 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga C}_3\text{H}_6\text{O}_2 &= \text{massa C}_3\text{H}_6\text{O}_2 \times \text{harga C}_3\text{H}_6\text{O}_2 \\ &= 74.370.818,6014 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}21.407,61 \\ &= \text{Rp}1.592.101.256.887/\text{tahun} \end{aligned}$$

Butanol (C₄H₉OH)

Umpan segar Butanol (Kemurnian 99,5%)

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

$$\text{Mol C}_4\text{H}_9\text{OH awal} = 114,02 \text{ kmol/jam}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa C}_4\text{H}_9\text{OH} &= \text{mol C}_4\text{H}_9\text{OH} \times \text{BM C}_4\text{H}_9\text{OH} \\ &= 114,02 \text{ kmol/jam} \times 74 \text{ kg/kmol} \\ &= 8.438,2479 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa C}_4\text{H}_9\text{OH} &= 8.438,2479 \text{ kg/jam} : 0,995 \\ &= 8.480,6512 \text{ kg/jam} \\ &= 74.290.504,5424 \text{ kg/tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Harga C}_4\text{H}_9\text{OH} &= \text{massa C}_4\text{H}_9\text{OH} \times \text{harga C}_4\text{H}_9\text{OH} \\ &= 74.290.504,5424 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}9.109,620 \\ &= \text{Rp}676.758.265.990/\text{tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Harga Bahan Baku} &= \text{Harga Metil Asetat} + \text{Harga Butanol} \\ &= \text{Rp}1.592.101.256.887 + \text{Rp}676.758.265.990 \\ &= \text{Rp}2.268.859.522.876/\text{tahun}\end{aligned}$$

Butil Etanoat (C₆H₁₂O₂)

$$\text{BM C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2 = 116 \text{ kg/kmol}$$

$$\text{Massa C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2 = 44.000.035 \text{ kg/tahun}$$

$$\begin{aligned}\text{Harga C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2 &= \text{massa C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2 \times \text{harga C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2 \\ &= 44.000.035 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}53.139,45/\text{kg}\end{aligned}$$

$$\text{Harga Produk} = \text{Rp}2.338.137.670.509/\text{tahun}$$

$$\begin{aligned}\textit{Profit} &= \text{harga jual produk} - \text{harga bahan baku} \\ &= \text{Rp}2.338.137.670.509 - \text{Rp}2.268.859.522.876 \\ &= \text{Rp}69.278.147.632/\text{tahun}\end{aligned}$$

b. Pembuatan Butil Etanoat dari Etil Asetat dan Butanol

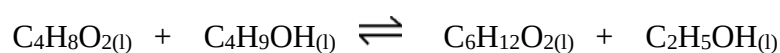
Harga bahan baku dan produk proses pembuatan butil etanoat dari etil asetat dan butanol dapat dilihat dari Tabel 2.2. berikut:

Tabel 2.2. Harga Bahan Baku dan Produk Proses II

Komponen	Harga (USD/kg)	Harga (Rp/kg)
Etil Asetat	0,50	7.591,35
Butanol	0,60	9.109,62
Butil Etanoat	3,50	53.139,45

(Alibaba.com)

Kurs 1 USD = 15.182,70 (diakses pada 2 Agustus 2023)



Etil Asetat Butanol Butil Etanoat Etanol

BM (kg/mol) = 88,12 74 116 46,07

$$\text{Mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2 = \frac{\text{massa C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2}{\text{BM C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2}$$

$$\text{Massa C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2 = 44.000 \text{ ton/tahun}$$

$$= \frac{44.000}{\text{tahun}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}}$$

$$= 5.555,56 \text{ kg/jam}$$

Untuk kapasitas produksi butil etanoat sebesar 5.555,56 kg/jam dengan konversi 75% berdasarkan jurnal (Bokade, 2016) sehingga jumlah kmol/jam butil etanoat sebesar :

$$\text{Mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2 = \frac{\text{massa C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2}{\text{BM C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2}$$

$$= \frac{5.555,56 \text{ kg/jam}}{116 \text{ kg/mol}}$$

$$= 47,89 \text{ kmol/jam}$$

Maka,

$$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_{2(l)} + \text{C}_4\text{H}_9\text{OH}_{(l)} \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2_{(l)} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(l)}$$

Mula-mula	63,86	383,14	-	-
Reaksi	47,89	47,89	47,89	47,89
Sisa	15,97	335,25	47,89	47,89

Etil Asetat (C₄H₈O₂)

Umpan segar Etil Asetat (Kemurnian 99,5%)

$$\text{BM C}_4\text{H}_8\text{O}_2 = 88,12 \text{ kg/kmol}$$

$$\text{Mol C}_4\text{H}_8\text{O}_2 \text{ awal} = 63,86 \text{ kmol/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa C}_4\text{H}_8\text{O}_2 &= \text{mol C}_4\text{H}_8\text{O}_2 \times \text{BM C}_4\text{H}_8\text{O}_2 \\ &= 63,86 \text{ kmol/jam} \times 88,12 \text{ kg/kmol} \\ &= 5.627,0799 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa C}_4\text{H}_8\text{O}_2 &= 5.627,0799 \text{ kg/jam} : 0,995 \\ &= 5.655,3566 \text{ kg/jam} \\ &= 49.540.924,1318 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga C}_4\text{H}_8\text{O}_2 &= \text{massa C}_4\text{H}_8\text{O}_2 \times \text{harga C}_4\text{H}_8\text{O}_2 \\ &= 49.540.924,1318 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}7.591,35 \\ &= \text{Rp}376.082.494.408/\text{tahun} \end{aligned}$$

Butanol (C₄H₉OH)

Umpar segar Butanol (Kemurnian 99,5%)

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

$$\text{Mol C}_4\text{H}_9\text{OH awal} = 383,14 \text{ kg/kmol}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa C}_4\text{H}_9\text{OH} &= \text{mol C}_4\text{H}_9\text{OH} \times \text{BM C}_4\text{H}_9\text{OH} \\ &= 383,14 \text{ kg/kmol} \times 74 \text{ kg/kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 28.352,5131 \text{ kg/jam} \\
 \text{Massa C}_4\text{H}_9\text{OH} &= 28.352,5131 \text{ kg/jam} : 0,995 \\
 &= 28.494,9880 \text{ kg/jam} \\
 &= 249.616.095,2652 \text{ kg/tahun} \\
 \text{Harga C}_4\text{H}_9\text{OH} &= \text{massa C}_4\text{H}_9\text{OH} \times \text{harga C}_4\text{H}_9\text{OH} \\
 &= 249.616.095,2652 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}9.109,620 \\
 &= \text{Rp}1.959.350.531.693,35/\text{tahun} \\
 \text{Harga Bahan Baku} &= \text{Harga Etil Asetat} + \text{Harga Butanol} \\
 &= \text{Rp}376.082.494.408 + \text{Rp}1.959.350.531.693,4 \\
 &= \text{Rp}2.335.433.026.102/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

