

**PRARANCANGAN PABRIK *t*-BUTYL ALCOHOL  
DARI ISOBUTENE DAN WATER  
DENGAN KAPASITAS 35.000 TON/TAHUN  
Tugas Khusus  
Perancangan *Distillation Column* (DC-402)**

**(Tugas Akhir)**

**Oleh:**

**Maria Fransisca Vabylita  
1815041045**



**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

**PRARANCANGAN PABRIK *t*-BUTYL ALCOHOL  
DARI ISOBUTENE DAN WATER  
DENGAN KAPASITAS 35.000 TON/TAHUN**

**Tugas Khusus  
Perancangan *Distillation Column* (DC-402)**

**Oleh:  
MARIA FRANSISCA VABYLITA  
1815041045**

**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**

## ABSTRAK

### PRARANCANGAN PABRIK *t*-BUTYL ALCOHOL DARI ISOBUTENE DAN WATER DENGAN KAPASITAS 35.000 TON/TAHUN

(Perancangan Distillation Column (DC-402))

Oleh

MARIA FRANSISCA VABYLITA

Pabrik *t-Butyl Alcohol* berbahan baku *Isobutene* dan *Water* direncanakan untuk didirikan di Kecamatan Kragilan, Serang, Banten. Pendirian pabrik ini didasarkan atas kebutuhan dalam negeri yang setiap tahun terus mengalami peningkatan dan belum tersedianya pabrik yang memproduksi *t-Butyl Alcohol*.

Pabrik direncanakan memproduksi *t-Butyl Alcohol* sebanyak 35.000 ton/tahun, dengan waktu operasi 24 jam/hari, 330 hari/tahun. Bahan baku yang digunakan adalah *Isobutene* sebanyak 3.448,872 kg/jam dan *Water* sebanyak 1.218,111 kg/jam.

Penyediaan kebutuhan utilitas pabrik *t-Butyl Alcohol* terdiri dari unit pengolahan dan penyediaan air, unit penyedia steam, unit penyedia udara tekan dan unit pembangkit tenaga listrik. Bentuk perusahaan adalah Perseroan Terbatas (PT) menggunakan struktur organisasi *line and staff* dengan jumlah karyawan sebanyak 186 orang.

Dari analisis ekonomi diperoleh:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI) =	Rp 491.503.025.946,76
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI) =	Rp 122.875.756.486,69
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI) =	Rp 614.378.782.433,44
<i>Break Even Point</i>	(BEP) =	47,92 %
<i>Shut Down Point</i>	(SDP) =	29,09 %
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) <sub>b</sub> =	2,012 tahun
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) <sub>a</sub> =	2,394 tahun
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) <sub>b</sub> =	31,77 %
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) <sub>a</sub> =	25,41 %
<i>Interest Rate of Return</i>	(IRR) =	31,78 %

Mempertimbangkan paparan diatas, sudah selayaknya pendirian pabrik *t-Butyl Alcohol* ini dikaji lebih lanjut, karena merupakan pabrik yang menguntungkan dan memiliki masa depan yang baik.

Kata Kunci : *t-Butyl Alcohol, Isobutene, Water*

## ABSTRACT

### PREDESIGN OF *t*-BUTYL ALCOHOL FROM ISOBUTENE AND WATER WITH CAPACITY 35.000 TONS/YEARS

(Distillation Column Design (DC-402))

By

MARIA FRANSISCA VABYLITA

A *t*-Butyl Alcohol plant made from *Isobutene* and *Water* will be established in Kragilan District, Serang, Banten. The established of the factory was based on domestic demand that increased every year and absence of a factory producing *t*-Butyl Alcohol.

This plant is planned to produce 35.000 tons/year of *t*-Butyl Alcohol, with an operating time of 24 hours/day, 330 days/year. The plant required 3.448,872 kg/hour of *Isobutene* and 1.218,111 kg/hour of *Water*.

The *t*-Butyl Alcohol plant also require various utilities, including water treatment and supply system, steam supply system, compressed air supply system and power generation system. Labor needed in this plant as many as 186 people with a bussiness entity form Limited Liability Company (PT) with line and staff organizational structure.

The economic analysis shows the following result:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI) =	Rp 491.503.025.946,76
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI) =	Rp 122.875.756.486,69
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI) =	Rp 614.378.782.433,44
<i>Break Even Point</i>	(BEP) =	47,92 %
<i>Shut Down Point</i>	(SDP) =	29,09 %
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) <sub>b</sub> =	2,012 tahun
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) <sub>a</sub> =	2,394 tahun
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) <sub>b</sub> =	31,77 %
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) <sub>a</sub> =	25,41 %
<i>Interest Rate of Return</i>	(IRR) =	31,78 %

By considering the summary, it is proper establishment of *t*-Butyl Alcohol plant for studied further, because the plant is profitable and has good prospects future

Keywords : *t*-Butyl Alcohol, *Isobutene*, *Water*

Judul Skripsi

: **PRARANCANGAN PABRIK *t*-BUTYL  
ALCOHOL DARI ISOBUTENE DAN WATER  
DENGAN KAPASITAS 35.000 TON/TAHUN  
(Perancangan *Distillation Column* (DC-  
402))**

Nama Mahasiswa

: **Maria Fransisca Dabyfita**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1815041045

Program Studi

: Teknik Kimia

Fakultas

: Teknik



**MENYETUJUI**  
1. **Komis Pembimbing**

**Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc.**  
NIP. 196809021997122005

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

2. **Ketua Jurusan Teknik Kimia**

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

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji


Ketua

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

Sekretaris

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

Penguji

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

Bukan Pembimbing II : **Panca Nugrahini, S.T., M.T.**.....

2. Dekan Fakultas Teknik



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

**NIP. 197509282001121001**

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 07 Desember 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, 15 Desember 2023



Maria Fransisca Vabylita

NPM. 1815041045

## RIWAYAT HIDUP



**Maria Fransisca Vabylita**, penulis laporan skripsi ini dilahirkan di Bandarlampung pada 7 September 2001, anak pertama dari pasangan Bapak Budiyanto dan Ibu Vincentia Angelika.

Penulis menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-Kanak di TK Ekadyasa pada tahun 2006, pendidikan Sekolah Dasar di SDN 1 Candimas pada tahun 2012, pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Natar pada tahun 2015 dan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Natar pada tahun 2018.

Pada tahun 2018, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui Jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam berbagai organisasi antara lain sebagai Staff Departemen Riset Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung (Himatemia FT Unila) Periode 2019, Sekretaris Departemen Riset Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung (Himatemia FT Unila) Periode 2020, Staff Dinas Internal dan Advokasi Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM FT Unila) Periode 2020.



Selain aktif dalam organisasi penulis juga aktif mengikuti beberapa kegiatan lainnya, pada Februari hingga Juni 2020, penulis berpartisipasi sebagai Mentor dalam Perkuliahan Pendidikan Agama Katolik Semester Genap TA 2019/2020. Pada 2021, penulis mengikuti Kredensial Mikro Mahasiswa Indonesia (KMMI) di Universitas Jambi. Pada Tahun 2022, penulis terdaftar sebagai Asisten Praktikum Kimia Fisika Semester Genap TA 2021/2022. Pada tahun 2022–2023, penulis tergabung sebagai Asisten Laboratorium Unit Layanan Komputer Teknik Kimia Universitas Lampung. Pada Tahun 2023, penulis berpartisipasi sebagai Asisten Mata Kuliah “Aplikasi Komputer dalam Teknik Kimia” Semester Genap TA 2022/2023. Di tahun yang sama, penulis berhasil memublikasikan 2 *scientific journal* dengan judul “Perancangan *Mobile Robotic Harvester* yang Dilengkapi dengan Sensor Warna TCS230D untuk Proses Panen Selektif Buah Kopi Matang (*Ripe Coffee Cherry*)” dan “Pengaruh Temperatur Air terhadap pH dan TDS Hasil Ekstraksi Kopi Arabika Gayo” yang dapat diakses pada Jurnal Teknologi dan Inovasi Industri yang diterbitkan oleh Universitas Lampung.

Selama berkuliah di Teknik Kimia Universitas Lampung, penulis pernah mengikuti beberapa lomba dan 2 diantaranya berhasil memperoleh penghargaan. Pada tahun 2022, penulis menjadi *finalist* pada Simulasi Proses *Competition* yang diadakan oleh *Engineering Festival and Competition* (EFFECT) Politeknik Negeri Sriwijaya. Pada tahun yang sama, penulis bersama tim memenangkan juara 2 dalam Lomba Karya Tulis Ilmiah Nasional (LKTIN) yang diadakan oleh Gebyar LS-MATA Cup.

Pada tahun 2021, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Banjarnegeri, Natar, Lampung Selatan dan melakukan Kerja Praktik (KP) di PT. Buma Cima Nusantara Unit Cinta Manis dengan Tugas Khusus “Analisis Neraca Massa dan Neraca Panas pada *Juice Heater II*”. Pada tahun 2021 hingga 2022, penulis melakukan penelitian dengan judul “Isolasi Selulosa dari Biomassa Lignoselulosa Tongkol Jagung Menggunakan Bantuan Gelombang Mikro”.

## Motto dan Persembahan

“Sebab Tuhan, Dia sendiri akan berjalan di depanmu. Dia sendiri akan menyertai engkau. Dia tidak akan membiarkan engkau dan tidak akan meninggalkan engkau”

(Ulangan 31:8)

“Kuatkanlah hatimu, jangan lemah semangatmu, karena ada upah bagi usahamu!”

(2 Tawarikh 15:7)

*“Dandelions are the flowers of hope. They remind us that even in the darkest of times, there is always light and new beginnings”*

(Anonim)

“Kerahkanlah segala upaya terbaik yang bisa kamu lakukan, sisanya percayakan semua kepada Tuhan, karena Ia pasti tak akan pernah mengecewakan”

(Maria Fransisca Vabylita)

“Jangan pernah berhenti untuk berbuat baik, karena hidup kitapun selalu diiringi oleh kebaikan-kebaikan dari banyak orang”

(Maria Fransisca Vabylita)

*Dengan mengucapkan syukur kepada Tuhan YME,  
Kupersembahkan karya kecilku ini kepada:*

*Kedua Orang Tuaku, Papi dan Mami Tercinta,  
Terima kasih yang tak terhingga untuk segala bentuk kasih dan sayang yang  
hingga detik ini masih senantiasa tercurah untuk putri sulungmu ini.*

*Adikku Tersayang dan Seluruh Keluarga,  
Terima kasih banyak untuk doa 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 kelak dapat berguna dikemudian hari.*

## SANWACANA

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga Tugas Akhir dengan judul “Prarancangan Pabrik *t-Butyl Alcohol* dari *Isobutene* dan *Water* dengan Kapasitas 35.000 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 Dosen Pembimbing II, 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.
3. Ibu Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc. 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.
4. Bapak Ir. Azhar, M.T. selaku Dosen Penguji 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.

5. Ibu Panca Nugrahini F, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan banyak saran dan masukan dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
6. Bapak Heri Rustamaji, S.T., M.Eng., Bapak Muhammad Hanif, S.T., M.T. dan Ibu Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan dan motivasi selama masa kuliah.
7. Bapak Prof. Dr. Ir. Joni Agustian, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Kerja Praktik dan Ibu Dr. Herti Utami, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Seminar Kerja Praktik atas segala ilmu yang telah diberikan. Semoga ilmu yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
8. Bapak Muhammad Hanif, S.T., M.T. dan Ibu Simparmin Br. Ginting, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Penelitian serta Ibu Dr. Eng. Dewi Agustina Iryani, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Seminar Penelitian atas segala ilmu yang telah diberikan. Semoga ilmu yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
9. 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.
10. Kedua Orangtua dan Adik Tercinta yang selalu menyemangati, memotivasi dan memberikan dukungan yang tak terhingga. Terimakasih karena selalu hadir dalam suka duka masa kuliah di Teknik Kimia Universitas Lampung. Terimakasih karena selalu percaya bahwa cece bisa melalui semua ini walaupun terkadang cece-pun tidak mempercayai diri cece sendiri. Mungkin sekedar kata “Terimakasih” tidak sepenuhnya dapat mewakili rasa syukur cece karna memiliki kalian, tapi percayalah bahwa cece selalu sayang dan bangga menjadi anak dan bagian dari keluarga kecil kita.
11. Kung-kung Arifin Cong Cen Lung (Alm), atas segala dukungan, semangat, doa-doa dan kebaikan kung-kung kepada Siau Ing. Kung, terimakasih karena selalu memberikan banyak perhatian dan juga motivasi kepada Siau Ing sehingga Siau Ing lebih terpacu dalam menyelesaikan pendidikan S1 ini Kung. Semoga mimpi – mimpi yang pernah jadi topik obrolan kita kala itu dapat terwujud menjadi sebuah realitas yang indah ya kung. Semoga kung-

kung selalu bahagia disana ya kung. Harapan kung-kung untuk menyekolahkan anak hingga sarjana telah terwujud, bahkan ada bonus sampai ke cucu juga ya kung.

12. Pho-pho Agnes Tjen Moy Djin (Almh), atas segala kebaikan pho-pho kepada Siau Ing. Pho, terimakasih karena sudah hadir menemani masa kecil Siau Ing. Kini, Siau Ing kecil yang dulu menjadi cucu kesayangan pho-pho sudah menyelesaikan pendidikan S1 pho, semoga sebuah pencapaian kecil ini dapat mengukir senyuman pho-pho di Surga sana ya pho.. Bahagia selalu pho-pho.
13. Kung-kung Yosef Bong Sin Kie, pho-pho Yosefa Liu Ngit Nyong dan Jiji Yosefina Agatha atas segala dukungan dan semangat kepada Siau Ing selama masa pendidikan mulai dari SD – terselesainya pendidikan S1 ini. Terimakasih untuk sarapan enak yang selalu menemani hari-hari Siau Ing selama ini.
14. Keluarga besar tercinta, atas doa dan segala bentuk dukungan baik materi maupun moril yang telah diberikan selama ini.
15. Eka Nur'Aini, selaku Partner Sehidup Setekim. Terimakasih karena selalu menemani sejak masa Kerja Praktik, Kuliah Kerja Nyata (KKN), Penelitian dan juga Tugas Akhir (TA) ini. Terimakasih karena mau bersama-sama menghadapi suka duka perjalanan hidup di Teknik Kimia. Terimakasih karena sudah mau ber-partner bersama, saling mengerti, saling memahami, saling membantu, saling mendukung dan juga saling back-up dalam penyelesaian laporan-laporan sampai dengan tugas akhir ini. Akhirnya, kerja keras kita terbayar tuntas ya. Keren! Selamat untuk kita berdua. Semoga setelah ini kita juga sukses bareng yaa? Amin. *See u on top*, Eka!.
16. Bapak Muhammad Haviz, S.T., M.T. dan teman – teman Tim ULK yaitu Amandha, Cica, Galuh, Cia, Kak Rian, Hussein, Rafli dan Adarson atas segala bimbingan, bantuan, dukungan, motivasi dan kebaikan yang telah diberikan. Terimakasih telah menjadi rumah selama berkuliah di Teknik Kimia ini. Terimakasih atas canda tawa yang menyenangkan yang pastinya akan selalu dikenang sebagai memori manis di kemudian hari.
17. Sahabat – sahabat yang turut menemani perjalanan ini, Lilis, Vebya, Rian, Luisa, Tarin, Retno, Kevin, Silva, Nico, Anggi, Tika, Octa, Zaher, Ezza and

*special thanks to* Ko Kevin, karena sudah selalu menyemangati, memotivasi, memberikan bantuan dan menyediakan telinga untuk mendengar segala cerita tentang perjalanan ini.

18. Cecan Premium (Eka, Nitha, Ulan, Kiki), terimakasih karena selalu menyemangati, mendukung dan memberikan kebaikan kebaikan selama berkuliah di Teknik Kimia. Terimakasih karena sudah mau kebersamai dan terus berusaha untuk selalu ada di kala suka maupun duka.
19. Sahabat – sahabat KMK FT 2018 yaitu Jo, Domi, David, Rio, Albert, Danang, Dimas, Lucky, Wahyu yang selalu mau direpotkan dalam hal apapun. Terimakasih karena selalu merayakan pencapaian – pencapaian kecil yang berhasil diperoleh. Terimakasih karena sudah menyediakan telinga untuk mendengarkan cerita suka duka perjalanan ini.
20. Teman-teman angkatan 2018 Teknik Kimia atas kebersamaannya dalam menemani perjalanan, membantu dalam banyak hal dan juga memberikan kebahagiaan selama studi di Teknik Kimia. Terimakasih atas semua doa baiknya hingga dapat terselesainya Tugas Akhir ini. *See u on top yaa guys!*
21. Mbak Ning, Mbak Yun dan Mas Adi atas segala bantuannya selama ini. Terimakasih karena sudah mau membagi cerita menyenangkan di sela waktu menunggu dosen. Terimakasih sudah mau membantu menyiapkan berkas – berkas administrasi, ruangan seminar dan lain sebagainya.
22. Pihak – pihak lainnya yang turut berkontribusi dalam mendukung dan berkontribusi dalam perjalanan studi di Teknik Kimia yang tidak dapat disebutkan satu persatu

Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas semua kebaikan kalian dengan yang lebih baik dan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat. Amin.