Butil Etanoat (C₆H₁₂O₂)

$$\begin{aligned}
 \text{BM C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2 &= 116 \text{ kg/kmol} \\
 \text{Massa C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2 &= 44.000.035 \text{ kg/tahun} \\
 \text{Harga C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2 &= \text{massa C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2 \times \text{harga C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2 \\
 &= 44.000.035 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}53.139,45/\text{kg} \\
 &= \text{Rp}2.338.137.670.508,64/\text{tahun} \\
 \text{Profit} &= \text{harga jual produk} - \text{harga bahan baku} \\
 &= \text{Rp}2.338.137.670.508,64 - \text{Rp}2.335.433.026.102 \\
 &= \text{Rp}2.704.644.407,11/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

c. Pembuatan Butil Etanoat dari Asam Asetat dan Butanol

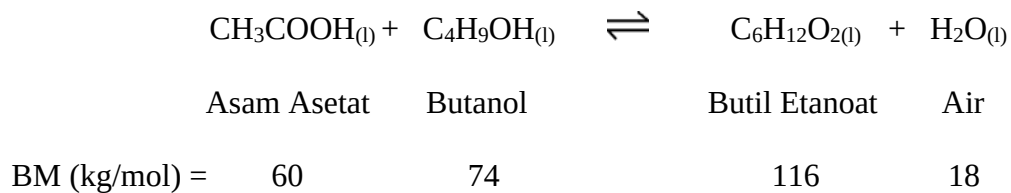
Harga bahan baku dan produk proses pembuatan butil etanoat dari asam asetat dan butanol dapat dilihat dari Tabel 2.3. berikut ini:

Tabel 2.3. Harga Bahan Baku dan Produk Proses III

Komponen	Harga (USD/kg)	Harga (Rp/kg)
Asam Asetat	0,93	14.119,91
Butanol	0,60	9.109,62
Butil Etanoat	3,50	53.139,45

(Alibaba.com)

Kurs 1 USD = 15.182,70 (diakses pada 2 Agustus 2023)



$$\text{Mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2 = \frac{\text{massa C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2}{\text{BM C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2}$$

$$\text{Massa C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2 = 44.000 \text{ ton/tahun}$$

$$= \frac{44.000}{\text{tahun}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}}$$

$$= 5.555,56 \text{ kg/jam}$$

Untuk kapasitas produksi butil etanoat sebesar 5.555,56 kg/jam dengan konversi 85% berdasarkan jurnal (Leyes and Othmer, 1945) sehingga jumlah kmol/jam butil etanoat yang dihasilkan sebesar :

$$\text{Mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2 = \frac{\text{massa C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2}{\text{BM C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2}$$

$$= \frac{5.555,56 \text{ kg/jam}}{116 \text{ kg/mol}}$$

$$= 47,89 \text{ kmol/jam}$$

Maka,

$$\text{CH}_3\text{COOH}_{(l)} + \text{C}_4\text{H}_9\text{OH}_{(l)} \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2_{(l)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)}$$

Mula-mula	56,34	281,72	-	-
Reaksi	47,89	47,89	47,89	47,89
Sisa	9,45	233,83	47,89	47,89

Asam Asetat (CH₃COOH)

Umpan segar Asam Asetat (Kemurnian 99%)

BM CH₃COOH = 60 kg/kmol

Mol CH₃COOH awal = 56,34 kmol/jam

Massa CH₃COOH = mol CH₃COOH x BM CH₃COOH

= 56,34 kmol/jam x 60 kg/kmol

= 3.380,6653 kg/jam

Massa CH₃COOH = 3.380,6653 kg/jam : 0,99

= 3.414,8134 kg/jam

= 29.913.765,8123 kg/tahun

Harga CH₃COOH = massa CH₃COOH x harga CH₃COOH

= 29.913.765,8123 kg/tahun x Rp14.119,91

= Rp422.379.710.944/tahun

Butanol (C₄H₉OH)

Umpan segar Butanol (Kemurnian 99,5%)

BM C₄H₉OH = 74 kg/kmol

Mol C₄H₉OH awal = 281,72 kmol/jam

Massa C₄H₉OH = mol C₄H₉OH x BM C₄H₉OH

= 281,72 kmol/jam x 74 kg/kmol

$$\begin{aligned}
 &= 20.847,4361 \text{ kg/jam} \\
 \text{Massa C}_4\text{H}_9\text{OH} &= 20.847,4361 \text{ kg/jam} : 0,995 \\
 &= 20.952,1971 \text{ kg/jam} \\
 &= 183.541.246,5166 \text{ kg/tahun} \\
 \text{Harga C}_4\text{H}_9\text{OH} &= \text{massa C}_4\text{H}_9\text{OH} \times \text{harga C}_4\text{H}_9\text{OH} \\
 &= 183.541.246,5166 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}9.109,62 \\
 &= \text{Rp}1.671.991.010.092/\text{tahun} \\
 \text{Harga Bahan Baku} &= \text{Harga Asam Asetat} + \text{Harga Butanol} \\
 &= \text{Rp}422.379.710.944 + \text{Rp}1.671.991.010.092 \\
 &= \text{Rp}2.094.370.721.036/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

Butil Etanoat (C₆H₁₂O₂)

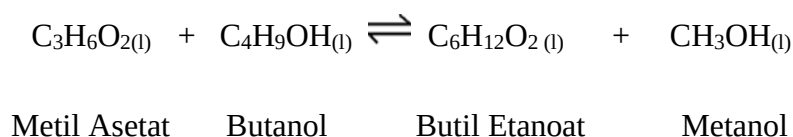
$$\begin{aligned}
 \text{BM C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2 &= 116 \text{ kg/kmol} \\
 \text{Massa C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2 &= 44.000.035 \text{ kg/tahun} \\
 \text{Harga C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2 &= \text{massa C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2 \times \text{harga C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2 \\
 &= 44.000.035 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}53.139,45/\text{kg} \\
 \text{Harga Produk} &= \text{Rp}2.338.137.670.509/\text{tahun} \\
 \text{Profit} &= \text{harga jual produk} - \text{harga bahan baku} \\
 &= \text{Rp}2.338.137.670.509 - \text{Rp}2.094.370.721.036 \\
 &= \text{Rp}243.766.949.472/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

2.2.2 Enthalpi Reaksi

Panas pembentukan standar (ΔH°_r) adalah jumlah panas reaksi yang dapat dihasilkan atau dibutuhkan untuk terjadinya reaksi kimia. Jika ΔH°_r positif, menunjukkan bahwa reaksi memerlukan panas untuk

melakukan reaksi kimia (endotermis). Namun, jika ΔH°_r negatif menunjukkan bahwa panas (eksotermis) dihasilkan selama reaksi.

a. Pembuatan Butil Etanoat dari Metil Asetat dan Butanol



Nilai (ΔH°_r 298K) dari setiap komponen pada suhu 298K dapat dilihat pada Tabel 2.4. berikut :

Tabel 2.4. ΔH°_f dari Setiap Komponen pada Suhu 298,15°K

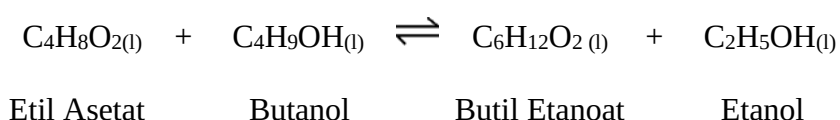
Komponen	(ΔH°_f) ₂₉₈ , kJ/mol
Metil Asetat	-445,9
Butanol	-329,60
Butil Etanoat	-609
Methanol	-238,42

(Sumber: Yaws, 1999)

$$\begin{aligned} (\Delta H^\circ_r \text{ 298K}) &= \sum \Delta H \text{ produk} - \sum \Delta H \text{ reaktan} \\ &= ((-609) + (-238,42)) - ((-445,9) + (-329,60)) \\ &= -71,92 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Dari perhitungan, didapatkan bahwa reaksi pembentukan butil etanoat bersifat eksotermis yang ditandai dengan (ΔH°_r 298K) bernilai negatif.

b. Pembuatan Butil Etanoat dari Etil Asetat dan Butanol



Nilai (ΔH°_r 298K) dari setiap komponen pada suhu 298K dapat dilihat pada Tabel 2.5. berikut :

Tabel 2.5. ΔH°_f dari Setiap Komponen pada Suhu 298,15°K

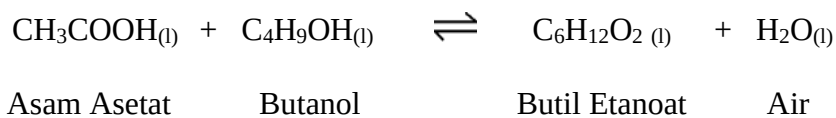
Komponen	$(\Delta H^\circ_f)_{298}$, kJ/mol
Etil Asetat	-478,82
Butanol	-329,60
Butil Etanoat	-609
Ethanol	-277,05

(Sumber: Yaws, 1999)

$$\begin{aligned}
 (\Delta H^\circ_r \text{ }_{298K}) &= \sum \Delta H \text{ produk} - \sum \Delta H \text{ reaktan} \\
 &= ((-609) + (-277,05)) - ((-478,82) + (-329,60)) \\
 &= -77,63 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan, didapatkan bahwa reaksi pembentukan butil etanoat bersifat eksotermis yang ditandai dengan $(\Delta H^\circ_r \text{ }_{298K})$ bernilai negatif.

c. Pembuatan Butil Etanoat dari Asam Asetat dan Butanol



Nilai $(\Delta H^\circ_r \text{ }_{298K})$ dari setiap komponen pada suhu 298K dapat dilihat pada Tabel 2.6. berikut :

Tabel 2.6. ΔH°_f dari Setiap Komponen pada Suhu 298,15°K

Komponen	$(\Delta H^\circ_f)_{298}$, kJ/mol
Asam Asetat	-485,5
Butanol	-329,60
Butil Etanoat	-609,0
Air	-285,83

(Sumber: Yaws, 1999)

$$\begin{aligned}
 (\Delta H^{\circ}_r \text{ }_{298K}) &= \sum \Delta H \text{ produk} - \sum \Delta H \text{ reaktan} \\
 &= ((-609,0) + (-285,83)) - ((-485,5) + (-329,60)) \\
 &= -79,73 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan, didapatkan bahwa reaksi pembentukan butil etanoat bersifat eksotermis yang ditandai dengan $(\Delta H^{\circ}_r \text{ }_{298K})$ bernilai negatif.

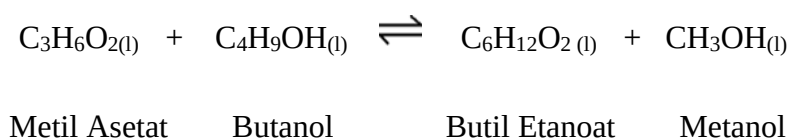
2.2.3 Pemilihan Proses Meninjau dari Energi Gibbs (ΔG°)

ΔG menunjukkan spontan atau tidak spontannya suatu reaksi kimia.

- ΔG° bernilai positif (+) menunjukkan bahwa reaksi tersebut tidak dapat berlangsung secara spontan, sehingga dibutuhkan energi tambahan dari luar.
- ΔG° bernilai negatif (-) menunjukkan bahwa reaksi tersebut dapat berlangsung secara spontan dan hanya sedikit membutuhkan energi.

Oleh karena itu, semakin kecil atau negatif ΔG° maka reaksi tersebut akan semakin baik karena untuk berlangsung spontan energi yang dibutuhkan semakin kecil.

a. Pembuatan Butil Etanoat dari Metil Asetat dan Butanol



Harga ΔG° bahan baku dan produk proses I dapat dilihat pada Tabel 2.7. berikut:

Tabel 2.7. Harga Energi Gibbs Bahan Baku dan Produk Proses I

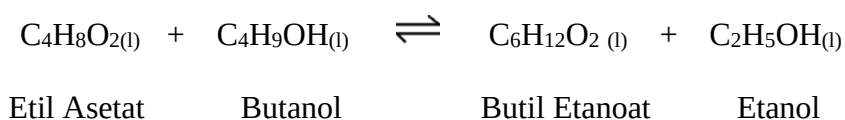
Komponen	$(\Delta H^\circ G)_{298}$, kJ/mol
Metil Asetat	-316,57
Butanol	-154,02
Butil Etanoat	-234,80
Methanol	-166,2

(Sumber: Yaws, 1999)

$$\begin{aligned}
 \Delta G^\circ_{298K} &= \sum \Delta G \text{ produk} - \sum \Delta G \text{ reaktan} \\
 &= ((-234,80) + (-166,2)) - ((-316,57) + (-154,02)) \\
 &= 69,59 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan, didapatkan bahwa $\Delta G^\circ > 0$, jadi reaksi terjadi secara tidak spontan. Nilai energi Gibbs yang positif menunjukkan bahwa reaksi membutuhkan energi yang besar.