Bandar Lampung, 15 Desember 2023  
Penulis,

Maria Fransisca Vabylita



## DAFTAR ISI

<b>COVER</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Kegunaan Produk.....	2
1.3 Ketersediaan Bahan Baku .....	3
1.4 Analisis Pasar.....	3
1.5 Kapasitas Pabrik.....	6
1.6 Lokasi Pabrik .....	7
<b>II. DESKRIPSI PROSES</b>	
2.1 Jenis-Jenis Proses.....	11
2.2 Pemilihan Proses.....	12
2.3 Uraian Proses .....	29
<b>III. SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK</b>	
3.1 Spesifikasi Bahan Baku Utama.....	32
3.2 Spesifikasi Bahan Baku Penunjang .....	44
3.3 Spesifikasi Produk .....	47
<b>IV. NERACA MASSA DAN NERACA PANAS</b>	
4.1 Neraca Massa .....	55
4.2 Neraca Panas.....	61
<b>V. SPESIFIKASI ALAT</b>	
5.1 Spesifikasi Peralatan Proses.....	70
5.2 Spesifikasi Peralatan Utilitas .....	106

## **VI. UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH**

6.1	Unit Pendukung Proses .....	155
6.2	Unit Pengolahan Limbah .....	174
6.3	Unit Laboratorium .....	176
6.4	Instrumentasi dan Pengendalian Proses .....	179

## **VII. LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK**

7.1	Lokasi Pabrik .....	181
7.2	Tata Letak Pabrik .....	184
7.3	Estimasi Area Pabrik .....	187
7.4	Tata Letak Peralatan Proses .....	189

## **VIII. SISTEM MANAJEMEN DAN OPERASI PERUSAHAAN**

8.1.	<i>Project Master Schedule</i> .....	192
8.2.	Bentuk Perusahaan.....	194
8.3.	Struktur Organisasi Perusahaan .....	197
8.4.	Tugas dan Wewenang .....	200
8.5.	Status Karyawan dan Sistem Penggajian.....	207
8.6.	Pembagian Jam Kerja Karyawan .....	208
8.7.	Penggolongan Jabatan dan Jumlah Karyawan.....	210
8.8.	Kesejahteraan Karyawan .....	214

## **IX. INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI**

9.1	Investasi .....	217
9.2	Evaluasi Ekonomi .....	222
9.3	Angsuran Pinjaman.....	224
9.4	<i>Discounted Cash Flow (DCF)</i> .....	224

## **X. KESIMPULAN DAN SARAN**

10.1	Kesimpulan .....	226
10.2	Saran .....	226

## **DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN A (NERACA MASSA)**

**LAMPIRAN B (NERACA PANAS)**

**LAMPIRAN C (SPESIFIKASI ALAT)**

**LAMPIRAN D (UTILITAS)**

**LAMPIRAN E (INVESTASI EKONOMI)**

**LAMPIRAN F (TUGAS KHUSUS)**

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.1.</b> Harga Bahan Baku, Katalis dan Produk.....	4
<b>Tabel 1.2.</b> Data Impor <i>t-Butyl Alcohol</i> di Indonesia.....	4
<b>Tabel 1.3.</b> Perusahaan di China yang Memproduksi <i>t-Butyl Alcohol</i> .....	6
<b>Tabel 2.1.</b> Harga Produk, Bahan Baku dan Katalis.....	12
<b>Tabel 2.2.</b> Data Panas Pembentukan Standar ( $\Delta H^{\circ}F$ ) Pada Suhu 25°C .....	20
<b>Tabel 2.3.</b> Data Konstanta A, B, C, D untuk Cp Cair dalam kJ/Kmol .....	20
<b>Tabel 2.4.</b> Data Energi Bebas Gibbs ( $\Delta G^{\circ}F$ ) Pada Suhu 25°C.....	25
<b>Tabel 2.5.</b> Perbandingan Proses Produksi <i>t-Butyl Alcohol</i> .....	28
<b>Tabel 3.1.</b> Komposisi <i>Mixed C<sub>4</sub> Hydrocarbon (Major Isobutene)</i> .....	32
<b>Tabel 3.2.</b> Syarat Baku Air Proses.....	44
<b>Tabel 4.1.</b> Neraca Massa Reaktor (RE-201).....	55
<b>Tabel 4.2.</b> Neraca Massa <i>Knock Out Drum</i> (KO-301) .....	56
<b>Tabel 4.3.</b> Neraca Massa <i>Extractive Distillation Column</i> (DC-401).....	56
<b>Tabel 4.4.</b> Neraca Massa Kondensor (CD-401) .....	57
<b>Tabel 4.5.</b> Neraca Massa Reboiler (RB-401) .....	57
<b>Tabel 4.6.</b> Neraca Massa <i>Distillation Column</i> (DC-402) .....	58
<b>Tabel 4.7.</b> Neraca Massa Kondensor (CD-402) .....	58
<b>Tabel 4.8.</b> Neraca Massa Reboiler (RB-402) .....	59
<b>Tabel 4.9.</b> Neraca Massa <i>Distillation Column</i> (DC-403).....	59
<b>Tabel 4.10.</b> Neraca Massa Kondensor (CD-403) .....	60
<b>Tabel 4.11.</b> Neraca Massa Reboiler (RB-403) .....	60
<b>Tabel 4.12.</b> Neraca Panas <i>Heater</i> (HE-101).....	61
<b>Tabel 4.13.</b> Neraca Panas Reaktor (RE-201).....	61
<b>Tabel 4.14.</b> Neraca Panas <i>Expander Valve</i> (EV-201) .....	62
<b>Tabel 4.15.</b> Neraca Panas <i>Knock Out Drum</i> (KO-301).....	62

<b>Tabel 4.16.</b> Neraca Panas <i>Heater</i> (HE-301).....	62
<b>Tabel 4.17.</b> Neraca Panas <i>Heater</i> (HE-102).....	63
<b>Tabel 4.18.</b> Neraca Panas <i>Extraction Distillation Column</i> (DC-401).....	63
<b>Tabel 4.19.</b> Neraca Panas Kondensor (CD-401).....	64
<b>Tabel 4.20.</b> Neraca Panas <i>Reboiler</i> (RB-401).....	64
<b>Tabel 4.21.</b> Neraca Panas <i>Cooler</i> (CO-401).....	65
<b>Tabel 4.22.</b> Neraca Panas <i>Distillation Column</i> (DC-402).....	65
<b>Tabel 4.23.</b> Neraca Panas Kondensor (CD-402).....	66
<b>Tabel 4.24.</b> Neraca Panas <i>Reboiler</i> (RB-402).....	66
<b>Tabel 4.25.</b> Neraca Panas <i>Cooler</i> (CO-402).....	67
<b>Tabel 4.26.</b> Neraca Panas <i>Distillation Column</i> (DC-403).....	67
<b>Tabel 4.27.</b> Neraca Panas Kondensor (CD-403).....	68
<b>Tabel 4.28.</b> Neraca Panas <i>Reboiler</i> (RB-403).....	68
<b>Tabel 4.29.</b> Neraca Panas <i>Cooler</i> (CO-403).....	69
<b>Tabel 4.30.</b> Neraca Panas <i>Cooler</i> (CO-404).....	69
<b>Tabel 5.1.1.</b> Spesifikasi Tangki Air (ST-101).....	70
<b>Tabel 5.1.2.</b> Spesifikasi Pompa Proses (PP-101).....	71
<b>Tabel 5.1.3.</b> Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-101).....	72
<b>Tabel 5.1.4.</b> Spesifikasi Reaktor (RE-201).....	73
<b>Tabel 5.1.5.</b> Spesifikasi <i>Expander Valve</i> (EV-201).....	74
<b>Tabel 5.1.6.</b> Spesifikasi Pompa Proses (PP-102).....	74
<b>Tabel 5.1.7.</b> Spesifikasi <i>Knock Out Drum</i> (KO-301).....	75
<b>Tabel 5.1.8.</b> Spesifikasi Kompresor (CM-301).....	75
<b>Tabel 5.1.9.</b> Spesifikasi Tangki <i>Mixed C<sub>4</sub> Hydrocarbon</i> (ST-301).....	76
<b>Tabel 5.1.10.</b> Spesifikasi Pompa Proses (PP-103).....	77
<b>Tabel 5.1.11.</b> Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-301).....	78
<b>Tabel 5.1.12.</b> Spesifikasi <i>Storage Tank</i> Gliserol (ST-102).....	79
<b>Tabel 5.1.13.</b> Spesifikasi Pompa Proses (PP-104).....	80
<b>Tabel 5.1.14.</b> Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-102).....	81
<b>Tabel 5.1.15.</b> Spesifikasi <i>Extractive Distillation Column</i> (DC-401).....	82
<b>Tabel 5.1.16.</b> Spesifikasi Kondensor (CD-401).....	83
<b>Tabel 5.1.17.</b> Spesifikasi <i>Accumulator</i> (ACC-401).....	84

<b>Tabel 5.1.18.</b> Spesifikasi Pompa Proses (PP-105) .....	85
<b>Tabel 5.1.19.</b> Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-401).....	86
<b>Tabel 5.1.20.</b> Spesifikasi <i>Storage Tank T-Butyl Alcohol</i> (ST-401).....	87
<b>Tabel 5.1.21.</b> Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-401) .....	88
<b>Tabel 5.1.22.</b> Spesifikasi Pompa Proses (PP-106) .....	89
<b>Tabel 5.1.23.</b> Spesifikasi <i>Distillation Column</i> (DC-402).....	90
<b>Tabel 5.1.24.</b> Spesifikasi Kondensor (CD-402) .....	91
<b>Tabel 5.1.25.</b> Spesifikasi <i>Accumulator</i> (ACC-402).....	92
<b>Tabel 5.1.26.</b> Spesifikasi Pompa Proses (PP-107) .....	93
<b>Tabel 5.1.27.</b> Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-402).....	94
<b>Tabel 5.1.28.</b> Spesifikasi <i>Storage Tank Sec-Butyl Alcohol</i> (ST-402).....	95
<b>Tabel 5.1.29.</b> Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-402) .....	96
<b>Tabel 5.1.30.</b> Spesifikasi Pompa Proses (PP-108) .....	97
<b>Tabel 5.1.31.</b> Spesifikasi <i>Distillation Column</i> (DC-403).....	98
<b>Tabel 5.1.32.</b> Spesifikasi Kondensor (CD-403) .....	99
<b>Tabel 5.1.33.</b> Spesifikasi <i>Accumulator</i> (ACC-403).....	100
<b>Tabel 5.1.34.</b> Spesifikasi Pompa Proses (PP-109) .....	101
<b>Tabel 5.1.35.</b> Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-403).....	102
<b>Tabel 5.1.36.</b> Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-403) .....	103
<b>Tabel 5.1.37.</b> Spesifikasi Pompa Proses (PP-110) .....	104
<b>Tabel 5.1.38.</b> Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-404).....	105
<b>Tabel 5.2.1.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-501) .....	106
<b>Tabel 5.2.2.</b> Spesifikasi <i>Sedimentation Basin</i> (SB-501).....	106
<b>Tabel 5.2.3.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-502) .....	107
<b>Tabel 5.2.4.</b> Spesifikasi <i>Storage Tank Hydrant Water</i> (ST-509) .....	108
<b>Tabel 5.2.5.</b> Spesifikasi <i>Dissolving Tank Alum</i> (DT-501).....	109
<b>Tabel 5.2.6.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-503) .....	110
<b>Tabel 5.2.7.</b> Spesifikasi <i>Dissolving Tank NaOH</i> (DT-502) .....	111
<b>Tabel 5.2.8.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-504) .....	112
<b>Tabel 5.2.9.</b> Spesifikasi <i>Dissolving Tank Kaporit</i> (DT-503).....	113
<b>Tabel 5.2.10.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-505) .....	114
<b>Tabel 5.2.11.</b> Spesifikasi <i>Clarifier</i> (CL-501) .....	115

<b>Tabel 5.2.12.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-506) .....	116
<b>Tabel 5.2.13.</b> Spesifikasi <i>Sand Filter</i> (SF-501).....	117
<b>Tabel 5.2.14.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-507) .....	118
<b>Tabel 5.2.15</b> Spesifikasi <i>Storage Tank Filtered Water</i> (ST-504).....	119
<b>Tabel 5.2.16.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-508) .....	120
<b>Tabel 5.2.17.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-510) .....	121
<b>Tabel 5.2.18.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-509) .....	122
<b>Tabel 5.2.19.</b> Spesifikasi <i>Storage Tank Domestic Water</i> (ST-510) .....	123
<b>Tabel 5.2.20.</b> Spesifikasi Tangki Kondensat (ST-511) .....	124
<b>Tabel 5.2.21.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-510) .....	125
<b>Tabel 5.2.22</b> .Spesifikasi Hot Basin (HB-501).....	125
<b>Tabel 5.2.23.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-511) .....	126
<b>Tabel 5.2.24.</b> Spesifikasi <i>Storage Tank Asam Sulfat</i> (ST-505) .....	127
<b>Tabel 5.2.25.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-512) .....	128
<b>Tabel 5.2.26.</b> Spesifikasi <i>Storage Tank Dispersant</i> (ST-506).....	129
<b>Tabel 5.2.27.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-513) .....	130
<b>Tabel 5.2.28.</b> Spesifikasi <i>Storage Tank Inhibitor</i> (ST-507) .....	131
<b>Tabel 5.2.29.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-514) .....	132
<b>Tabel 5.2.30.</b> Spesifikasi <i>Cooling Tower</i> (CT-501) .....	133
<b>Tabel 5.2.31.</b> Spesifikasi <i>Cold Basin</i> (CB-501) .....	134
<b>Tabel 5.2.32</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-515) .....	134
<b>Tabel 5.2.33</b> Spesifikasi <i>Cation Exchanger</i> (CE-501) .....	135
<b>Tabel 5.2.34.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-516) .....	136
<b>Tabel 5.2.35.</b> Spesifikasi <i>Anion Exchanger</i> (AE-501) .....	137
<b>Tabel 5.2.36.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-517) .....	138
<b>Tabel 5.2.37.</b> Spesifikasi <i>Storage Tank Demin Water</i> (ST-508).....	139
<b>Tabel 5.2.38.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-518) .....	140
<b>Tabel 5.2.39.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-519) .....	141
<b>Tabel 5.2.40.</b> Spesifikasi <i>Storage Tank Hydrazine</i> (ST-601).....	142
<b>Tabel 5.2.41.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-602) .....	143
<b>Tabel 5.2.42.</b> Spesifikasi <i>Deaerator</i> (DA-601).....	144
<b>Tabel 5.2.43.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-603) .....	145

<b>Tabel 5.2.44.</b> Spesifikasi Boiler 1 (BO-601).....	145
<b>Tabel 5.2.45.</b> Spesifikasi <i>Steam Blower</i> (BS-601) .....	146
<b>Tabel 5.2.46.</b> Spesifikasi Boiler 2 (BO-602).....	146
<b>Tabel 5.2.47.</b> Spesifikasi <i>Steam Blower</i> (BS-602) .....	146
<b>Tabel 5.2.48.</b> Spesifikasi <i>Air Blower</i> (BL-701).....	147
<b>Tabel 5.2.49.</b> Spesifikasi <i>Cyclone</i> (CY-701).....	147
<b>Tabel 5.2.50.</b> Spesifikasi <i>Air Blower</i> (BL-702).....	147
<b>Tabel 5.2.51.</b> Spesifikasi <i>Air Dryer</i> (AD-701).....	148
<b>Tabel 5.2.52</b> Spesifikasi <i>Air Blower</i> (BL-703).....	148
<b>Tabel 5.2.53</b> Spesifikasi <i>Air Compressor</i> (AC-701) .....	149
<b>Tabel 5.2.54.</b> Spesifikasi <i>Air Blower</i> (BL-704).....	149
<b>Tabel 5.2.55.</b> Spesifikasi Generator (GS-801) .....	150
<b>Tabel 5.2.56.</b> Spesifikasi Tangki Bahan Bakar (ST-801).....	150
<b>Tabel 5.2.57.</b> Spesifikasi Bak Netralisasi (NB-901) .....	151
<b>Tabel 5.2.58.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-901) .....	152
<b>Tabel 5.2.59.</b> Spesifikasi Bak Sedimentasi (SB-901).....	152
<b>Tabel 5.2.60.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-902) .....	153
<b>Tabel 5.2.61.</b> Spesifikasi <i>Sand Fiter</i> (SF-901).....	153
<b>Tabel 5.2.62</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-903) .....	154
<b>Tabel 5.2.63</b> Spesifikasi Basin <i>Bio Control</i> (BB-901) .....	154
<b>Tabel 6.1.</b> Kebutuhan Air Umum .....	156
<b>Tabel 6.2.</b> Kebutuhan Air Proses.....	157
<b>Tabel 6.3.</b> Persyaratan Kualitas Air Pendingin .....	158
<b>Tabel 6.4.</b> Peralatan yang Membutuhkan Air Pendingin .....	158
<b>Tabel 6.5.</b> Kebutuhan Air Pembangkit <i>Steam</i> pada Boiler 1.....	162
<b>Tabel 6.6.</b> Kebutuhan Air Pembangkit <i>Steam</i> pada Boiler 2.....	162
<b>Tabel 6.7.</b> Kebutuhan Air Pabrik.....	164
<b>Tabel 6.8.</b> Tingkatan Kebutuhan Informasi dan Sistem Pengendalian .....	180
<b>Tabel 6.9.</b> Pengendalian Variabel Utama Proses.....	180
<b>Tabel 7.1.</b> Perincian Luas Area Pabrik <i>t-Butyl Alcohol</i> .....	188
<b>Tabel 8.1.</b> <i>Project Master Schedule of t-Butyl Alcohol Plant</i> .....	194
<b>Tabel 8.2.</b> Jadwal Kerja Masing – Masing Regu .....	210