b. Pembuatan Butil Etanoat dari Etil Asetat dan Butanol



Harga ΔG° bahan baku dan produk proses II dapat dilihat pada Tabel 2.8. berikut:

Tabel 2.8. Harga Energi Gibbs Bahan Baku dan Produk Proses II

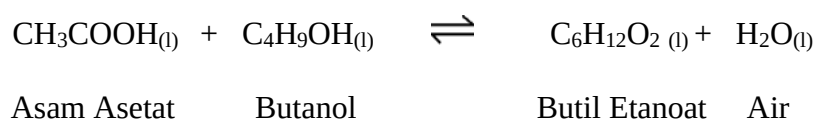
Komponen	$(\Delta H^\circ G)_{298}$, kJ/mol
Etil Asetat	-327,40
Butanol	-154,02
Butil Etanoat	-234,80
Ethanol	-168,28

(Sumber: Yaws, 1999)

$$\begin{aligned}
 \Delta G^{\circ}_{298K} &= \sum \Delta G \text{ produk} - \sum \Delta G \text{ reaktan} \\
 &= ((-234,80) + (-168,28)) - ((-327,40) + (-154,02)) \\
 &= 78,34 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan, didapatkan bahwa $\Delta G^{\circ} > 0$, jadi reaksi terjadi secara tidak spontan. Nilai energi Gibbs yang positif menunjukkan bahwa reaksi membutuhkan energi yang besar.

c. Pembuatan Butil Etanoat dari Asam Asetat dan Butanol



Harga ΔG° bahan baku dan produk proses III dapat dilihat pada Tabel 2.9. berikut:

Tabel 2.9. Harga Energi Gibbs Bahan Baku dan Produk Proses III

Komponen	$(\Delta H^{\circ}G)_{298}$, kJ/mol
Asam Asetat	-299,78
Butanol	-154,02
Butil Etanoat	-234,80
Air	-237,13

(Sumber: Yaws, 1999)

$$\begin{aligned}
 \Delta G^{\circ}_{298K} &= \sum \Delta G \text{ produk} - \sum \Delta G \text{ reaktan} \\
 &= ((-234,80) + (-237,13)) - ((-299,78) + (-154,02)) \\
 &= -18,13 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan, didapatkan bahwa $\Delta G^{\circ} > 0$, jadi reaksi terjadi secara spontan.

Berdasarkan beberapa uraian diatas, dapat diperoleh perbandingan proses pembuatan butil etanoat. Hal ini ditunjukkan pada Tabel 2.10. di bawah ini.

Tabel 2.10. Perbandingan Proses Produksi Butil Etanoat

No.	Keterangan	Proses 1	Proses 2	Proses 3
1.	Bahan baku	Metil Asetat dan Butanol	Etil Asetat dan Butanol	Asam Asetat dan Butanol
2.	Konversi (%)	42%	75%	85%
3.	ΔG° (kJ/mol)	69,59 kJ/mol	78,34 kJ/mol	-18,13 kJ/mol
4.	ΔH°_r (kJ/mol)	-71,92 kJ/mol	-77,63 kJ/mol	-79,73 kJ/mol
5.	Suhu ($^\circ\text{C}$)	93 $^\circ\text{C}$	115 $^\circ\text{C}$	100 $^\circ\text{C}$
6.	Keuntungan (Rp/tahun)	69.278.147.632	2.704.644.407	243.766.949.472
7.	Jenis Katalis	<i>Amberlyst 15</i> (padat)	Boron (padat)	Asam Sulfat (cair)

Dengan melihat ketiga macam proses di atas maka dalam prarancangan pabrik butil etanoat dipilih proses dengan bahan baku asam asetat dan butanol dengan beberapa pertimbangan sebagai berikut:

1. Bahan baku yang digunakan lebih ekonomis, mudah didapatkan dan tidak beracun.
2. Konversi pada proses 3 paling tinggi yaitu 85%.
3. Dari peninjauan pada segi ekonomi diketahui bahwa proses 3 lebih menguntungkan dibandingkan proses 1 dan 2, keuntungan yang didapat sebesar Rp243.766.949.472/tahun.
4. Harga katalis yang digunakan lebih murah dibandingkan dengan Amberlyst 15 dan Boron.

2.3 Konstanta Keseimbangan Reaksi

Butil etanoat yang dihasilkan oleh reaksi esterifikasi yang dikatalisis asam sulfat dari asam asetat dan n-butanol memiliki konstanta keseimbangan yang diberikan oleh persamaan berikut:

Dari Smith Van Ness (2005), yang ditulis kembali menjadi persamaan (2.4) :

$$\ln K_{298,15} = -\frac{\Delta G^\circ}{RT} \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned} \ln K_{298,15} &= -\frac{-18,13 \text{ kJ/mol}}{\frac{8,314 \cdot 10^{-3} \text{ kJ}}{\text{mol}} \times 298,15 \text{ K}} \\ &= 7,31 \end{aligned}$$

$$K_{298,15} = 1495,18$$

Dari Smith Van Ness (2005), yang ditulis kembali menjadi persamaan (2.5) :

$$\ln \left(\frac{K}{K_{298,15}} \right) = -\frac{\Delta H_{298,15}}{R} \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\text{ref}}} \right) \quad (2.5)$$

Berdasarkan Leyes dan Othmer (1945), reaksi berlangsung pada suhu 100°C (373,15K) dan besarnya konstanta keseimbangan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\ln \left(\frac{K}{K_{298,15}} \right) = -\frac{\Delta H_{298,15}}{R} \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\text{ref}}} \right)$$

$$\ln \left(\frac{K}{1495,18} \right) = -\frac{(-79,73 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}})}{8,314 \cdot \frac{10^{-3} \text{ kJ}}{\text{mol}} \text{ K}} \times \left(\frac{1}{373,15} - \frac{1}{298,15} \right) \text{ K}$$

$$\ln \left(\frac{K}{1495,18} \right) = -6,46$$

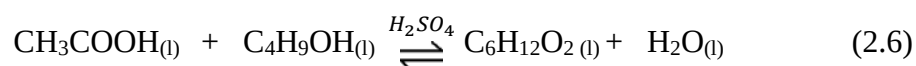
$$\left(\frac{K}{1495,18} \right) = 1,56 \cdot 10^{-3}$$

$$K = 2,33$$

Nilai K tersebut tidak berbeda nyata dengan nilai K sebesar 2,38 pada jurnal IEC (Industrial Engineering and Chemistry), Vol. 37, No. 10, 1945, Hlm. 976.

2.4 Tinjauan Kinetika

Proses produksi Butil Etanoat merupakan reaksi esterifikasi asam asetat dan n-butanol sesuai dengan rumus reaksi pada Persamaan (2.6) berikut:



Dari sudut pandang kinetika, reaksi asam asetat dan n-butanol, ini merupakan reaksi orde kedua. Persamaan kinetika menurut Leyes dan Othmer (1945) dapat dilihat pada persamaan (2.7) berikut:

$$-r_A = kCA^2 \quad (2.7)$$

Reaksi esterifikasi merupakan reaksi bolak-balik yang berjalan lambat sehingga reaksi di sebelah kiri (arah reaktan) dapat diabaikan terhadap reaksi di sebelah kanan (arah produk) selama waktu reaksinya relatif singkat. Jika alkohol berlebih digunakan, konsentrasi alkohol dapat diasumsikan konstan (Sari, 2010). Selain itu, saat jumlah reaktan diperbesar, kecepatan reaksi ke arah kiri dapat diabaikan, sehingga akan terjadi pergeseran kesetimbangan ke arah kanan (Setyawardhani dkk., 2006). Hal tersebut dapat terjadi karena reaksi berlangsung sempurna ($K > 1$) sehingga laju reaksi yang terukur hanya reaksi ke arah kanan (Saleh, 2022).

$$k = (0,000618 - 0,376724C + 0,180917C \frac{B}{A}) \left(\frac{10^{(9,140142 - \frac{3320,0564}{T})}}{1,745} \right) \quad (2.8)$$

Nilai K yang diperoleh dari data di atas adalah 0,01745 L/mol.menit.

Dimana:

r_A = kecepatan reaksi, mol/L.detik

k = konstanta kecepatan reaksi, L/mol.menit

K = konstanta kesetimbangan reaksi, L/mol.menit

C = asam sulfat, % berat = 0,0322%

B = butanol, mol

A = asam asetat, mol

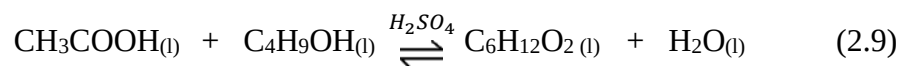
C_A = konsentrasi asam asetat, mol/L

R = 8,314 Joule/mol.K

T = Suhu reaksi, K

2.5 Uraian Singkat Proses

Produksi butil etanoat menggunakan asam asetat dan butanol sebagai bahan baku utama, dan katalis asam sulfat dan penetral natrium hidroksida sebagai bahan baku penunjang. Asam asetat, butanol, asam sulfat dan natrium hidroksida disimpan dalam tangki ST-101, ST-102, ST-103 dan ST-104 pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm. Bahan baku asam asetat dan butanol masing-masing dipanaskan menggunakan *heater* hingga suhu 100°C. Bahan-bahan tersebut kemudian dipompa menuju reaktor RATB karena reaksi tersebut berlangsung pada fase cair-cair. Namun, butanol akan melewati *mixed point* terlebih dahulu sehingga akan bercampur dengan *recycle* dari produk atas MD-301. Sehingga didapatkan perbandingan asam asetat dan butanol sebesar 1:5. Persamaan (2.9) berikut merupakan reaksi yang terjadi:

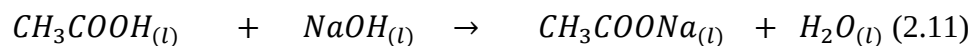


Asam Asetat Butanol Butil Etanoat Air

Reaksi dalam reaktor dibantu oleh katalis asam sulfat. Reaksinya eksotermik, beroperasi pada suhu 100°C dan tekanan 1 atm, dengan konversi butil etanoat sebesar 85%. Produk yang berasal dari reaktor didinginkan dalam *cooler* hingga suhu 40°C. Selanjutnya, produk yang didinginkan mengalir ke *netralizer* di mana natrium hidroksida digunakan untuk menetralkan asam sulfat untuk membentuk larutan garam natrium sulfat dan air. Persamaan (2.10) dan Persamaan (2.11) berikut merupakan reaksi yang terjadi:



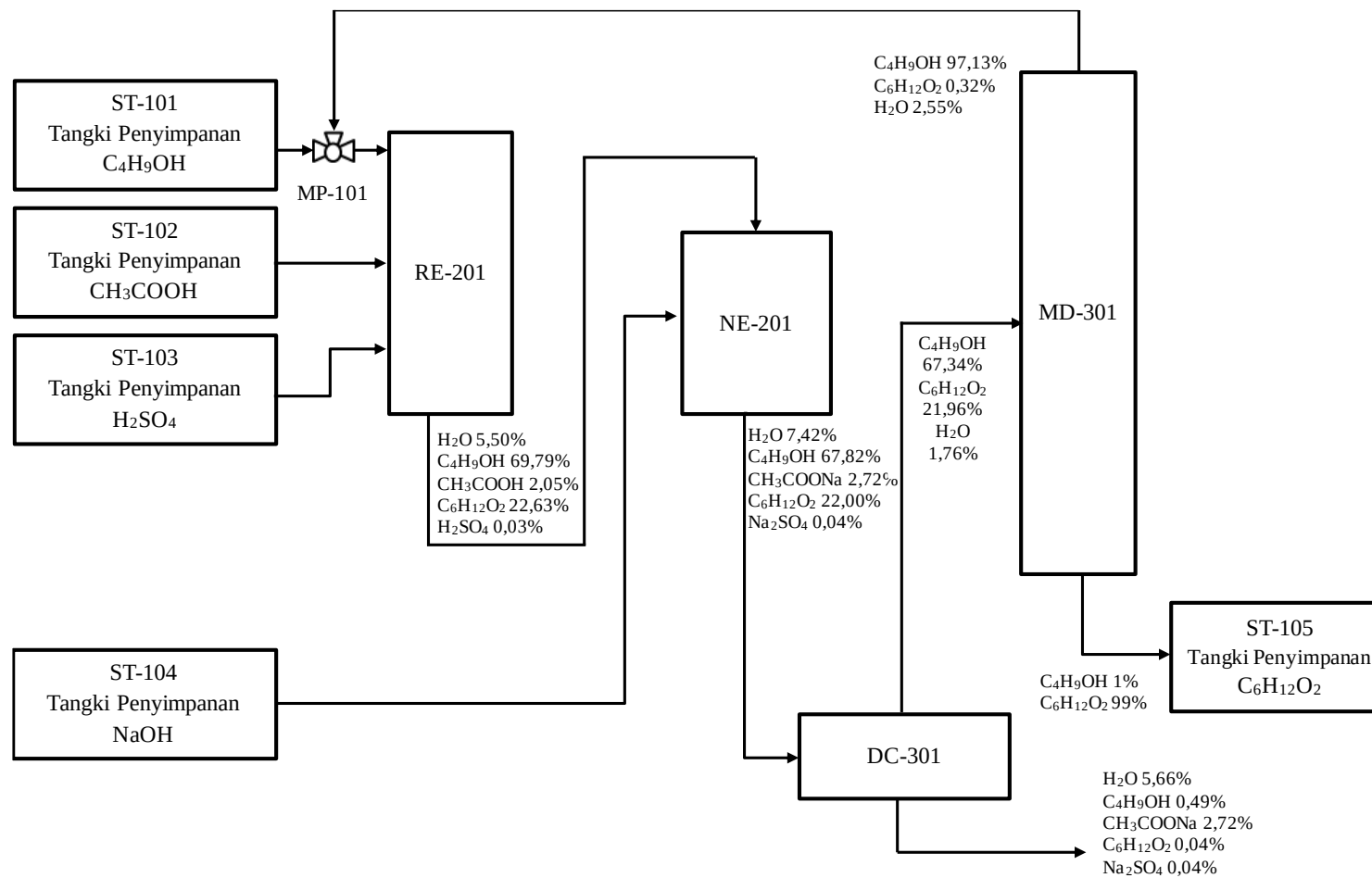
Natrium Hidroksida Asam Sulfat Natrium Sulfat Air