<b>Tabel 8.3.</b> Perincian Tingkat Pendidikan .....	210
<b>Tabel 8.4.</b> Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat Proses .....	212
<b>Tabel 8.5.</b> Jadwal Operator Berdasarkan Jenis Alat Utilitas .....	212
<b>Tabel 8.6.</b> Perincian Jumlah Karyawan Berdasarkan Jabatan.....	213
<b>Tabel 9.1.</b> <i>Fixed Capital Investment</i> (FCI).....	218
<b>Tabel 9.2.</b> <i>Manufacturing Cost</i> .....	219
<b>Tabel 9.3.</b> <i>General Expenses</i> .....	220
<b>Tabel 9.4.</b> Biaya Administratif .....	220
<b>Tabel 9.5.</b> <i>Minimum Acceptable Percent Return on Investment</i> .....	222
<b>Tabel 9.6.</b> <i>Acceptable Payout Time</i> untuk Tingkat Resiko Pabrik.....	223
<b>Tabel 9.7.</b> Hasil Uji Kelayakan Ekonomi.....	225

## DAFTAR GAMBAR

<b>1.1</b>	Grafik Impor <i>t-Butyl Alcohol</i> di Indonesia .....	5
<b>1.2</b>	Peta Lokasi Pabrik <i>t-Butyl Alcohol</i> .....	8
<b>6.1</b>	<i>Cooling Tower</i> .....	160
<b>6.2</b>	Diagram <i>Cooling Water System</i> .....	161
<b>6.3</b>	Diagram Alir Pengolahan Air .....	165
<b>6.4</b>	Diagram Alir Unit Pengolahan Limbah .....	175
<b>7.1</b>	Tata Letak Pabrik .....	187
<b>7.2</b>	Tata Letak Alat Proses .....	190
<b>7.3</b>	Peta Wilayah Provinsi Banten.....	191
<b>7.4</b>	Area Pabrik di Daerah Serang.....	191
<b>8.1</b>	Struktur Organisasi Perusahaan .....	199
<b>9.1</b>	Grafik Analisa Ekonomi .....	224
<b>9.2</b>	Kurva <i>Cummulative Cash Flow</i> .....	225

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Industrialisasi merupakan salah satu upaya pembangunan ekonomi dalam jangka panjang untuk menciptakan kekokohan dan keseimbangan ekonomi. Salah satu perwujudan dari upaya ini adalah dengan usaha pemenuhan kebutuhan atau permintaan khususnya dalam negeri dan menekan angka impor dari luar negeri.

Pada saat ini, industri kimia terus mengalami perkembangan secara terintegrasi. Perkembangan industri hilir menjadi pendorong dibangunnya industri-industri hulu sehingga kebutuhan bahan baku dan penyedia bahan baku dalam sektor industri saling berkaitan. Oleh karena itu, keseimbangan antara industri hulu dan hilir harus diperhatikan dalam pembangunan industri kimia. Pemenuhan bahan baku industri dalam negeri merupakan salah satu usaha pemerintah dalam memajukan sektor industri. Manifestasi dari upaya ini adalah dengan pendirian pabrik kimia yang produknya mampu memenuhi kebutuhan dalam negeri.

Dari uraian diatas maka dibuatlah suatu prarancangan pabrik pembuatan *t-Butyl alcohol*. *t-Butyl alcohol* merupakan salah satu dari empat isomer Butanol yang dikenal dengan nama *t-Butyl Alcohol*, *2-Methyl-2-propanol*, *Trimethyl carbinol*. *t-Butyl Alcohol* dapat disingkat dengan nama TBA dan memiliki rumus molekul  $C_4H_{10}O$  (Kirk-Othmer, 1997). Hingga saat ini, belum terdapat pabrik kimia yang memproduksi *t-Butyl Alcohol* di Indonesia, sehingga kebutuhan didalam negeri diperoleh dengan impor dari luar negeri. Jumlah kebutuhan produk ini tidak terlalu besar, namun selama periode tahun

2017 – 2021 terus mengalami peningkatan (BPS, 2022). Maka dari itu perlu didirikannya pabrik *t-Butyl Alcohol* didalam negeri sehingga dapat menghasilkan dan memasarkan produk dari bahan baku *t-Butyl Alcohol* dengan harga yang lebih murah, mempertahankan pasar dalam negeri dan dapat melakukan diversifikasi produk dengan nilai ekonomi yang lebih tinggi untuk memperbaiki perekonomian dan menambah pendapatan negara. Selain itu, pendirian pabrik ini juga akan membuka lapangan pekerjaan baru sehingga dapat membantu mengurangi angka pengangguran di Indonesia serta membawa dampak positif dari segi sosial, ekonomi dan kesejahteraan masyarakat.

## 1.2 Kegunaan Produk

*t-Butyl Alcohol* merupakan produk *intermediate* yang selanjutnya akan digunakan sebagai bahan baku pada banyak industri yang menunjukkan besarnya peluang pasar dalam produksi produk ini, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. *Solvent* dalam pembuatan cat

Pada pembuatan cat, *t-Butyl Alcohol* berperan melarutkan atau mendispersi komponen-komponen pembentuk film. *t-Butyl Alcohol* dipakai sebagai *latent solvent* pada cat jenis *Nitro Cellulose*.

2. *Thinner* (Penghilang Cat)

*t-Butyl Alcohol* merupakan salah satu campuran pada *thinner* yang dipakai untuk melarutkan resin dalam cat atau mengencerkan cat (Hery, 2014 dalam Dzikro, 2014).

3. Pelarut non-reaktif

4. Denaturan untuk etanol

5. Penggerak oktan pada bensin tanpa menggunakan timbal

6. Bahan penghilang air dalam pembuatan parfum

### 1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku utama dalam pembuatan *t-Butyl Alcohol* adalah *isobutene* ( $C_4H_8$ ) dan air ( $H_2O$ ). Bahan baku *Isobutene* yang digunakan berupa *Mixed C<sub>4</sub> Hydrocarbon*, diperoleh dari PT Chandra Asri Petrochemical Tbk yang terletak di Cilegon, Banten dengan kapasitas 330.000 ton/tahun. Untuk bahan baku air menggunakan air yang telah diproses di unit utilitas yang diperoleh dari Sungai Ciujung, Banten. Sedangkan, bahan baku penunjang yang digunakan dalam pembuatan *t-Butyl Alcohol* adalah katalis *styrene divinylbenzene (amberlyst-15)* yang diimpor dari Shanghai Further New Material Technology Co., Ltd. yang berlokasi di Negara China.

### 1.4 Analisis Pasar

Analisis pasar merupakan langkah untuk mengetahui seberapa besar minat pasar terhadap suatu produk. Adapun analisis pasar meliputi harga bahan baku dan data kebutuhan *t-Butyl Alcohol*.

#### 1.4.1 Harga Bahan Baku

Indonesia masih melakukan impor untuk memenuhi kebutuhan *t-Butyl Alcohol* dalam negeri. Harga *t-Butyl Alcohol* yang cukup mahal akan sangat membantu menguntungkan industri yang menggunakan *t-Butyl Alcohol* apabila dapat diperoleh dalam negeri sendiri. Harga bahan baku, katalis dan produk dapat dilihat pada Tabel 1.1 berikut.

**Tabel 1. 1** Harga Bahan Baku, Katalis dan Produk

<b>Bahan</b>	<b>Harga (USD)/Kg</b>	<b>Harga (Rp)/Kg</b>
Produk : <i>t-Butyl Alcohol</i> <sup>1</sup>	2,45	38.201,38
Bahan Baku : <i>Mixed C<sub>4</sub> Hydrocarbon (major isobutene)</i> <sup>1</sup>	1,2	18.710,88
Air <sup>2</sup>		2,145825
Katalis : <i>Styrene Divinyl Benzene (Amberlyst-15)</i> <sup>1</sup>	25	389.810,00
Asam Sulfat <sup>1</sup>	1,76	27.431,54

(Kurs 1 USD = 15.592,40) diakses pada 4 Januari 2023

Sumber : <sup>1</sup>: alibaba.com, 2022

<sup>2</sup>: PERGUB Prov. Banten No. 4 Tahun 2013

#### 1.4.2 Data Kebutuhan *t-Butyl Alcohol*

Berdasarkan data BPS, diketahui bahwa data impor *t-Butyl Alcohol* di Indonesia adalah sama dengan data *t-Butyl Alcohol* di Indonesia. Data impor *t-Butyl Alcohol* di Indonesia tahun 2017-2021 dapat dilihat pada Tabel 1.2.

**Tabel 1. 2** Data Impor *t-Butyl Alcohol* di Indonesia

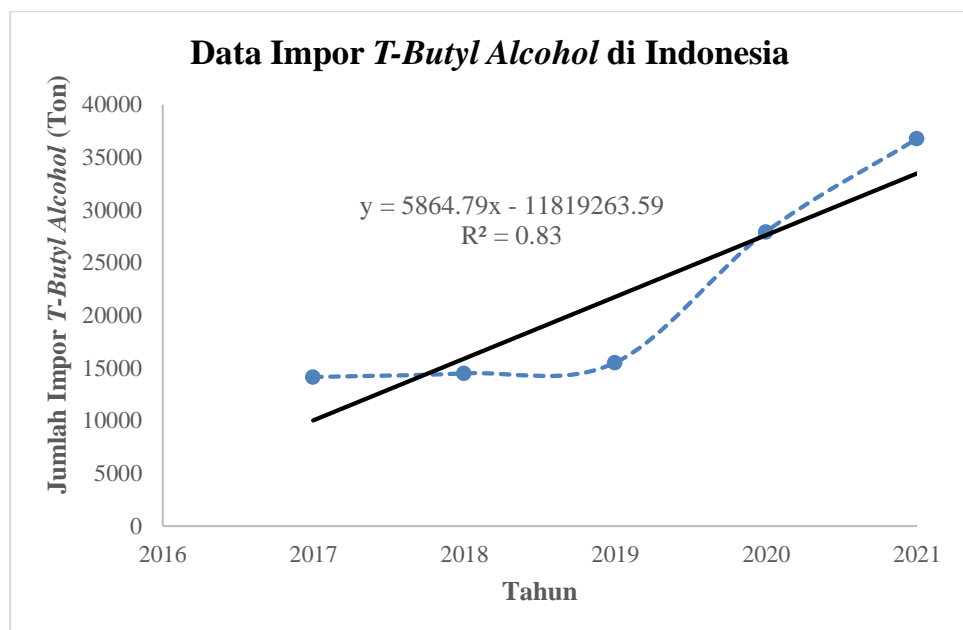
<b>Tahun</b>	<b>Kebutuhan (Ton)</b>
2017	14.122,293
2018	14.468,731
2019	15.481,817
2020	27.898,655
2021	36.731,264

Sumber : Badan Pusat Statistik, 2022

Berdasarkan Tabel 1.2. dapat dilihat bahwa jumlah impor *t-Butyl Alcohol* di Indonesia pada tahun 2017-2021 mengalami peningkatan setiap tahunnya, dikarenakan belum adanya pabrik yang memproduksi *t-Butyl*

*Alcohol* di Indonesia, sedangkan kebutuhan akan *t-Butyl Alcohol* dalam negeri terus bertambah setiap tahunnya. Pemenuhan kebutuhan *t-Butyl Alcohol* dalam negeri sampai saat ini dengan melakukan impor dari negara China.

Prarancangan pabrik *t-Butyl Alcohol* direncanakan akan beroperasi pada tahun 2027, sehingga untuk mengetahui kebutuhan *t-Butyl Alcohol* di Indonesia pada tahun tersebut maka dapat dibuat grafik berdasarkan data impor *t-Butyl Alcohol* pada Tabel 1.2. Kemudian, dari grafik tersebut akan didapatkan persamaan yang diperoleh menggunakan metode regresi linier yang ditunjukkan pada Gambar 1.1 berikut.



**Gambar 1. 1** Grafik Impor *T-Butyl Alcohol* di Indonesia tahun 2017-2021

Untuk menghitung kebutuhan impor tahun berikutnya maka dilakukan pendekatan menggunakan persamaan garis lurus :

$$y = mx + C$$

Dimana :  $y$  = kebutuhan impor *t-Butyl Alcohol* (ton/tahun)

$x$  = tahun impor *t-Butyl Alcohol*

$$m = \text{slope}$$

$$C = \text{intercept}$$

Dari grafik diatas diperoleh persamaan :

$$y = 5.864,79x - 11.819.263,59$$

Sehingga, prediksi kebutuhan *t-Butyl Alcohol* pada tahun 2027 adalah :

$$\begin{aligned} y &= 5.864,79 \times (2027) + (-11.819.263,59) \\ &= 68.665,74 \end{aligned}$$

Diperkirakan kebutuhan *t-Butyl Alcohol* di Indonesia pada tahun 2027 adalah sebesar 68.665,74 ton/tahun.

## 1.5 Kapasitas Pabrik

Kapasitas produksi suatu pabrik ditentukan berdasarkan kebutuhan konsumsi produk dalam negeri yang belum terpenuhi dan melihat kapasitas pabrik yang sudah berdiri sebagai pertimbangannya. Di dalam negeri belum terdapat pabrik yang memproduksi *t-Butyl Alcohol* maka sebagai pertimbangan dibandingkan dengan pabrik yang sudah berdiri di luar negeri yaitu negara China.

**Tabel 1. 3** Perusahaan di China yang memproduksi *t-Butyl Alcohol*

No	Perusahaan	Kapasitas Ton/tahun
1.	Shandong Jianlan Chemical Co., Ltd.	20.000
2.	Baoji Guokang Bio-Technology Co., Ltd.	30.000
3.	Sinopec Qilu Co.	50.000
4.	Sinopec Yazi-BASF	100.000

Sumber : *Institute of Resources and Enviromental Information Engineering, 2022*

Pada tahun 2027, prediksi kebutuhan *t-Butyl Alcohol* di Indonesia adalah sebesar 68.665,74 ton/tahun. Pada pabrik *t-Butyl Alcohol* ini direncanakan



akan didirikan dengan kapasitas produksi 50% dari prediksi kebutuhan *t-Butyl Alcohol* di Indonesia tahun 2027. Hal ini berdasarkan Undang-Undang Nomor 5 tahun 1999 tentang larangan praktik monopoli dan persaingan usaha tidak sehat, bahwasannya satu pelaku usaha hanya boleh menguasai 50% pasar. Maka dari itu, pendirian pabrik ini direncanakan akan memenuhi 50% dari total kebutuhan dalam negeri.

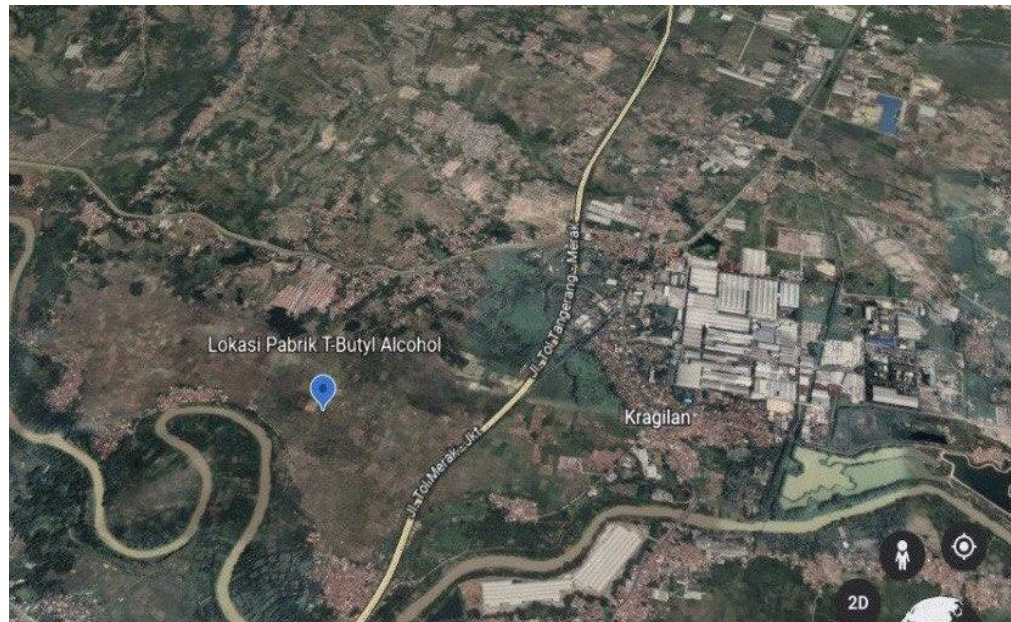
$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan } t\text{-Butyl Alcohol di Indonesia} &= 50\% \times 68.665,74 \text{ ton/tahun} \\ &= 34.332,87 \text{ ton/tahun}\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan peluang kapasitas dan dengan pertimbangan kebutuhan *t-Butyl Alcohol* didalam negeri serta perbandingan dari kapasitas pabrik yang telah berdiri diluar negeri, maka dalam perancangan pabrik ini digunakan kapasitas sebesar 35.000 ton/tahun.