Asam Asetat Natrium Hidroksida Natrium Asetat Air

Selanjutnya, produk yang dihasilkan dari *netralizer* dipisahkan menggunakan *decanter* DC-301 berdasarkan kelarutannya, terbentuk fasa ringan dan fasa berat. DC-301 yang mengandung fraksi ringan yang meliputi butanol dan butil etanoat. Fasa berat DC-301 mengandung banyak air dan garam natrium sulfat serta asam asetat, sedikit butanol dan butil etanoat yang kemudian dialirkan ke Unit Pengolahan Limbah (UPL). Selanjutnya, fasa ringan DC-301 dimurnikan lagi di MD-301. Distilat MD-301 berupa butanol dan sejumlah kecil butil etanoat yang kemudian didaur ulang menuju RE-201. Produk bawah MD-301 adalah butil etanoat dengan kemurnian 99% dan impuritas berupa butanol 1%.

Gambar 2.1. berikut merupakan diagram alir pabrik *Butyl Ethanoate* dari *Acetic Acid* dan N-Butanol.



Gambar 2.1. Diagram Alir Pembuatan Butil Etanoat

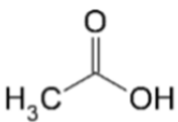
BAB III
SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK

3.1. Spesifikasi Bahan Baku Utama

a. Asam Asetat

Nama lain : Asam Asetat

Rumus Molekul : CH_3COOH

Struktur Kimia : 

Berat Molekul : 60 g/mol

Bentuk : Cairan

Kemurnian : 99%

Air : 1%

Titik Didih : 118°C

Titik Beku : 16,7°C

Densitas : 1,49 kg/m³

Kelarutan, 25°C : 0,789 gr / 100 gr air

MSDS : 

Hazard Statement : - Cairan dan uap yang mudah terbakar.
- Menyebabkan luka bakar kulit yang parah

dan kerusakan mata.

- Berbahaya jika terhirup.
- Berbahaya bagi kehidupan akuatik.

Precautionary

- : - Jauhkan dari panas, percikan api, nyala api terbuka, permukaan yang panas. Dilarang merokok.
- Jaga agar wadah tetap tertutup rapat.
 - Wadah pentanahan/ikatan dan peralatan penerima.
 - Gunakan peralatan listrik, ventilasi, penerangan yang tahan ledakan.
 - Gunakan hanya alat yang tidak memicu.
 - Lakukan tindakan pencegahan terhadap muatan listrik statis.
 - Jangan menghirup kabut, uap, semprotan.
 - Cuci kulit yang terpapar secara menyeluruh setelah penanganan.
 - Gunakan hanya di luar ruangan atau di area yang berventilasi baik.
 - Hindari pelepasan ke lingkungan.
 - Kenakan sarung tangan pelindung/pakaian pelindung/pelindung mata/pelindung wajah.

(Lab Chem dan PT Indo Acidatama)

b. N-Butanol

Nama Lain : N-Butyl Alcohol AR, 1-Butanol, Butanol,
Propylcarbinol, Butan-1-ol, BuOH

Rumus Molekul : C_4H_9OH

Struktur Kimia : 

Berat Molekul : 74 g/mol

Bentuk : Cairan

Kemurnian : 99,5%

Air : 0,05%

Titik Didih : 117,7°C

Titik Beku : -89,03°C

Densitas : 810 kg/m³

Viskositas : 2,573 mPa.s

Kelarutan, 50°C : 6,54 gr / 100 gr air

MSDS : 

Hazard Statement : - Cairan dan uap mudah menyala.
- Berbahaya jika tertelan.
- Menyebabkan iritasi kulit.
- Menyebabkan kerusakan mata yang serius.
- Menyebabkan iritasi pada saluran pernafasan.
- Dapat menyebabkan mengantuk dan pusing.

Precautionary : - Jauhkan dari panas/percikan/api terbuka
/permukaan yang panas. Dilarang merokok.

- Pakai pelindung mata.

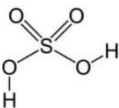
(Smart-Lab Indonesia dan PT Petro Oxo Nusantara)

3.2. Spesifikasi Bahan Baku Penunjang

a. Asam Sulfat

Nama Lain : Hydrogen sulfate, Oil of vitriol, Chamber acid

Rumus Molekul : H_2SO_4

Struktur Kimia : 

Berat Molekul : 98 g/mol

Bentuk : Cairan

Kemurnian : 98%

Air : 2%

Warna : Tidak berwarna sampai sedikit kuning

Titik Didih : 338°C

Titik Beku : 10,36°C

Densitas : 1.837 kg/m³

Viskositas : 24 mPa.s

Kelarutan, 10°C : 99,75 gr / 100 gr air

MSDS : 

Hazard Statement : - Dapat korosif terhadap logam.

- Menyebabkan luka bakar parah pada kulit dan kerusakan mata.

Precautionary : - Pakai sarung tangan pelindung/pakaian pelindung/

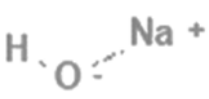
pelindung mata/pelindung wajah.