Dengan kapasitas produksi 35.000 ton/tahun ini, diharapkan dapat memenuhi kebutuhan *t-Butyl Alcohol* dalam negeri sesuai dengan latar belakang pendirian pabrik untuk menekan impor dari luar negeri, serta dapat memberikan kesempatan pada industri-industri yang menggunakan *t-Butyl Alcohol* di Indonesia untuk dapat mengembangkan produksinya karena bahan tersebut dapat diperoleh dengan mudah dan murah tanpa harus mengimpor.

## **1.6 Lokasi Pabrik**

Pemilihan lokasi pabrik merupakan salah satu faktor utama yang menentukan kelangsungan suatu pabrik untuk beroperasi, terutama berkaitan dengan kegiatan fabrikasi, produksi dan distribusi. Penentuan lokasi pabrik yang tepat akan menghasilkan biaya produksi dan distribusi yang seminimal mungkin sehingga pabrik dapat berjalan efisien, ekonomis dan juga memberikan profit yang maksimal. Pabrik *t-Butyl Alcohol* ini direncanakan akan didirikan di Kecamatan Kragilan, Serang, Banten.



**Gambar 1. 2** Peta Lokasi Pabrik *t-Butyl Alcohol*

Adapun dasar pertimbangan dalam pemilihan lokasi tersebut adalah sebagai berikut :

1. Ketersediaan bahan baku

Salah satu hal yang harus dipertimbangkan dalam penempatan lokasi pabrik yaitu dekat dengan letak sumber bahan baku yang bertujuan untuk memudahkan dalam penyediaan bahan baku ke lokasi pabrik dan memperkecil biaya transportasi. Bahan baku yang digunakan dalam pabrik *t-Butyl Alcohol* ini adalah *Isobutene* berupa *Mixed C<sub>4</sub> Hydrocarbon (major isobutene)* yang diperoleh dari PT. Chandra Asri Petrochemical Tbk, Cilegon dengan jarak  $\pm 24,21$  km dan air yang diperoleh dari Sungai Ciujung, Banten dengan jarak  $\pm 337,31$  m.

2. Daerah Pemasaran

Lokasi pabrik yang dipilih harus dapat mempermudah transportasi dan pendistribusian barang ke distributor. Industri-industri di Indonesia yang membutuhkan *t-Butyl Alcohol* diantaranya yaitu pabrik cat yang memproduksi cat jenis *Nitro Cellulose* yaitu PT. Propane Raya (Tangerang, Banten) dengan jarak  $\pm 37$  km dan PT. Gajah Maju Jaya

(Tangerang, Banten) dengan jarak  $\pm 34$  km serta kepada unit Pertamina, yaitu Pertamina RU-VI Balongan (Indramayu, Jawa Barat) dengan jarak  $\pm 234$  km sebagai bahan baku untuk menaikkan nilai oktan pada bensin.

### 3. Utilitas

Unit utilitas merupakan suatu unit penunjang operasional pabrik, yaitu sebagai sarana guna kelancaran proses produksi di pabrik agar dapat berjalan dengan baik. Unit utilitas terdiri dari pengadaan air, tenaga listrik, dan bahan bakar. Air merupakan salah satu kebutuhan terpenting bagi suatu industri, dimana air tersebut digunakan untuk kebutuhan proses, media pendingin, air sanitasi, dan kebutuhan lainnya. Lokasi pabrik cukup dekat dengan sumber air, sehingga kebutuhan air dapat dipenuhi dengan mengolah air yang berasal dari Sungai Ciujung. Tenaga listrik pada pabrik digunakan sebagai alat penggerak proses, instrumen, bengkel, ruang kontrol, penerangan, serta keperluan kantor. Penyediaan tenaga listrik dilakukan dengan mensuplai dari PT PLN, serta sebagai cadangan digunakan Generator milik pabrik dengan bahan bakar yang diperoleh dari Pertamina RU-VI Balongan, Indramayu, Jawa Barat.

### 4. Transportasi

Sarana transportasi dari lokasi pabrik atau ke lokasi pabrik merupakan faktor yang penting karena berhubungan dengan pengiriman bahan baku, pengadaan peralatan dan pengiriman produk. Lokasi pabrik yang terletak di Kecamatan Kragilan, Serang, Banten ini memiliki wilayah strategis ke akses jalan yang terhubung dengan jalan tol Jakarta – Merak dengan jarak  $\pm 17$  km. Selain itu, lokasi pabrik juga mudah dijangkau karena dekat dengan Pelabuhan Merak dengan jarak  $\pm 47$  km dan juga Pelabuhan Tanjung Priok dengan jarak  $\pm 82$  km, dimana, Pelabuhan Tanjung Priok ini digunakan sebagai jalur transportasi pengiriman produk ataupun bahan baku dari luar pulau maupun dari luar negeri. Tersedianya sarana transportasi baik jalur darat maupun laut yang memadai, diharapkan kegiatan produksi pada pabrik ini dapat berjalan lancar.

5. Tenaga kerja

Tenaga kerja merupakan hal yang sangat menunjang dalam kegiatan produksi di pabrik. Tenaga kerja di Indonesia cukup banyak sehingga penyediaan tenaga kerja tidak sulit untuk diperoleh. Tenaga kerja yang dibutuhkan yaitu sumber daya manusia yang produktif dan kompeten di bidangnya masing-masing. Kebutuhan tenaga kerja pabrik dapat terpenuhi dari daerah sekitar lokasi pabrik, mulai dari tenaga kerja terdidik, terlatih, terampil, hingga tenaga kerja kasar. Sedangkan untuk tenaga ahli dapat diperoleh dari lulusan perguruan tinggi di Indonesia. Dengan memanfaatkan masyarakat sekitar sebagai tenaga kerja, maka berdirinya pabrik ini dapat mengurangi pengangguran di daerah tersebut dan mampu meningkatkan taraf hidup masyarakat setempat.

6. Perijinan

Lokasi pabrik yang dipilih merupakan daerah khusus untuk kawasan industri, sehingga memudahkan dalam perizinan pendirian pabrik. Selain itu, karena berada di kawasan industri, lokasi pabrik yang didirikan jauh dari pemukiman penduduk, sehingga tidak menimbulkan dampak negatif bagi masyarakat dan lingkungan sekitarnya.

## **BAB II**

### **DESKRIPSI PROSES**

#### **2.1 Jenis-Jenis Proses**

Berikut merupakan jenis-jenis proses pembuatan *t-Butyl Alcohol* berdasarkan beberapa paten antara lain :

##### **2.1.1 Pembuatan *t-Butyl Alcohol* dengan menggunakan Katalis Asam Sulfat**

Proses pembuatan *t-Butyl Alcohol* ini dilakukan dengan mereaksikan secara langsung *isobutene* dengan air menggunakan katalis asam sulfat. Reaksi ini dioperasikan pada suhu 35°C dan tekanan 5 atm. Konversi reaksi yang diperoleh dengan rasio mol reaktan 1 : 1,1 sebesar 48%. *Yield* pada proses ini adalah sebesar 88%. Dalam proses menggunakan katalis asam sulfat ini dibutuhkan alat *neutralizer* untuk menetralkan produk serta *decanter* (US Pat. 3,950,442, 1976).

##### **2.1.2 Pembuatan *t-Butyl Alcohol* dengan menggunakan Katalis *Styrene Divnyl Benzene***

*t-Butyl Alcohol* diperoleh dengan reaksi secara langsung *isobutene* dan air menggunakan katalis *styrene divnyl benzene* (*Amberlyst-15*). Proses ini berlangsung pada suhu 60°C dan tekanan 11 atm. Konversi reaksi yang diperoleh dengan rasio mol reaktan 1 : 1,1 sebesar 97%. *Yield* pada proses ini adalah sebesar 95,2% (US Pat.7,115,787 B2, 2006).

## 2.2 Pemilihan Proses

Untuk menentukan proses mana yang akan digunakan, maka harus mempertimbangkan beberapa hal yaitu faktor ekonomis dan faktor kelayakan teknis.

### 2.2.1 Tinjauan Ekonomi

Tinjauan ekonomi bertujuan untuk mengetahui potensial ekonomi (PE) berdasarkan perhitungan ekonomi kasar pembelian bahan baku dan penjualan produk.

**Tabel 2. 1** Harga Produk, Bahan Baku dan Katalis

Bahan	Harga (USD)/Kg	Harga (Rp)/Kg
Produk : <i>t-Butyl Alcohol</i> <sup>1</sup>	2,45	38.201,38
Bahan Baku : <i>Mixed Hydrocarbon C<sub>4</sub> (major isobutene)</i> <sup>1</sup>	1,2	18.710,88
Air <sup>2</sup>		2,145825
Katalis : <i>Styrene Divinyl Benzene (Amberlyst-15)</i> <sup>1</sup>	25	389.810,00
Asam Sulfat <sup>1</sup>	1,76	27.431,54

(Kurs 1 USD = 15.592,40) diakses pada 4 Januari 2023

Sumber : <sup>1</sup>: alibaba.com, 2022

<sup>2</sup>: PERGUB Prov. Banten No. 4 Tahun 2013

Kapasitas produksi yang dirancang pada pendirian pabrik *t-Butyl Alcohol* di tahun 2027 ini adalah sebesar 35.000 ton/tahun. Dalam satu tahun, pabrik ini dirancang untuk beroperasi selama 330 hari, maka kapasitas produksi untuk setiap kg/jam sebesar :

Kapasitas produksi C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O = 35.000 Ton/Tahun

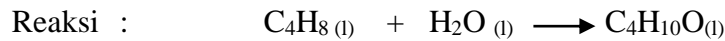
$$\begin{aligned} &= \frac{35.000 \text{ Ton}}{\text{Tahun}} \times \frac{1.000 \text{ Kg}}{1 \text{ Ton}} \times \frac{1 \text{ Tahun}}{330 \text{ Hari}} \times \frac{1 \text{ Hari}}{24 \text{ Jam}} \\ &= 4.419,191 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

a. Pembuatan *t-Butyl Alcohol* menggunakan Katalis Asam Sulfat (Proses I)

Diketahui :

Rasio *isobutene* : air adalah 1 : 1,1

Konversi = 48%, Yield = 88% (US Pat. 3,950,442, 1976)



<b>BM (kg/kmol)</b>	<b>56,107</b>	<b>18,015</b>	<b>74,123</b>
M	109,302	120,233	-
B	52,465	52,465	52,465
S	56,837	67,767	52,465

- *t-Butyl Alcohol* (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O)

Untuk kapasitas produksi *t-Butyl Alcohol* (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O) sebesar 4.419,191 kg/jam, dengan yield 88% berdasarkan (US Pat. 3,950,442, 1976), maka jumlah kmol/jam *t-Butyl Alcohol* (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O) yang dihasilkan sebesar :

$$\begin{aligned}
 \text{Massa C}_4\text{H}_{10}\text{O} &= \text{Kapasitas Produksi C}_4\text{H}_{10}\text{O} \times \text{Yield C}_4\text{H}_{10}\text{O} \\
 &= 4.419,191 \text{ kg/jam} \times 0,88 \\
 &= 3.888,89 \text{ kg/jam} \\
 &= 30.800.000 \text{ kg/tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mol C}_4\text{H}_{10}\text{O} &= \frac{\text{Massa C}_4\text{H}_{10}\text{O}}{\text{BM C}_4\text{H}_{10}\text{O}} \\
 &= \frac{3.888,89 \text{ kg/jam}}{74,123 \text{ kg/kmol}} \\
 &= 52,465 \text{ kmol/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Harga C}_4\text{H}_{10}\text{O} &= \text{Massa C}_4\text{H}_{10}\text{O} \times \text{Harga C}_4\text{H}_{10}\text{O} \\
 &= 3.888,89 \text{ kg/jam} \times \text{Rp. } 38.201,38 \\
 &= \text{Rp. } 148.560.922,22 \text{ /jam}
 \end{aligned}$$

$$= \text{Rp. } 1.176.602.504.000,00 \text{ /tahun}$$

- **Isobutene (C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>)**

$$\text{Konversi} = 48\% \quad (\text{US Pat. } 3,950,442, 1976)$$

Maka,

$$\% \text{ Konversi} = \frac{\text{Mol C}_4\text{H}_8 \text{ bereaksi}}{\text{Mol C}_4\text{H}_8 \text{ umpan}}$$

$$48\% = \frac{1}{1} \times \frac{52,456 \text{ kmol/jam}}{\text{mol C}_4\text{H}_8 \text{ umpan}}$$

$$\text{Mol C}_4\text{H}_8 \text{ umpan} = 109,302 \text{ kmol/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa C}_4\text{H}_8 \text{ umpan} &= \text{Mol C}_4\text{H}_8 \times \text{BM C}_4\text{H}_8 \\ &= 109,302 \text{ kmol/jam} \times 56,107 \text{ kg/kmol} \\ &= 6.132,652 \text{ kg/jam} \\ &= 48.570.607,864 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

Sehingga massa *Mixed C<sub>4</sub> Hydrocarbon* yang harus dibeli yaitu 10.070,0370 kg/jam atau 79.754.692,715 kg/tahun.

$$\begin{aligned} \text{Harga } \textit{Mixed C}_4 \textit{ Hydrocarbon} &= \text{Massa } \textit{Mixed C}_4 \times \text{Harga } \textit{Mixed C}_4 \\ &= 10.070,037 \text{ kg/jam} \times \text{Rp. } 18.710,88 \\ &= \text{Rp. } 188.419.253,14 \text{ /jam} \\ &= \text{Rp. } 908.798.815.261,12 \text{ /tahun} \end{aligned}$$

- **Air (H<sub>2</sub>O)**

$$\begin{aligned} \text{Mol H}_2\text{O} \text{ umpan} &= 1,1 \times \text{Mol Umpan Isobutene} \\ &= 1,1 \times 109,302 \text{ kmol/jam} \\ &= 120,233 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa H}_2\text{O} \text{ umpan} &= \text{Mol H}_2\text{O} \times \text{BM H}_2\text{O} \\ &= 120,233 \text{ kmol/jam} \times 18,015 \text{ kg/kmol} \\ &= 2.165,999 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$



$$= 17.154.712,437 \text{ kg/tahun}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga H}_2\text{O} &= \text{Massa H}_2\text{O} \times \text{Harga H}_2\text{O} \\ &= 2.165,999 \text{ kg/jam} \times \text{Rp. } 2,145825 \\ &= \text{Rp. } 4.647,85 \text{ /jam} \\ &= \text{Rp. } 36.811.010,81 \text{ /tahun} \end{aligned}$$

- **Katalis Asam Sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)**

Diketahui :

$$\text{H}_2\text{SO}_4 = 45\% \text{ w/w}$$

$$\text{BM H}_2\text{SO}_4 = 98,079$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Mol H}_2\text{SO}_4 &= \frac{(\text{Massa Zat Terlarut} \times 1.000)}{(\text{BM H}_2\text{SO}_4 \times \text{Massa Pelarut})} \\ &= \frac{(0,45 \times 1.000)}{(98,079 \times 0,55)} \\ &= 8,342 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa H}_2\text{SO}_4 &= \text{Mol H}_2\text{SO}_4 \times \text{BM H}_2\text{SO}_4 \\ &= 8,342 \times 98,079 \\ &= 818,181 \text{ kg/jam} \\ &= 6.480.000 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga katalis H}_2\text{SO}_4 &= \text{Massa H}_2\text{SO}_4 \times \text{Harga H}_2\text{SO}_4 \\ &= 818,181 \text{ kg/jam} \times \text{Rp. } 27.431,54 \\ &= \text{Rp. } 22.443.987,76 \text{ /jam} \\ &= \text{Rp. } 177.756.383.067,74 \text{ /tahun} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, maka :

$$\text{Total Cost of Product} = \text{Rp. } 1.176.602.504.000,00 \text{ /tahun}$$

$$\text{Total Cost of Feed} = \text{Harga Mixed Hydrocarbon } C_4 + \text{Harga H}_2\text{O}$$

$$\begin{aligned}
& + \text{ Harga katalis H}_2\text{SO}_4 \\
& = \text{Rp. } 908.798.815.261,12 + \text{Rp. } 36.811.010,81 \\
& + \text{Rp. } 177.756.383.067,74 \\
& = \text{Rp. } 1.086.592.009.339,68 / \text{tahun}
\end{aligned}$$

Sehingga :

*Economic Potential (EP) = Total Cost of Product - Total Cost of Feed*

$$\begin{aligned}
\text{EP/Profit} & = \text{Rp. } 1.176.602.504.000,00 - \text{Rp. } 1.086.592.009.339,68 \\
& = \text{Rp. } 90.010.494.660,33 / \text{tahun}
\end{aligned}$$

**b. Pembuatan *t*-Butyl Alcohol menggunakan Katalis Styrene Divinyl**

***Benzene (Amberlyst-15) (Proses II)***

Diketahui :

Rasio *isobutene* : air adalah 1 : 1,1

Konversi = 97%, Yield = 95,2% (US Pat.7,115,787 B2, 2006)

Reaksi :	$\text{C}_4\text{H}_8 \text{ (l)}$	+	$\text{H}_2\text{O} \text{ (l)}$	$\longrightarrow$	$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O} \text{ (l)}$
<b>BM (kg/kmol)</b>	<b>58,107</b>		<b>18,015</b>		<b>74,123</b>
M	58,513		64,364		-
<u>B</u>	<u>56,757</u>		<u>56,757</u>		<u>56,757</u>
S	1,755		7,606		56,757

• ***t*-Butyl Alcohol (C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>OH)**

Untuk kapasitas produksi *t*-Butyl Alcohol (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O) sebesar 4.419,191 kg/jam, dengan yield 95,2% berdasarkan (US Pat.7,115,787 B2, 2006), maka jumlah kmol/jam *t*-Butyl Alcohol (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O) yang dihasilkan sebesar:

$$\begin{aligned}
\text{Massa C}_4\text{H}_{10}\text{O} & = \text{Kapasitas Produksi C}_4\text{H}_{10}\text{O} \times \text{Yield C}_4\text{H}_{10}\text{O} \\
& = 4.419,191 \text{ kg/jam} \times 0,952 \\
& = 4.207,070 \text{ kg/jam} \\
& = 33.320.000 \text{ kg/tahun}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol C}_4\text{H}_{10}\text{O} &= \frac{\text{Massa C}_4\text{H}_{10}\text{O}}{\text{BM C}_4\text{H}_{10}\text{O}} \\ &= \frac{4.207,070 \text{ kg/jam}}{74,123 \text{ kg/kmol}} \\ &= 56,757 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga C}_4\text{H}_{10}\text{O} &= \text{Massa C}_4\text{H}_{10}\text{O} \times \text{Harga C}_4\text{H}_{10}\text{O} \\ &= 4.207,070 \text{ kg/jam} \times \text{Rp.}38.201,38 \\ &= \text{Rp. } 160.715.906,77 \text{ /jam} \\ &= \text{Rp. } 1.272.869.981.600,00 \text{ /tahun} \end{aligned}$$

- ***Isobutene (C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>)***

Rasio *isobutene* : air adalah 1 : 1,1 Konversi = 97%

Maka,

$$\begin{aligned} \% \text{ Konversi} &= \frac{\text{Mol C}_4\text{H}_8 \text{ bereaksi}}{\text{Mol C}_4\text{H}_8 \text{ umpan}} \\ 97\% &= \frac{1}{1} \times \frac{56,757}{\text{mol C}_4\text{H}_8 \text{ umpan}} \end{aligned}$$

$$\text{Mol C}_4\text{H}_8 \text{ umpan} = 58,513 \text{ kmol/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa C}_4\text{H}_8 \text{ umpan} &= \text{Mol C}_4\text{H}_8 \times \text{BM C}_4\text{H}_8 \\ &= 58,513 \text{ kmol/jam} \times 56,107 \text{ kg/kmol} \\ &= 3.283,009 \text{ kg/jam} \\ &= 26.001.435,062 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

Sehingga massa *Mixed Hydrocarbon C<sub>4</sub>* yang harus dibeli yaitu 5.390,820 kg/jam atau 42.695.295,669 kg/tahun.

$$\begin{aligned} \text{Harga Mixed C}_4 \text{ Hydrocarbon} &= \text{Massa} \times \text{Harga Mixed C}_4 \text{ Hydrocarbon} \\ &= 5.390,820 \text{ kg/jam} \times \text{Rp. } 18.710,88 \end{aligned}$$

$$= \text{Rp. } 100.866.989,12 \text{ /jam}$$

$$= \text{Rp. } 486.509.731.281,30 \text{ /tahun}$$

- **Air (H<sub>2</sub>O)**

$$\begin{aligned} \text{Mol H}_2\text{O umpan} &= 1,1 \times \text{Mol Umpan Isobutene} \\ &= 1,1 \times 58,513 \text{ kmol/jam} \\ &= 64,364 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa H}_2\text{O umpan} &= \text{Mol H}_2\text{O} \times \text{BM H}_2\text{O} \\ &= 64,364 \text{ kmol/jam} \times 18,015 \text{ kg/kmol} \\ &= 1.159,530 \text{ kg/jam} \\ &= 9.183.478,673 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga H}_2\text{O} &= \text{Massa H}_2\text{O} \times \text{Harga H}_2\text{O} \\ &= 1.159,530 \text{ kg/jam} \times \text{Rp. } 2,145825 \\ &= \text{Rp. } 2.488,15 \text{ /jam} \\ &= \text{Rp. } 19.706.138,12 \text{ /tahun} \end{aligned}$$

- **Katalis *Styrene Divinyl Benzene (Amberlyst-15)***

Jumlah katalis *amberlyst-15* yang dibutuhkan adalah 25% dari massa umpan C<sub>4</sub>H<sub>8</sub> + massa umpan H<sub>2</sub>O.

Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Total katalis } \textit{amberlyst-15} \text{ yang dibutuhkan :} \\ &= 25\% \times (\text{massa umpan C}_4\text{H}_8 + \text{massa umpan H}_2\text{O}) \\ &= 25\% \times (3.283,009 \text{ kg/jam} + 1.159,530 \text{ kg/jam}) \\ &= 1.110,634 \text{ kg/jam} \\ &= 8.796.228,434 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga katalis } \textit{amberlyst-15} &= \text{Massa } \textit{amberlyst-15} \times \text{Harga } \textit{amberlyst-15} \\ &= 1.110,634 \text{ kg/jam} \times \text{Rp. } 389.810,00 \\ &= \text{Rp. } 432.936.591,64 \text{ /jam} \end{aligned}$$

$$= \text{Rp. } 3.428.857.805.819,69 \text{ /tahun : 5 tahun}$$

$$= \text{Rp. } 685.771.561.163,94 \text{ /tahun}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, maka :

$$\begin{aligned} \text{Total Cost of Product} &= \text{Rp. } 1.272.869.981.600,00 \text{ /tahun} \\ \text{Total Cost of Feed} &= \text{Harga Mixed C}_4 \text{ Hydrocarbon} + \text{Harga H}_2\text{O} \\ &\quad + \text{Harga katalis } \textit{amberlyst-15} \\ &= \text{Rp. } 486.509.731.281,30 + \text{Rp. } 19.706.138,12 \\ &\quad + \text{Rp. } 685.771.561.163,94 \\ &= \text{Rp. } 1.172.300.998.583,37 \text{ /tahun} \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Economic Potential (EP)} &= \text{Total Cost of Product} - \text{Total Cost of Feed} \\ \text{EP/Profit} &= \text{Rp. } 1.272.869.981.600,00 - \text{Rp. } 1.172.300.998.583,37 \\ &= \text{Rp. } 100.568.983.016,63 \text{ /tahun} \end{aligned}$$

### 2.2.2 Kelayakan Teknis

Kelayakan teknis terhadap suatu reaksi kimia yang terjadi pada proses industri dilakukan dengan tinjauan termodinamika, yaitu entalpi panas pembentukan ( $\Delta H$ ) dan energi bebas gibbs ( $\Delta G$ ).

#### a. Tinjauan Termodinamika Berdasarkan Entalpi Panas Pembentukan ( $\Delta H$ )

$\Delta H$  menunjukkan besarnya panas reaksi yang dihasilkan selama proses berlangsungnya reaksi kimia, seperti pada reaksi pembentukan produk berupa *t-Butyl Alcohol*. Besar atau kecilnya nilai  $\Delta H$  tersebut menunjukkan jumlah energi yang dibutuhkan maupun dihasilkan. Jika  $\Delta H$  bernilai positif (+) atau  $\Delta H > 0$ , menunjukkan bahwa reaksi tersebut membutuhkan panas untuk melakukan reaksi kimia (endoterm), sehingga semakin besar  $\Delta H$  maka semakin besar juga energi yang dibutuhkan.

Sedangkan, jika  $\Delta H$  bernilai negatif (-) atau  $\Delta H < 0$ , menunjukkan bahwa reaksi tersebut menghasilkan panas selama proses berlangsungnya reaksi kimia (eksoterm), sehingga diperlukan pendingin untuk mempertahankan suhu reaksi.

**Tabel 2. 2** Data Panas Pembentukan Standar ( $\Delta H_f^\circ$ ) pada suhu 25°C (298,15 K)

Komponen	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/kmol)
C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	-16,9
H <sub>2</sub> O	-241,80
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	-325,81

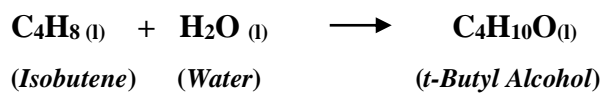
Sumber : Yaws, 1999

**Tabel 2. 3** Data konstanta A, B, C, D untuk Cp cair dalam kJ/kmol

Senyawa	A	B	C	D
C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	57,611	0,563	-0,0023	0,00000417
H <sub>2</sub> O	92,053	0,04	-0,000211	0,000000535
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	-309,415	4,49	-0,013	0,0000136

Sumber : Yaws, 1999

Reaksi :



- **Menghitung nilai panas pembentukan reaksi ( $\Delta H$ ) pada suhu 25°C (298,15 K) (keadaan standar)**

$$\Delta H_f^\circ \text{ 298 K} = \sum \Delta H_f^\circ \text{ produk} - \sum \Delta H_f^\circ \text{ reaktan}$$

$$\Delta H_f^\circ \text{ 298 K} = -325,81 - (-16,9 + (-241,80))$$

$$\Delta H_f^\circ \text{ 298 K} = -67,11 \text{ kJ/kmol}$$

- **Menghitung nilai panas pembentukan reaksi ( $\Delta H$ ) pada suhu 35°C (308,15 K) (proses I)**

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT = (\Delta A)T_0(\tau-1) + \frac{\Delta B}{2}T_0^{-2}(\tau^2-1) + \frac{\Delta C}{3}T_0^{-3}(\tau^3-1) + \frac{\Delta D}{T_0} \times \frac{\tau-1}{\tau}$$

(Smith, 2001)

Dimana,

$$\tau = \frac{T}{T_0} = \frac{308,15}{298,15} = 1,033540164 \quad ; \quad R = 8,314$$

$$\begin{aligned} \Delta A &= \Sigma A_{\text{produk}} - \Sigma A_{\text{reaktan}} \\ &= (-309,415) - (57,611 + 92,053) \\ &= -459,079 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta B &= \Sigma B_{\text{produk}} - \Sigma B_{\text{reaktan}} \\ &= (4,49) - (0,563 + 0,04) \\ &= 3,887 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta C &= \Sigma C_{\text{produk}} - \Sigma C_{\text{reaktan}} \\ &= (-0,013) - ((-0,0023) + (-0,000211)) \\ &= -0,0105 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta D &= \Sigma D_{\text{produk}} - \Sigma D_{\text{reaktan}} \\ &= (0,0000136) - (0,00000417) + 0,000000535 \\ &= 0,0000089 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT &= (-459,079) 298,15 (1,033540164 - 1) \\ &+ \frac{3,887}{2} (298,15)^2 (1,033540164^2 - 1) \\ &+ \frac{-0,0105}{3} (298,15)^3 (1,033540164^3 - 1) \\ &+ \frac{0,0000089}{298,15} \times \frac{1,033540164 - 1}{1,033540164} \\ &= -2.447,606 \text{ kJ/kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT &= -2.447,606 \times 8,314 \\ &= -20.349,400 \text{ kJ/kmol}\end{aligned}$$

Nilai ( $\Delta H_r^\circ$ ) pada 308,15 K adalah :

$$\begin{aligned}\Delta H_{r, 308 \text{ K}}^\circ &= \Delta H_f^\circ + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT \\ &= -67,11 + (-20.349,4) \\ &= -20.416,510 \text{ kJ/kmol} \\ &= -2,416 \times 10^4 \text{ kJ/kmol}\end{aligned}$$

Reaksi pembentukan produk *t-Butyl Alcohol* bersifat eksotermis yang ditandai dengan nilai ( $\Delta H_{r, 308\text{K}}^\circ$ ) bernilai negatif.



- **Menghitung nilai panas pembentukan reaksi ( $\Delta H$ ) pada suhu 60°C (333,15 K) (proses II)**

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT = (\Delta A)T_0(\tau-1) + \frac{\Delta B}{2}T_0^{-2}(\tau^2-1) + \frac{\Delta C}{3}T_0^{-3}(\tau^3-1) + \frac{\Delta D}{T_0} \times \frac{\tau-1}{\tau} \quad (\text{Smith, 2001})$$

Dimana,

$$\tau = \frac{T}{T_0} = \frac{333,15}{298,15} = 1,117390575 \quad ; \quad R = 8,314$$

$$\begin{aligned} \Delta A &= \Sigma A_{\text{produk}} - \Sigma A_{\text{reaktan}} \\ &= (-309,415) - (57,611 + 92,053) \\ &= -459,079 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta B &= \Sigma B_{\text{produk}} - \Sigma B_{\text{reaktan}} \\ &= (4,49) - (0,563 + 0,04) \\ &= 3,887 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta C &= \Sigma C_{\text{produk}} - \Sigma C_{\text{reaktan}} \\ &= (-0,013) - ((-0,0023) + (-0,000211)) \\ &= -0,0105 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta D &= \Sigma D_{\text{produk}} - \Sigma D_{\text{reaktan}} \\ &= (0,0000136) - (0,00000417) + 0,000000535) \\ &= 0,0000089 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT &= (-459,079) 298,15 (1,117390575 - 1) \\ &+ \frac{3,887}{2} (298,15)^2 (1,117390575^2 - 1) \\ &+ \frac{-0,0105}{3} (298,15)^3 (1,117390575^3 - 1) \\ &+ \frac{0,0000089}{298,15} \times \frac{1,117390575 - 1}{1,117390575} \\ &= -9.740,111 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT &= 9.740,111 \times 8,314 \\ &= -80.979,288 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

Nilai ( $\Delta H_r^\circ$ ) pada 333,15 K adalah :

$$\begin{aligned} \Delta H_{r,333\text{ K}}^\circ &= \Delta H_f^\circ + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT \\ &= -67,11 + (-80.979,288) \\ &= -81.046,398 \text{ kJ/kmol} \\ &= -8,105 \times 10^4 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

Reaksi pembentukan produk *t-Butyl Alcohol* bersifat eksotermis yang ditandai dengan nilai ( $\Delta H_{r,333\text{ K}}^\circ$ ) bernilai negatif.

**b. Tinjauan Termodinamika Berdasarkan Energi Bebas Gibbs Pembentukan ( $\Delta G^\circ_f$ )**

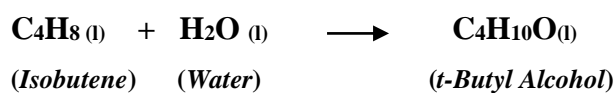
$\Delta G$  menunjukkan spontan atau tidak spontannya suatu reaksi kimia yang terjadi. Jika  $\Delta G$  bernilai positif (+) atau  $\Delta G > 0$ , menunjukkan bahwa reaksi tersebut tidak dapat berlangsung secara spontan. Sedangkan, jika  $\Delta G$  bernilai negatif (-) atau  $\Delta G < 0$  menunjukkan bahwa reaksi tersebut dapat berlangsung secara spontan dan hanya sedikit membutuhkan energi. Oleh karena itu, semakin kecil atau negatif  $\Delta G$ , maka reaksi tersebut akan semakin baik karena untuk berlangsung spontan energi yang dibutuhkan semakin kecil.