(Smart-Lab Indonesia dan PT Petrokimia Gresik)

b. Natrium Hidroksida

Nama Lain : Sodium hydroxide, caustic soda

Rumus Molekul : NaOH

Struktur Molekul : 

Berat Molekul : 40 g/mol

Bentuk : Larutan

Kemurnian : 48% berat

Air : 52%

Titik Didih : 1.390°C

Titik Lebur : 322°C

Densitas : 2.130 kg/m³

Viskositas : 78 mPa.s

Kelarutan, 25°C : 0,789 gr / 100 gr air

MSDS : 

Hazard Statement : - Dapat korosif terhadap logam.
- Menyebabkan luka bakar parah pada kulit dan
kerusakan mata

Precautionary : - Pakai sarung tangan pelindung/pakaian pelindung/
pelindung mata/pelindung wajah.

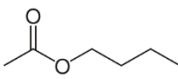
(Smart-Lab Indonesia dan PT Tjiwi Kimia)

3.3. Spesifikasi Produk

Butil Etanoat

Nama Lain : N-butil etanoat

Rumus Molekul : $C_6H_{12}O_2$

Struktur Molekul : 

Berat Molekul : 116 g/mol

Bentuk : Cairan

Kemurnian : 99%

Titik Didih : 126°C

Titik Beku : -76,3°C

Densitas : 882,5 kg/m³

Viskositas : 0,685 mPa.s

Kelarutan, 50°C : 0,50 gr / 100 gr air

MSDS : 

Hazard Statement : - Cairan atau uap mudah menyala.

- Dapat menyebabkan rasa mengantuk dan pusing.

- Membahayakan makhluk dalam air.

Precautionary : - Jauhkan dari panas, percikan, api terbuka dan sumber penyulut lainnya. Dilarang merokok.

- Hindarkan menghirup debu/asap/gas/kabut

- Gunakan sarung tangan pelindung/baju pelindung/kaca mata pelindung/pelindung wajah.

(Material Safety Data Sheet Butil Asetat)

BAB X

SIMPULAN DAN SARAN

10.1. Simpulan

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik Butil Etanoat dari Butanol dan Asam Asetat dengan kapasitas produksi 44.000 ton/tahun dapat ditarik simpulan sebagai berikut:

1. *Percent Return on Investment* (ROI) sebelum pajak sebesar 31,36% dan setelah pajak 25,08%.
2. *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak 2,03 tahun dan setelah pajak 2,41 tahun.
3. *Break Even Point* (BEP) sebesar 45,38% dimana syarat umum pabrik di Indonesia adalah 30 – 60% kapasitas produksi. *Shut Down Point* (SDP) sebesar 27,71%, yakni batasan kapasitas produksi 20 – 30% sehingga pabrik masih dapat berproduksi karena mendapat keuntungan.
4. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF) sebesar 32,16%, lebih besar dari suku bunga bank sekarang, sehingga investor akan lebih memilih untuk berinvestasi ke pabrik ini dari pada ke bank.

10.2. Saran

Berdasarkan hasil simpulan di atas, Prarancangan Pabrik Butil Etanoat dari Butanol dan Asam Asetat dengan kapasitas produksi 44.000 ton/tahun diharapkan segera dicarikan investor untuk didirikan karena memiliki potensi yang cukup baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, S. & Ratnawati, E. (1995). Metode Buffe Index untuk Menentukan Volume Tangki pada Proses Netralisasi Air Limbah. *Bulletin Penelitian*, Vol. XVII(4).
- Alfa Laval. (2001). *Pump Handbook*. USA: Alfa Laval.
- Aries, R. S., & Newton, R. D. (1995). *Chemical Engineering Cost Estimation*. New York: McGraw Hill Company.
- Bachus, L. & Custodio, A. (2003). *Know and Understand Centrifugal Pumps*. Elsevier.
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Statistic Indonesia*. www.bps.go.id. Indonesia
- Banchero, B. (1995). *Chemical Engineering Series*. New York: McGraw Hill Company.
- Bank Indonesia. (2022). *Nilai Kurs*. www.bi.go.id., Diakses 14 Februari 2024.
- Bokade, V. V. (2016). *A Single Step Process for The Preparation of Butyl Acetate*, World Intellectual Property Organization, Patent No. WO 2016/038629.
- Bpsdm.pu.go.id diakses pada 20 Februari 2024
- Broughton, J. (1994). *Process Utility Systems: Introduction to Design, Operation, and Maintenance*. United Kingdom: Institute of Chemical Engineers.
- Brown, G. G. (1950). *Unit Operations*. New York: John Wiley & Sons.

- Brownell, L. E. & Young, E. H. (1959). Process Equipment Design: Vessel Design. New York: John Wiley & Sons.
- Chan, A. & Seider, W. D. (2004). Batch Manufacture of Propylene Glycol. Pennsylvania: Department of Chemical and Biomolecular Engineering University of Pennsylvania.
- Cheremisinoff, N. P. (2003). Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies. USA: Butterworth-Heinemann.
- Coulson, J. M. & Richardson, J. F. (1983). Chemical Engineering, Vol. 6. New York: Pergamon Press Oxford.
- Felder, R. M. & Rousseau R. W. (2000). Elementary Principles of Chemical Process, 3rd Edition. New York: John Wiley & Sons.
- Fogler, H. S. (1999). Elements of Chemical Reaction Engineering, 3rd Edition. New Jersey: Prentice Hall P.T.R.
- Foust, A. S. (1980). Principles of Unit Operations. Michigan: Wiley.
- Geankoplis, C. J. (1993). Transport Processes and Unit Operation 3rd Edition. New Jersey: Prentice-Hall International, Inc.
- Google Maps. (2023). Area Sungai Bengawan Solo, Gresik, Jawa Timur. Diakses 2 Februari 2023.
- Goto, S., Tagawa, T. & Yusoff, A. (1991). Kinetics of The Esterification of Palmitic Acid with Isobutyl Alcohol. International Journal of Chemical Kinetics, Vol 23(1), 17-26.

Harnby, N., Edwards, M. F., & Nienow, A. W. (1997). *Mixing in The Process Industries*.

Himmelblau, D. M. (1996). *Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering*. New Jersey: Prantice Hall. Butterworth-Heinemann.

Himmelblau, D. M. & Riggs, J. B. (2004). *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*. New Jersey: Prantice Hall.

<http://water.me.vccs.edu/.com>, diakses 17 Januari 2024.

<https://petrokimia-gresik.com>, diakses pada 2 Agustus 2023.