**Tabel 2. 4** Data Energi Bebas Gibbs ( $\Delta G^\circ_f$ ) pada suhu 25°C (298,15 K)

Komponen	$\Delta G^\circ_{f298}$ (kJ/kmol)
C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	58,07
H <sub>2</sub> O	-228,60
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	-191,04

Sumber : Yaws, 1999

Reaksi :



- **Menghitung nilai energi bebas gibbs ( $\Delta G^\circ$ ) pada suhu 25°C (298,15 K) (keadaan standar)**

$$\Delta G^\circ_{f298K} = \Sigma(n\Delta G^\circ_{f\text{produk}}) - \Sigma(n\Delta G^\circ_{f\text{reaktan}})$$

$$\Delta G^\circ_{f298K} = -191,04 - (58,07 + (-228,60))$$

$$\Delta G^\circ_{f298K} = -20,51 \text{ kJ/kmol}$$

- **Menghitung nilai energi bebas gibbs ( $\Delta G^\circ$ ) pada suhu 35°C (208,15 K) (proses I)**

$$\Delta G^\circ_r = \Delta H^\circ_0 - T \Delta S^\circ \quad (\text{Smith, 2001})$$

Dimana,

$$\Delta S^\circ = \Delta S^\circ_0 + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^\circ_p}{R} dT$$

$$\Delta S^\circ_0 = \frac{\Delta H_0 - \Delta G_0}{T_0}$$

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C^\circ_p}{R} dT = (\Delta A) \ln \tau + \left[ \Delta B T_0 + \left( \Delta C T_0^2 + \frac{\Delta D}{\tau^2 T_0^2} \right) \left( \frac{\tau + 1}{2} \right) \right] (\tau - 1)$$

Sehingga,

$$\Delta G^\circ_r = \Delta H_0 + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^\circ_p}{R} dT - T \Delta S^\circ_0 - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^\circ_p}{R} \frac{dT}{T}$$

$$\Delta G^\circ_r = \Delta H_0 - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0 - \Delta G_0) + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^\circ_p}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^\circ_p}{R} \frac{dT}{T}$$

Maka,

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C^\circ_p}{R} \frac{dT}{T} = (\Delta A) \ln \tau + \left[ \Delta B T_0 + \left( \Delta C T_0^2 + \frac{\Delta D}{\tau^2 T_0^2} \right) \left( \frac{\tau + 1}{2} \right) \right] (\tau - 1)$$

$$= (-459,079) \ln 1,033540164 + \left[ 3,887 \times 298,15 + \frac{0,0000089}{(1,033540164^2) \times (298,15^2)} \right] (1,033540164 - 1)$$

$$\times \left( \frac{1,033540164 + 1}{2} \right) \times (1,033540164 - 1)$$

$$= -7,420 \text{ kJ/kmol}$$

$$RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^\circ_p}{R} \frac{dT}{T} = -7,420 \times 8,314 \times 308,15 = -19.011,143 \text{ kJ/kmol}$$

$$R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^{\circ}p}{R} dT = -20.349,400 \text{ kJ/kmol}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^{\circ}_{r,308} &= (-67,11) - \left( \frac{308,15}{298,15} \right) \times (-46,600) + (-20.349,400) - (-19.011,143) \\ &= -1.357,204 \text{ kJ/kmol} \\ &= -1,357 \times 10^3 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

Karena  $\Delta G^{\circ}_{r,308 \text{ K}}$  bernilai negatif, maka reaksi berjalan dengan spontan.

- **Menghitung nilai energi bebas gibbs ( $\Delta G^{\circ}$ ) pada suhu 60°C (333,15 K) (proses II)**

$$\Delta G^{\circ}_r = \Delta H^{\circ}_0 - T \Delta S^{\circ} \quad (\text{Smith, 2001})$$

Dimana,

$$\Delta S^{\circ} = \Delta S^{\circ}_0 + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^{\circ}p}{R} dT$$

$$\Delta S^{\circ}_0 = \frac{\Delta H_0 - \Delta G_0}{T_0}$$

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C^{\circ}p}{R} dT = (\Delta A) \ln \tau + \left[ \Delta B T_0 + \left( \Delta C T_0^2 + \frac{\Delta D}{\tau^2 T_0^2} \right) \left( \frac{\tau + 1}{2} \right) \right] (\tau - 1)$$

Sehingga,

$$\Delta G^{\circ}_r = \Delta H_0 + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^{\circ}p}{R} dT - T \Delta S^{\circ}_0 - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^{\circ}p}{R} \frac{dT}{T}$$

$$\Delta G^{\circ}_r = \Delta H_0 - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0 - \Delta G_0) + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^{\circ}p}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^{\circ}p}{R} \frac{dT}{T}$$

Maka,

$$\begin{aligned} \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^{\circ}p}{R} \frac{dT}{T} &= (\Delta A) \ln \tau + \left[ \Delta B T_0 + \left( \Delta C T_0^2 + \frac{\Delta D}{\tau^2 T_0^2} \right) \left( \frac{\tau + 1}{2} \right) \right] (\tau - 1) \\ &= (-459,079) \ln 1,117390575 + [3,887 \times 298,15 \end{aligned}$$

$$+ ((-0,0105 \times (298,15^2))) + \frac{0,0000089}{(1,117390575^2) \times (298,15^2)}$$

$$\times \left( \frac{1,117390575 + 1}{2} \right) ] \times (1,117390575 - 1)$$

$$= -22,805 \text{ kJ/kmol}$$

$$RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^{\circ}p}{R} \frac{dT}{T} = (-22,805) \times 8,314 \times 333,15 = -63.167,266 \text{ kJ/kmol}$$

$$R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^{\circ}p}{R} dT = -80.979,288 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta G^{\circ}_{r,333} = (-67,11) - \left( \left( \frac{333,15}{298,15} \right) \times (-46,6) \right) + (-80.979,288) - (-63.167,266)$$

$$= -17.827,062 \text{ kJ/kmol}$$

$$= -1,783 \times 10^4 \text{ kJ/kmol}$$

Karena  $\Delta G^{\circ}_{r,333} \text{ K}$  bernilai negatif, maka reaksi berjalan dengan spontan.

**Tabel 2. 5** Perbandingan Proses Produksi *t-Butyl Alcohol*

<b>Kriteria</b>	<b>Proses I</b>	<b>Proses II</b>
Bahan baku	<i>Mixed C<sub>4</sub> Hydrocarbon (major isobutene)</i> dan Air	<i>Mixed C<sub>4</sub> Hydrocarbon (major isobutene)</i> dan Air
Katalis	Asam Sulfat	<i>Styrene Divinyl Benzene (Amberlyst-15)</i>
Suhu	35°C	60°C
Tekanan	5 atm	11 atm
Konversi	48%	97%
Yield	88%	95,2%
Produk Samping	<i>sec-Butyl Alcohol</i>	<i>sec-Butyl Alcohol</i>
$\Delta H^{\circ}_r$	$-2,416 \times 10^4 \text{ kJ/kmol}$	$-8,105 \times 10^4 \text{ kJ/kmol}$
$\Delta G^{\circ}_r$	$-1,357 \times 10^3 \text{ kJ/kmol}$	$-1,783 \times 10^4 \text{ kJ/kmol}$
Keuntungan	Rp. 90.010.494.660,33 /tahun	Rp. 100.568.983.016,63 /tahun

Berdasarkan perbandingan kedua proses diatas, maka dipilihlah proses pembuatan *t-Butyl Alcohol* menggunakan katalis *Styrene Divinyl Benzene (Amberlyst-15)* dengan pertimbangan :

1. Kondisi operasi yaitu suhu dan tekanan yang digunakan relatif rendah
2. Yield *t-Butyl Alcohol* yang dihasilkan besar, yaitu mencapai 95%
3. Secara termodinamika energi gibbs yang dihasilkan memungkinkan reaksi untuk berlangsung secara spontan dan sedikit membutuhkan energi
4. Secara ekonomi, keuntungan yang diperoleh lebih besar

## 2.3 Uraian Proses

Proses pembuatan *t-Butyl Alcohol* secara garis besar dibagi menjadi tiga tahap yaitu :

### 2.3.1 Tahap penyiapan bahan baku

Tahap penyiapan bahan baku bertujuan untuk mengkondisikan umpan agar sesuai dengan kondisi reaktor, yaitu suhu reaktan masuk reaktor 60°C dan tekanan reaktor 11 atm. Bahan baku *isobutene* berupa *mixed C<sub>4</sub> Hydrocarbon (major isobutene)* (2,4% *i-Butane*, 60,9% *i-Butene*, 20% *1-Butene*, 5,7% *n-Butane*, 5% *c-Butene*, 6% *t-Butene*) dialirkan langsung dari PT. Chandra Asri Petrochemical menggunakan pipa (*pipeline*) yang dihubungkan langsung ke reaktor. Kondisi operasi *Mixed C<sub>4</sub> Hydrocarbon* telah disesuaikan dengan kebutuhan yaitu suhu 60 °C dan bertekanan 11 atm. Bahan baku air dengan suhu 35°C diambil dari tangki penyimpanan air di unit utilitas dan dialirkan ke reaktor. Sebelum masuk ke reaktor, air dipanaskan terlebih dahulu hingga mencapai suhu 60°C menggunakan *heater*.

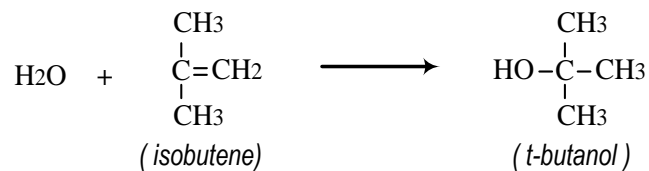
### 2.3.2 Tahap Pembentukan Produk

Tahap ini bertujuan untuk mereaksikan *isobutene* cair dan air dalam Reaktor *Fixed Bed*. Reaksi yang terjadi yaitu reaksi hidrasi antara *isobutene* dengan air dalam fasa cair. Reaktor yang digunakan yaitu

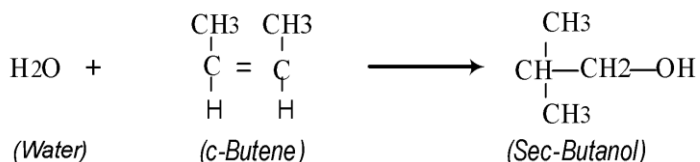
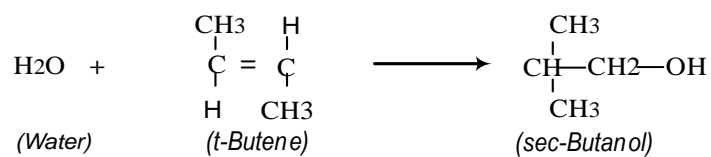
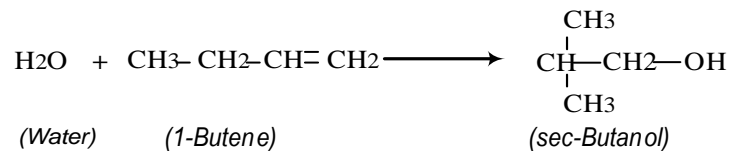
Reaktor *Fixed Bed* dengan katalis *Styrene Divinyl Benzene (Amberlyst-15)*. *Isobutene* bereaksi dengan air lalu menghasilkan *t-Butyl Alcohol (TBA)*. Rasio *isobutene* dan air yang digunakan adalah 1 : 1,1. Reaksi ini terjadi pada kondisi operasi 60 °C dan tekanan 11 atm dengan konversi 97%. Di dalam reaktor juga terjadi reaksi samping antara *1-Butene* dengan air, *c-butene* dengan air, *t-butene* dengan air yang membentuk *sec-Butyl Alcohol*.

Reaksi yang terjadi di dalam reaktor :

Reaksi utama :



Reaksi samping :



### 2.3.3 Tahap Purifikasi Produk

Produk keluaran dari reaktor selanjutnya dialirkan ke *expander valve* untuk menurunkan tekanan menjadi 1 atm. Tujuan penurunan tekanan disini adalah untuk mempermudah proses pemisahan komponen *Mixed*



*C<sub>4</sub> Hydrocarbon* di *Knock Out Drum*. Kemudian pada *Knock Out Drum*, dilakukan pemisahan berdasarkan gaya gravitasi, dimana pada suhu 44,383°C dan tekanan 1 atm komponen *C<sub>4</sub> hidrokarbon* berada pada fase gas, sedangkan *t-Butyl Alcohol*, *sec-Butyl Alcohol* dan air berada pada fase liquid. Keluaran dari *top Knock Out Drum* berupa komponen *Mixed C<sub>4</sub> Hydrocarbon* selanjutnya dinaikkan tekanannya menjadi 7 atm menggunakan kompresor, lalu dialirkan ke Tangki Penyimpanan *Mixed C<sub>4</sub> Hydrocarbon* sedangkan aliran *bottom* dari *Knock Out Drum* dialirkan ke *Extractive Distillation Colomn* (EDC) untuk memisahkan *t-Butyl Alcohol* dari air, *sec-Butyl Alcohol*, dan solven gliserol. Keluaran *top* dari EDC dialirkan ke *Cooler* sebelum masuk ke dalam tangki *t-Butyl Alcohol*. Sedangkan, keluaran *bottom* dari EDC dialirkan ke *Distillation Colomn* (DC) I untuk memisahkan *sec-Butyl Alcohol* dari air dan solven gliserol. Dimana, keluaran *top* dari DC I dialirkan ke *Cooler* sebelum masuk ke dalam tangki *sec-Butyl Alcohol*. Sedangkan, keluaran *bottom* dari DC I dialirkan ke *Distillation Colomn* (DC) II. Pada DC II, bertujuan untuk memisahkan air dan solven gliserol. Keluaran *top* dari DC II yaitu air dan dialirkan ke *Cooler* sebelum menuju ke Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Sedangkan, keluaran *bottom* dari DC II yaitu solven gliserol akan di-*recycle* ke *Extractive Distillation Colomn* (EDC).

**BAB III**  
**SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK**

**3.1 Spesifikasi Bahan Baku Utama**

Bahan baku pembuatan *t-Butyl Alcohol* terdiri dari :

**3.1.1 Mixed C<sub>4</sub> Hydrocarbon (Major isobutene)**

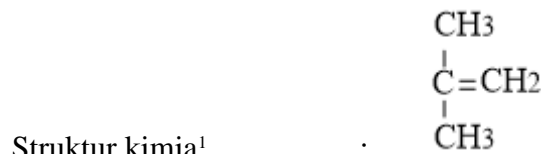
**Tabel 3. 1** Komposisi *Mixed C<sub>4</sub> Hydrocarbon (Major isobutene)*

<b>Komposisi <i>Mixed C<sub>4</sub> Hydrocarbon</i></b>	<b>% Massa</b>
i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (inert)	2,4
i-C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	60,9
1- C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	20
n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (inert)	5,7
c- C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	5
t- C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	6
<b>Total</b>	<b>100</b>

Sumber : PT Chandra Asri Petrochemical Tbk., 2022

**a. Isobutene**

Nama lain<sup>2</sup> : *Isobutylene, 1-Propene, 1,1 Dimethylethylene, Isopropylidenemethylene, i-Butene, 2-Methylpropylene, 2-Methylpropene, 2-Methyl-2-Propene, 2-Methyl-1-Propene*



Rumus molekul<sup>1</sup> :  $i\text{-C}_4\text{H}_8$

Berat molekul (BM)<sup>1</sup> : 56,107 kg/kmol

Wujud<sup>2</sup> : Cair (Suhu 60°C dan Tekanan 11 atm)

Warna<sup>2</sup> : Tidak Berwarna

Titik leleh (T<sub>f</sub>)<sup>1</sup> : 132,81 K = -140,34 °C

Titik didih (T<sub>b</sub>)<sup>1</sup> : 266,25 K = -6,9 °C

Temperatur kritis (T<sub>c</sub>)<sup>1</sup> : 417,90 K = 144,75 °C


Tekanan kritis (P<sub>c</sub>)<sup>1</sup> : 39,99 bar = 39,467 atm

Densitas (ρ)<sup>1</sup> : 0,589 gr/mL

*Solubility*<sup>2</sup> : *insoluble*

$\Delta H^\circ_{f\ 298}$  (1 atm)<sup>1</sup> : -16,9 kJ/kmol

$\Delta G^\circ_{f\ 298}$  (1 atm)<sup>1</sup> : 58,07 kJ/kmol

*Hazard pictogram*<sup>2</sup> : 

*Signal word*<sup>2</sup> : Berbahaya

*Hazard statements*<sup>2</sup> : - Gas yang sangat mudah terbakar  
- Dapat membentuk campuran eksplosif dengan udara  
- Mengandung gas di bawah tekanan  
- Dapat meledak jika dipanaskan


- Dapat menggantikan oksigen di udara dan menyebabkan sesak nafas dengan cepat
- Prevention*<sup>2</sup> : Jauhkan dari panas, permukaan yang panas, percikan api, api terbuka dan sumber pengapian lainnya, serta dilarang merokok dikawasan tersebut
- Response*<sup>2</sup> : Jika terjadi kebakaran gas bocor jangan dipadamkan, kecuali jika kebocoran dapat dihentikan dengan aman serta hilangkan semua sumber pengapian jika aman untuk dilakukan
- Storage*<sup>2</sup> : - Simpan sesuai dengan peraturan setempat  
 - Simpan di area terpisah dan disetujui  
 - Simpan jauh dari sinar matahari langsung  
 - Simpan ditempat yang kering, sejuk, dan berventilasi baik serta jauh dari bahan yang tidak kompatibel, serta jauh dari sumber api  
 - Tangki penyimpanan harus disimpan tegak, dengan tutup pelindung katup di tempatnya, dan diamankan dengan kuat untuk mencegah jatuh atau terguling. Suhu pada tangki penyimpanan tidak boleh melebihi 52 °C (125 °F).  
 - Simpan bahan pada wadah tertutup rapat dan tersegel sampai siap digunakan

Sumber : <sup>1</sup>Yaws, 1999

<sup>2</sup>*Material Safety Data Sheet (MSDS) Isobutene*

**b. 1-Butene**

Nama lain<sup>2</sup> : *Butylene, n-Butene, Ethylethylene, n-Butylene, 1-Butylene, alpha-Butylene, alpha-Butene*

Struktur kimia <sup>1</sup>	: $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH=CH}_2$
Rumus molekul <sup>1</sup>	: 1-C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>
Berat molekul (BM) <sup>1</sup>	: 56,107 kg/kmol
Wujud <sup>2</sup>	: Cair (Suhu 60°C dan Tekanan 11 atm)
Warna <sup>2</sup>	: Tidak Berwarna
Titik leleh (T <sub>f</sub> ) <sup>1</sup>	: 87,80 K = -185,35 °C
Titik didih (T <sub>b</sub> ) <sup>1</sup>	: 266,90 K = -6,25 °C
Temperatur kritis (T <sub>c</sub> ) <sup>1</sup>	: 419,59 K = 146,44 °C
Tekanan kritis (P <sub>c</sub> ) <sup>1</sup>	: 40,20 bar = 39,674 atm
Densitas (ρ) <sup>1</sup>	: 0,588 gr/ml
<i>Solubility</i> <sup>2</sup>	: <i>insoluble</i>
ΔH <sub>f 298</sub> <sup>1</sup> (1 atm) <sup>1</sup>	: -0,13 kJ/kmol
ΔG <sub>f 298</sub> <sup>1</sup> (1 atm) <sup>1</sup>	: 71,30 kJ/kmol
<i>Hazard pictogram</i> <sup>2</sup>	: 
<i>Signal word</i> <sup>2</sup>	: Berbahaya
<i>Hazard statements</i> <sup>2</sup>	: - Gas yang sangat mudah terbakar - Dapat membentuk campuran eksplosif dengan udara - Mengandung gas di bawah tekanan - Dapat meledak jika dipanaskan - Dapat menggantikan oksigen di udara dan menyebabkan sesak nafas dengan cepat
<i>Prevention</i> <sup>2</sup>	: Jauhkan dari panas, permukaan yang panas, percikan api, api terbuka dan sumber pengapian lainnya, serta dilarang merokok dikawasan tersebut
<i>Response</i> <sup>2</sup>	: Jika terjadi kebakaran gas bocor jangan dipadamkan, kecuali jika kebocoran dapat dihentikan dengan aman serta hilangkan

semua sumber pengapian jika aman untuk dilakukan

*Storage*<sup>2</sup>

- : - Simpan sesuai dengan peraturan setempat
- Simpan di area terpisah dan disetujui
- Simpan jauh dari sinar matahari langsung
- Simpan ditempat yang kering, sejuk, dan berventilasi baik serta jauh dari bahan yang tidak kompatibel, serta jauh dari sumber api
- Tangki penyimpanan harus disimpan tegak, dengan tutup pelindung katup di tempatnya, dan diamankan dengan kuat untuk mencegah jatuh atau terguling. Suhu pada tangki penyimpanan tidak boleh melebihi 52 °C (125 °F).
- Simpan bahan pada wadah tertutup rapat dan tersegel sampai siap digunakan

Sumber : <sup>1</sup>Yaws, 1999

<sup>2</sup>*Material Safety Data Sheet (MSDS) 1-Butene*

**c. *cis-2-Butene***

Nama lain<sup>2</sup> : *cis-Butene, cis-Butylene, cis-1,2-Dimethylethylene*



Rumus molekul<sup>1</sup> : c-C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>


Berat molekul (BM)<sup>1</sup> : 56,107 kg/kmol

Wujud<sup>2</sup> : Cair (Suhu 60°C dan Tekanan 11 atm)

Warna<sup>2</sup> : Tidak Berwarna

Titik leleh (T<sub>f</sub>)<sup>1</sup> : 134,26 K = -138,89 °C

Titik didih (T<sub>b</sub>)<sup>1</sup> : 276,87 K = 3,72 °C

Temperatur kritis ( $T_c$ ) <sup>1</sup>	: 435,58 K = 162,43 °C
Tekanan kritis ( $P_c$ ) <sup>1</sup>	: 42,06 bar = 41,509 atm
Densitas ( $\rho$ ) <sup>1</sup>	: 0,617 gr/ml
<i>Solubility</i> <sup>2</sup>	: <i>insoluble</i>
$\Delta H^\circ_{f 298}$ (1 atm) <sup>1</sup>	: -6,99 kJ/kmol
$\Delta G^\circ_{f 298}$ (1 atm) <sup>1</sup>	: 65,86 kJ/kmol
<i>Hazard pictogram</i> <sup>2</sup>	: 
<i>Signal word</i> <sup>2</sup>	: Berbahaya
<i>Hazard statements</i> <sup>2</sup>	: - Gas yang sangat mudah terbakar - Dapat membentuk campuran eksplosif dengan udara - Mengandung gas di bawah tekanan - Dapat meledak jika dipanaskan - Dapat menggantikan oksigen di udara dan menyebabkan sesak nafas dengan cepat
<i>Prevention</i> <sup>2</sup>	: Jauhkan dari panas, permukaan yang panas, percikan api, api terbuka dan sumber pengapian lainnya, serta dilarang merokok dikawasan tersebut
<i>Response</i> <sup>2</sup>	: Jika terjadi kebakaran gas bocor jangan dipadamkan, kecuali jika kebocoran dapat dihentikan dengan aman serta hilangkan semua sumber pengapian jika aman untuk dilakukan
<i>Storage</i> <sup>2</sup>	: - Simpan sesuai dengan peraturan setempat - Simpan di area terpisah dan disetujui - Simpan jauh dari sinar matahari langsung - Simpan ditempat yang kering, sejuk, dan berventilasi baik serta jauh dari bahan yang tidak kompatibel, serta jauh dari sumber api

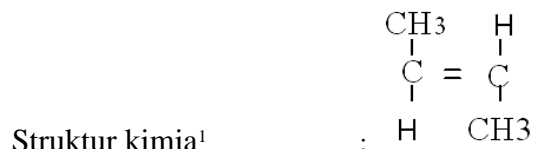
- Tangki penyimpanan harus disimpan tegak, dengan tutup pelindung katup di tempatnya, dan diamankan dengan kuat untuk mencegah jatuh atau terguling. Suhu tangki penyimpanan tidak boleh melebihi 52 °C (125 °F).

Sumber : <sup>1</sup>Yaws, 1999

<sup>2</sup>Material Safety Data Sheet (MSDS) *cis-2-Butene*

**d. *trans-2-Butene***

Nama lain<sup>2</sup> : *trans-Butene, trans-1,2-Dimethylethylene*



Rumus molekul<sup>1</sup> :  $t\text{-C}_4\text{H}_8$

Berat molekul (BM)<sup>1</sup> : 56,107 kg/kmol

Wujud<sup>2</sup> : Cair (Suhu 60°C dan Tekanan 11 atm)

Warna<sup>2</sup> : Tidak Berwarna

Titik leleh (T<sub>f</sub>)<sup>1</sup> : 167,62 K = -105,53 °C

Titik didih (T<sub>b</sub>)<sup>1</sup> : 274,03 K = 0,88 °C

Temperatur kritis (T<sub>c</sub>)<sup>1</sup> : 428,63 K = 155,48 °C


Tekanan kritis (P<sub>c</sub>)<sup>1</sup> : 41,02 bar = 40,483 atm

Densitas (ρ)<sup>1</sup> : 0,599 gr/ml

*Solubility*<sup>2</sup> : *insoluble*

ΔH<sub>f 298</sub><sup>1</sup> (1 atm)<sup>1</sup> : -11,17 kJ/kmol

ΔG<sub>f 298</sub><sup>1</sup> (1 atm)<sup>1</sup> : 62,97 kJ/kmol

*Hazard pictogram*<sup>2</sup> : 

*Signal word*<sup>2</sup> : Berbahaya

*Hazard statements*<sup>2</sup> : - Gas yang sangat mudah terbakar  
- Dapat membentuk campuran eksplosif dengan udara




- Mengandung gas di bawah tekanan
  - Dapat meledak jika dipanaskan
  - Dapat menggantikan oksigen di udara dan menyebabkan sesak nafas dengan cepat
- Prevention*<sup>2</sup> : Jauhkan dari panas, permukaan yang panas, percikan api, api terbuka dan sumber pengapian lainnya, serta dilarang merokok dikawasan tersebut
- Response*<sup>2</sup> : Jika terjadi kebakaran gas bocor jangan dipadamkan, kecuali jika kebocoran dapat dihentikan dengan aman serta hilangkan semua sumber pengapian jika aman untuk dilakukan
- Storage*<sup>2</sup> : - Simpan sesuai dengan peraturan setempat
- Simpan di area terpisah dan disetujui
  - Simpan jauh dari sinar matahari langsung
  - Simpan ditempat yang kering, sejuk, dan berventilasi baik serta jauh dari bahan yang tidak kompatibel, serta jauh dari sumber api
  - Tangki penyimpanan harus disimpan tegak, dengan tutup pelindung katup di tempatnya, dan diamankan dengan kuat untuk mencegah jatuh atau terguling. Suhu pada tangki penyimpanan tidak boleh melebihi 52 °C (125 °F).
  - Simpan bahan pada wadah tertutup rapat dan tersegel sampai siap digunakan

Sumber : <sup>1</sup>Yaws, 1999

<sup>2</sup>*Material Safety Data Sheet (MSDS) trans-2-Butene*

**e. Isobutane**

Nama lain <sup>2</sup>	: <i>Propane, 2-Methylpropane, Trimethylmethane, 1,1-Dimethylethane</i>
Struktur kimia <sup>1</sup>	: $\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$
Rumus molekul <sup>1</sup>	: $\text{i-C}_4\text{H}_{10}$
Berat molekul (BM) <sup>1</sup>	: 58,123 kg/kmol
Wujud <sup>2</sup>	: Cair (Suhu 60°C dan Tekanan 11 atm)
Warna <sup>2</sup>	: Tidak Berwarna
Titik leleh (T <sub>f</sub> ) <sup>1</sup>	: 113,54 K = -159,61 °C
Titik didih (T <sub>b</sub> ) <sup>1</sup>	: 261,43 K = -11,72 °C
Temperatur kritis (T <sub>c</sub> ) <sup>1</sup>	: 408,14 K = 134,99 °C
Tekanan kritis (P <sub>c</sub> ) <sup>1</sup>	: 36,48 bar = 36,002 atm
Densitas (ρ) <sup>1</sup>	: 0,552 gr/ml
<i>Solubility</i> <sup>2</sup>	: <i>slight</i>
ΔH <sub>f 298</sub> (1 atm) <sup>1</sup>	: -134,52 kJ/kmol
ΔG <sub>f 298</sub> (1 atm) <sup>1</sup>	: -20,88 kJ/kmol
<i>Hazard pictogram</i> <sup>2</sup>	: 
<i>Signal word</i> <sup>2</sup>	: Berbahaya
<i>Hazard statements</i> <sup>2</sup>	: - Gas yang sangat mudah terbakar - Dapat membentuk campuran eksplosif dengan udara - Mengandung gas di bawah tekanan - Dapat meledak jika dipanaskan - Dapat menyebabkan radang dingin ( <i>frostbite</i> ) - Dapat menggantikan oksigen di udara dan menyebabkan sesak nafas dengan cepat
<i>Prevention</i> <sup>2</sup>	: Jauhkan dari panas, permukaan yang panas, percikan api, api terbuka dan sumber pengapian lainnya, serta dilarang merokok dikawasan tersebut

- Response*<sup>2</sup> : Jika terjadi kebakaran gas bocor jangan dipadamkan, kecuali jika kebocoran dapat dihentikan dengan aman serta hilangkan semua sumber pengapian jika aman untuk dilakukan
- Storage*<sup>2</sup> : - Simpan sesuai dengan peraturan setempat  
 - Simpan di area terpisah dan disetujui  
 - Simpan jauh dari sinar matahari langsung  
 - Simpan ditempat yang kering, sejuk, dan berventilasi baik serta jauh dari bahan yang tidak kompatibel, serta jauh dari sumber api  
 - Tangki penyimpanan harus disimpan tegak, dengan tutup pelindung katup di tempatnya, dan diamankan dengan kuat untuk mencegah jatuh atau terguling. Suhu pada tangki penyimpanan tidak boleh melebihi 52 °C (125 °F).  
 - Simpan bahan pada wadah tertutup rapat dan tersegel sampai siap digunakan


Sumber : <sup>1</sup>Yaws, 1999

<sup>2</sup>*Material Safety Data Sheet (MSDS) Isobutane*

**f. *n-Butane***

- Nama lain<sup>2</sup> : *Methylethylmethane, Diethyl, Butyl hydride, normal-Butane*
- Struktur kimia<sup>1</sup> :  $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
- Rumus molekul<sup>1</sup> :  $\text{n-C}_4\text{H}_{10}$
- Berat molekul (BM)<sup>1</sup> : 58,123 kg/kmol
- Wujud<sup>2</sup> : Cair (Suhu 60°C dan Tekanan 11 atm)
- Warna<sup>2</sup> : Tidak Berwarna
- Titik leleh (T<sub>f</sub>)<sup>1</sup> : 183,85 K = -89,3 °C

Titik didih ( $T_b$ ) <sup>1</sup>	: 390,81 K = 117,66 °C
Temperatur kritis ( $T_c$ ) <sup>1</sup>	: 562,93 K = 289,78 °C
Tekanan kritis ( $P_c$ ) <sup>1</sup>	: 44,13 bar = 43,552 atm
Densitas ( $\rho$ ) <sup>1</sup>	: 0,573 gr/mL
<i>Solubility</i> <sup>2</sup>	: <i>insoluble</i>
$\Delta H^\circ_{f298}$ (1 atm) <sup>1</sup>	: -126,15 kJ/kmol
$\Delta G^\circ_{f298}$ (1 atm) <sup>1</sup>	: -17,15 kJ/kmol

<i>Hazard pictogram</i> <sup>2</sup>	: 
<i>Signal word</i> <sup>2</sup>	: Berbahaya
<i>Hazard statements</i> <sup>2</sup>	: - Gas yang sangat mudah terbakar - Dapat membentuk campuran eksplosif dengan udara - Mengandung gas di bawah tekanan - Dapat meledak jika dipanaskan - Dapat menggantikan oksigen di udara dan menyebabkan sesak nafas dengan cepat
<i>Prevention</i> <sup>2</sup>	: Jangan letakkan tangki penyimpanan didekat area kendaraan yang tidak berventilasi, jauhkan dari panas, permukaan yang panas, percikan api, api terbuka serta dilarang merokok dikawasan tersebut, gunakan dan simpan bahan hanya diluar ruangan atau ditempat berventilasi baik
<i>Response</i> <sup>2</sup>	: Jika terjadi kebakaran gas bocor jangan dipadamkan, kecuali jika kebocoran dapat dihentikan dengan aman serta hilangkan semua sumber pengapian jika aman untuk dilakukan
<i>Storage</i> <sup>2</sup>	: - Simpan sesuai dengan peraturan setempat - Simpan di area terpisah dan disetujui

- Simpan jauh dari sinar matahari langsung
- Simpan ditempat yang kering, sejuk, dan berventilasi baik serta jauh dari bahan yang tidak kompatibel, serta jauh dari sumber api
- Tangki penyimpanan harus disimpan tegak, dengan tutup pelindung katup di tempatnya, dan diamankan dengan kuat untuk mencegah jatuh atau terguling. Suhu pada tangki penyimpanan tidak boleh melebihi 52 °C (125 °F).
- Simpan bahan pada wadah tertutup rapat dan tersegel sampai siap digunakan