<https://toweringskills.com/financial-analysis/cost-indices/>, diakses 14 Februari 2024.

<https://www.seesenchem.com>, diakses 17 Januari 2024.

Ifa, L. & Nurdjannah. (2019). *Ekonomi Pabrik*. Indonesia: Wade Publish.

Joshi, M. V. (1981). *Proses Equipment Design*. USA: McGraw Hill Company Ltd.

Karassik, Igor, dkk. (2001). *Pump Handbook*. USA: McGraw Hill Book Company.

Kepdal 2000 No. 113 Pedoman Teknik Laboratorium.

Kern, D. Q. (1965). *Process Heat Transfer*. New York: McGraw Hill Book Company.

Lab Chem. (1998). *Acetic Acid: Safety Data Sheet*. www.labchem.com. Diakses 2 Agustus 2023.

Leyes, C. E. & Othmer, D. F. (1945). Esterification of Butanol and Acetic Acid. Industrial & Engineering Chemistry, Vol. 37(10), 968-977.

Ludwig, E. E. (1995). Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants, Vol. 1, 3rd ed. Gulf Professional Publishing.

McCabe, W. L. (1993). Unit Operation of Chemical Engineering, 3rd Edition. Tokyo: McGraw Hill Book Company, Inc.

MSDS Acetic Acid. Science Lab.com., Diakses pada 2 Agustus 2023.

MSDS Butyl Acetate. Science Lab.com., Diakses pada 2 Agustus 2023.

MSDS n-Butanol. Science Lab.com., Diakses pada 2 Agustus 2023.

McKetta, J. J. (1978). Encyclopedia of Chemical Processing and Design, Vol. 5. New York: Marcel Dekker, Inc.

Megyesy, E. F. (1983). Pressure Vessel Handbook. Oklahoma: Pressure Vessel Publishing Inc.

Peraturan Menteri Kesehatan No. 32 Tahun 2017. Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum.

Perry, R. H. & Green, D. W. (2008). Perry's Chemical Engineers' Handbook, 8th Edition. USA: McGraw Hill Companies, Inc.

Perry, R. H. & Green, D. W. (1997). Perry's Chemical Engineers' Handbook, 7th Edition. New York: McGraw Hill Book Company.

- Peters, M. S. & Timmerhaus, K. D. (1991). Plant Design and Economics for Chemical Engineers, 4th Edition. New York: McGraw Hill Book Co, Inc.
- Peters, M. S. & Timmerhaus, K. D. (2003), Plant Design and Economics for Chemical Engineers, 5th ed. New York: McGraw Hill Companies.
- Powell, S. T. (1954). Water Conditioning for Industri, 1st Edition. New York: McGraw Hill Book Company, Inc.
- Pubchem, diakses pada 17 Januari 2024.
- Puspita Sari, A. (2010). Kinetika Reaksi Esterifikasi Pada Pembuatan Biodiesel dari Minyak Dedak Padi.
- Rase, F. H. (1977). Chemical Reaktor Design for Process Plant Vol. 1 & 2. New York: John Wiley & Sons.
- Saleh, A. (2022). Dinamika Molekul. ISBN 9786230909627.
- Sancheti, N.V., Shirsat, S.P. & Awachar, D.D., (2015). Simulation of Butyl Acetate and Methanol Production by Transesterification Reaction via Conventional Distillation Process, International Journal of Innovation in Engineering Technology, Vol. 5, 278-283.
- Sari, A. P. (2010). Kinetika Reaksi Esterifikasi pada Pembuatan Biodiesel dari Minyak Dedak Padi. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Seidel, A. (1919). Solubilities of Inorganic and Organic Compounds. New York: D. Van Nostrand Company.

- Severn, W. H., Degler, H.E. & Miles, J.C. (1954). Steam, Air and Gas Power, 5th Edition.
- Smart-Lab. (2017). Lembar Data Keselamatan Bahan Kimia, menurut Peraturan (UE) No. 1907/2006.
- Smith, J. M. Van Ness H. C. & M.M Abbott. (2005). Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics. 7th Edition. Boston: McGraw Hill.
- Smith, Robin. (2005). Chemical Process Design and Integration. School of Chemical Engineering and Analytical Science. University of Manchester. Manchester.
- Stephenson, R. & Stuart, J. (1986). Mutual Binary Solubilities: Water-Alcohols and Water-Esters. Journal of Chemical and Engineering Data, 31(1), 56-70.
- Sukamta. (2015). Pompa Centrifugal. Yogyakarta: Staff UNY.
- Towler, G. & Sinnott, R. (2013). Chemical Engineering Design, 2nd Edition. Elsevier.
- Treyball, R. E. (1981). Mass Transfer Operation, 3rd Edition. Singapore: McGraw Hill Book Company.
- Ulrich, G. D. (1984). A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics. Kanada: John Wiley and Sons Inc.
- Vilbrandt, F.C. & Dryden, C.E. (1959). Chemical Engineering Plant Design, 4th Edition. Tokyo: McGraw Hill International Book Company, Kogakusha Ltd.

Walas, S. M. (1990). Chemical Process Equipment. 3rd Edition. USA: Butterworth-Heinemann Series in Chemical Engineering.

Wang, L. K. (2008). Gravity Thickener, Handbook of Environmental Engineering, Vol. 6th. New Jersey: The Humana Press Inc.

Wilson, E. T. (2005). Clarifier Design. London: McGraw Hill Book Company.

Indonesia. Undang-Undang tentang Perseroan Terbatas, UU No. 40 Tahun 2007, LN No. 106 Tahun 2007, TLN No. 4756.

Indonesia. Undang-Undang tentang Badan Penyelenggara Jaminan Sosial, UU No. 24 Tahun 2011. LN No. 116 Tahun 2011, TLN No. 5256.

www.acidatama.co.id, diakses pada 2 Agustus 2023.

www.alibaba.com, diakses 28 September 2023.

www.atbbatam.com, diakses pada 10 Desember 2023.

www.eonchemicals.com, diakses 15 Januari 2024.

www.matche.com, diakses 15 Januari 2024.

www.ocw.ui.ac.id, diakses pada 10 Desember 2023.

www.pon.co.id, diakses pada 2 Agustus 2023.

www.rumah123.com, diakses pada 10 Desember 2023.

www.statista.com, diakses 14 Februari 2024.

www.suezwaterhandbook.com, diakses pada 17 Januari 2024.

www.tjiwi.co.id, diakses pada 2 Agustus 2023.

Yaws. (1999). *Thermodynamics and Physical Properties Data*. Singapore: McGraw Hill Book. Co.