Sumber : <sup>1</sup>Yaws, 1999

<sup>2</sup>*Material Safety Data Sheet (MSDS) n-Butane*

### 3.1.2 Air

Rumus Molekul <sup>1</sup>	: H <sub>2</sub> O
Berat Molekul (BM) <sup>1</sup>	: 18,015 kg/kmol
Warna <sup>2</sup>	: Tak berwarna
Wujud <sup>2</sup>	: Cair
pH <sup>2</sup>	: 7
Titik Didih (T <sub>b</sub> ) <sup>1</sup>	: 373,15 K = 100 °C
Titik Beku (T <sub>f</sub> ) <sup>1</sup>	: 273,15 K = 0 °C
Temperatur kritis (T <sub>c</sub> ) <sup>1</sup>	: 647,13 K = 373,98 °C
Tekanan kritis (P <sub>c</sub> ) <sup>1</sup>	: 220,55 bar = 217,665 atm
Densitas (ρ) <sup>1</sup>	: 1,027 gr/mL
ΔH <sub>f 298</sub> <sup>1</sup> (1 atm) <sup>1</sup>	: -241,80 kJ/kmol
ΔG <sub>f 298</sub> <sup>1</sup> (1 atm) <sup>1</sup>	: -228,60 kJ/kmol
<i>Hazard statements</i> <sup>2</sup>	: Tidak diklasifikasikan sebagai bahan kimia berbahaya
<i>Storage</i> <sup>2</sup>	: Simpan pada tempat tertutup saat tidak

digunakan

Syarat baku air proses (Air Demineral) disajikan pada Tabel 3.1.<sup>3</sup>

**Tabel 3.2** Syarat baku air proses

No	Kriteria Uji	Satuan	Persyaratan
1	Kekeruhan	NTU	Maks. 1,5
2	Zat yang terlarut	Mg/L	Maks. 10
3	Total organik karbon	Mg/L	Maks. 0,5
4	Bromat	Mg/L	Maks. 0,01
5	Perak (Ag)	Mg/L	Maks. 0,025
6	Kadar karbon dioksida (CO <sub>2</sub> ) bebas	Mg/L	3.000 – 5.890
7	Kadar oksigen (O <sub>2</sub> ) terlarut awal	Mg/L	Min. 40,0
8	Kadar oksigen (O <sub>2</sub> ) terlarut akhir	Mg/L	Min. 20,0
9	Cemaran logam :		
	Timbal (Pb)	mg/L	Maks. 0,005
	Tembaga (Cu)	mg/L	Maks. 0,5
	Kadmium (Cd)	mg/L	Maks. 0,003
	Merkuri (Hg)	mg/L	Maks. 0,001
10	Cemaran arsen (As)	mg/L	Maks. 0,01
11	Cemaran mikroba :		
	Coliform	Koloni/250 ml	Tidak Terdeteksi
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Koloni/250 ml	Tidak Terdeteksi

Sumber : <sup>1</sup>Yaws, 1999

<sup>2</sup>*Material Safety Data Sheet (MSDS) Water*

<sup>3</sup>Standar Nasional Indonesia (SNI) 6241:2015

## 3.2 Spesifikasi Bahan Baku Penunjang

### 3.2.1. Katalis *Styrene Divinyl Benzene (Amberlyst-15)*

Nama Lain<sup>1</sup> : *Divinylbenzene-Styrenesulfonic Acid Copolymer, 1,2-bis-(Ethenyl) Benzene, 2-Ethenylbenzenesulfonic*

### Acid

Rumus molekul <sup>1</sup>	: C <sub>18</sub> H <sub>18</sub> O <sub>3</sub> S
Berat molekul (BM) <sup>1</sup>	: 314,39 kg/kmol
Titik didih <sup>1</sup>	: 516,7 °C
Titik nyala <sup>1</sup>	: 266,3 °C
Tipe <sup>2</sup>	: <i>Strongly acidic, macroporous</i>
Bentuk katalis/fase <sup>2</sup>	: <i>Spherical (Bola) / Padat</i>
Temperatur operasi maksimum <sup>2</sup>	: 393 K = 119,85 °C
<i>Surface area</i> <sup>2</sup>	: 50 x 10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> /kg
Porositas <sup>2</sup>	: 0,36
Diameter partikel katalis <sup>2</sup>	: 6,3 mm = 0,63 cm
Densitas katalis <sup>3</sup>	: 1,25 g/cm <sup>3</sup>
<i>Hazard statements</i> <sup>3</sup>	: Tidak teridentifikasi
<i>Prevention</i> <sup>3</sup>	: Jauhkan produk dari panas dan sumber api
<i>Response</i> <sup>3</sup>	: Jika terjadi kebakaran, kenakan alat bantu pernapasan sesuai tekanan (MSHA/NIOSH) dan alat pelindung penuh
<i>Storage</i> <sup>3</sup>	: Simpan pada tempat tertutup rapat, kering, sejuk, dan berventilasi baik

Sumber : <sup>1</sup>chemsrc.com

<sup>2</sup>Velo, E., 1988

<sup>3</sup>*Material Safety Data Sheet (MSDS) Amberlyst-15*

### 3.2.2. Solvent Gliserol

Nama Lain <sup>1</sup>	: <i>1,2,3-Propanetriol, Glycerin, Protol, 1,2,3-Trihydroxypropane, Glycyc Alcohol, Gliceritol</i>
Rumus molekul <sup>1</sup>	: C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>

Berat molekul (BM) <sup>1</sup>	: 92,09 kg/kmol
Titik didih <sup>1</sup>	: 182°C
Wujud <sup>2</sup>	: Cair
Warna <sup>2</sup>	: Tidak berwarna
Titik didih (T <sub>b</sub> ) <sup>1</sup>	: 563,15 K = 290 °C
Titik leleh (T <sub>f</sub> ) <sup>1</sup>	: 291,15 K = 18 °C
Temperatur kritis (T <sub>c</sub> ) <sup>1</sup>	: 723 K = 449,85 °C
Tekanan kritis (P <sub>c</sub> ) <sup>1</sup>	: 66,90 bar = 66,02 atm
Densitas (ρ) <sup>1</sup>	: 1,25 gr/mL
<i>Solubility</i> <sup>2</sup>	: <i>Miscible</i>
ΔH <sub>f 298</sub> <sup>1</sup> (1 atm) <sup>1</sup>	: -582,80 kJ/kmol
ΔG <sub>f 298</sub> <sup>1</sup> (1 atm) <sup>1</sup>	: -448,49 kJ/kmol
Kemurnian <sup>2</sup>	: 99%
<i>Hazard pictogram</i> <sup>2</sup>	: -
<i>Signal word</i> <sup>2</sup>	: Tidak Berbahaya
<i>Hazard statements</i> <sup>2</sup>	: - Dapat menyebabkan iritasi pada mata - Dapat mengiritasi kulit - Dapat menyebabkan iritasi gastrointestinal apabila tertelan dalam jumlah besar dan dapat menyebabkan sakit kepala - Dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernapasan apabila terhirup
<i>Prevention</i> <sup>2</sup>	: - Gunakan kaca mata pelindung saat menangani bahan - Gunakan sarung tangan pelindung yang sesuai untuk mencegah paparan ke kulit - Gunakan pakaian kedap air untuk meminimalisir adanya kontak langsung dengan tubuh atau kulit - Gunakan alat respirator untuk mencegah bahan terhirup
<i>Response</i> <sup>2</sup>	: - Jika terhirup, segera bawa ketempat



dengan udara segar, jika tidak bernapas berikan napas buatan serta hubungi dokter/tenaga medis untuk penanganan lebih lanjut

- Jika terkena kulit segera cuci tangan menggunakan sabun dan air yang banyak kemudian segera dibawa menuju ke rumah sakit untuk mendapatkan tindakan medis.
- Jika terkena mata, bilas dengan air selama 15 menit serta hubungi dokter/tenaga medis untuk penanganan lebih lanjut
- Jika tertelan, jangan pernah memberikan apapun kedalam mulut orang yang sedang tidak sadarkan diri. Bilas mulut dengan air serta konsultasikan dengan tenaga medis/dokter untuk penanganan lebih lanjut.

*Storage*<sup>2</sup>

- Simpan pada tangki yang tertutup rapat, tempat yang kering, sejuk, dan berventilasi baik

Sumber : <sup>1</sup>Yaws, 1999

<sup>2</sup>*Material Safety Data Sheet (MSDS) T-Butyl Alcohol*

### 3.3 Spesifikasi Produk

#### 3.3.1 *t-Butyl Alcohol (TBA)*

Rumus molekul<sup>1</sup> : t-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O

Struktur kimia<sup>1</sup> : 
$$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{HO}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array}$$

Nama lain<sup>2</sup> : *2-Methyl-2-Propanol*

Berat molekul (BM)<sup>1</sup> : 74,123 kg/kmol

Wujud <sup>2</sup>	: Cair
Warna <sup>2</sup>	: Tidak berwarna
Titik didih (T <sub>b</sub> ) <sup>1</sup>	: 353,05K = 79,9 °C
Titik leleh (T <sub>f</sub> ) <sup>1</sup>	: 298,97 K = 25,82 °C
Temperatur kritis (T <sub>c</sub> ) <sup>1</sup>	: 506,20 K = 233,05 °C
Tekanan kritis (P <sub>c</sub> ) <sup>1</sup>	: 39,72 bar = 39,2 atm
Densitas (ρ) <sup>1</sup>	: 0,805 gr/mL
<i>Solubility</i> <sup>2</sup>	: <i>Miscible</i>
ΔH <sub>f 298</sub> <sup>1</sup> (1 atm) <sup>1</sup>	: -325,81 kJ/kmol
ΔG <sub>f 298</sub> <sup>1</sup> (1 atm) <sup>1</sup>	: -191,04 kJ/kmol
Kemurnian <sup>2</sup>	: >95%



<i>Hazard pictogram</i> <sup>2</sup>	:
<i>Signal word</i> <sup>2</sup>	: Berbahaya
<i>Hazard statements</i> <sup>2</sup>	: - Cairan dan uap yang sangat mudah terbakar - Dapat menyebabkan iritasi mata yang serius - Berbahaya jika terhirup - Dapat menyebabkan iritasi pernapasan - Dapat menyebabkan kantuk dan pusing
<i>Prevention</i> <sup>2</sup>	: - Gunakan hanya diluar ruangan atau area berventilasi baik - Cuci tangan, wajah, dan kulit secara menyeluruh setelah menangani bahan - Jangan menghirup debu, asap, gas, kabut, uap, atau semprotan dari bahan - Jauhkan dari panas, percikan api, api terbuka, serta permukaan yang panas - Dilarang merokok dikawasan tersebut - Jaga tangki penyimpanan tertutup rapat

- Gunakan peralatan listrik, ventilasi, dan pencahayaan yang tahan ledakan
- Gunakan peralatan yang tidak memicu percikan
- Lakukan pencegahan terhadap muatan listrik statis
- Pakai sarung tangan pelindung, pakaian pelindung, pelindung mata, serta pelindung wajah

*Response*<sup>2</sup>

- : - Jika terhirup, segera bawa ketempat dengan udara segar dan istirahatkan dalam posisi yang nyaman untuk bernapas serta hubungi dokter/tenaga medis untuk penanganan lebih lanjut
- Jika terkena kulit atau rambut segera lepas pakaian yang terkontaminasi dan bilas kulit dengan air
- Jika terkena mata, bilas dengan air serta hubungi dokter/tenaga medis untuk penanganan lebih lanjut
- Jika terjadi kebakaran gunakan CO<sub>2</sub>, *dry chemical* atau *foam* untuk pemadaman

*Storage*<sup>2</sup>

- : - Simpan pada tangki yang tertutup rapat, tempat yang kering, sejuk, dan berventilasi baik
- Jauhkan dari percikan panas, percikan api, dan nyala api
- Jauhkan dari bahan yang tidak kompatibel, oksidator kuat, asam kuat, serta logam alkali

Sumber : <sup>1</sup>Yaws, 1999

<sup>2</sup>*Material Safety Data Sheet (MSDS) T-Butyl Alcohol*

### 3.3.2 *sec-Butyl Alcohol*

Rumus molekul <sup>1</sup>	: sec-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O
Struktur kimia <sup>1</sup>	: $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}-\text{CH}_2-\text{OH} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$
Nama lain <sup>2</sup>	: 2-Butanol
Berat molekul (BM) <sup>1</sup>	: 74,123 kg/kmol
Wujud <sup>2</sup>	: Cair
Warna <sup>2</sup>	: Tidak berwarna
Titik didih (T <sub>b</sub> ) <sup>1</sup>	: 372,70 K = 99,55 °C
Titik leleh (T <sub>f</sub> ) <sup>1</sup>	: 158,45 K = -114,7 °C
Temperatur kritis (T <sub>c</sub> ) <sup>1</sup>	: 536,01 K = 262,86 °C
Tekanan kritis (P <sub>c</sub> ) <sup>1</sup>	: 41,94 bar = 41,391 atm
Densitas (ρ) <sup>1</sup>	: 0,805 g/mL
<i>Solubility</i> <sup>2</sup>	: <i>Soluble</i>
ΔH <sub>f 298</sub> <sup>1</sup> (1 atm) <sup>1</sup>	: -292,29 kJ/kmol
ΔG <sub>f 298</sub> <sup>1</sup> (1 atm) <sup>1</sup>	: -167,32 kJ/kmol
Kemurnian <sup>2</sup>	: >95%

*Hazard pictogram*<sup>2</sup>



*Signal word*<sup>2</sup>

*Hazard statements*<sup>2</sup>

*Prevention*<sup>2</sup>

- : Berbahaya
- : - Cairan dan uap yang sangat mudah terbakar
- Dapat menyebabkan iritasi mata yang serius
  - Dapat menyebabkan iritasi pernapasan
  - Dapat menyebabkan kantuk dan pusing
- : - Gunakan hanya diluar ruangan atau area berventilasi baik
- Cuci tangan, wajah, dan kulit secara menyeluruh setelah menangani bahan

- Jangan menghirup debu, asap, gas, kabut, uap, atau semprotan dari bahan
- Jauhkan dari panas, percikan api, api terbuka, serta permukaan yang panas
- Dilarang merokok dikawasan tersebut
- Jaga tangki penyimpanan tertutup rapat
- Gunakan peralatan listrik, ventilasi, dan pencahayaan yang tahan ledakan
- Gunakan peralatan yang tidak memicu percikan
- Lakukan pencegahan terhadap muatan listrik statis
- Pakai sarung tangan pelindung, pakaian pelindung, pelindung mata, serta pelindung wajah

*Response<sup>2</sup>*

- : - Jika terhirup, segera bawa ketempat dengan udara segar dan istirahatkan dalam posisi yang nyaman untuk bernapas serta hubungi dokter/tenaga medis untuk penanganan lebih lanjut
- Jika terkena kulit atau rambut segera lepas pakaian yang terkontaminasi dan bilas kulit dengan air
- Jika terkena mata, bilas dengan air serta hubungi dokter/tenaga medis untuk penanganan lebih lanjut
- Jika terjadi kebakaran gunakan CO<sub>2</sub>, *dry chemical* atau *foam* untuk pemadaman

*Storage<sup>2</sup>*

- : - Simpan pada tangki yang tertutup rapat, tempat yang kering, sejuk, dan berventilasi baik

- Jauhkan dari percikan panas, percikan api, dan nyala api
- Dapat membentuk peroksida yang mudah meledak pada penyimpanan yang lama
- Jauhkan dari bahan yang tidak kompatibel, oksidator kuat, asam klorida, serta asam anhidrat

Sumber : <sup>1</sup>Yaws,1999

<sup>2</sup>*Material Safety Data Sheet (MSDS) Sec Butyl Alcohol*

## **BAB X**

### **SIMPULAN DAN SARAN**

#### **10.1 Simpulan**

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik *t-Butyl Alcohol* dari *Isobutene* dan *Water* dengan Kapasitas 35.000 ton/tahun dapat ditarik simpulan sebagai berikut :

1. *Percent Return on Investment* (ROI) sesudah pajak adalah 25,41%.
2. *Pay Out Time* (POT) sesudah pajak adalah 2,394 tahun
3. *Break Even Point* (BEP) sebesar 47,92% dimana syarat umum pabrik di Indonesia adalah 20 – 60 % kapasitas produksi. *Shut Down Point* (SDP) sebesar 29,09%, yakni batasan kapasitas produksi sehingga pabrik harus berhenti berproduksi karena merugi.
4. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF) sebesar 31,78%, lebih besar dari suku bunga bank sekarang yaitu 3% sehingga investor akan lebih memilih untuk berinvestasi ke pabrik ini dari pada ke bank.

#### **10.2 Saran**

Dengan mempertimbangkan hasil perhitungan dari hasil analisis ekonomi diatas maka pabrik *t-Butyl Alcohol* dari *Isobutene* dan *Water* dengan Kapasitas 35.000 ton/tahun sebaiknya dikaji lebih lanjut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alibaba. 2023. Harga Bahan Kimia. Diakses melalui [www.Alibaba.com](http://www.Alibaba.com).
- Badan Penyelenggara Jaminan Sosial. 2023. Diakses melalui [www.bpjs-kesehatan.go.id](http://www.bpjs-kesehatan.go.id).
- Badan Pusat Statistik. 2022. *Statistic Indonesia*. Diakses melalui [www.bps.go.id](http://www.bps.go.id).
- Badger , W. L. and Banchero, J. T. 1955. "Introduction to Chemical Engineering" , Int ed , McGraw-Hill Book Company Inc. N.Y.
- Bausbacher, E., & Hunt, R. (1993). *Process Plant Layout and Piping Design*.
- Brown, G. G, 1950. *Unit Operations*, John Wiley & Sons: New York.
- Brownell, L. E. and Young, E. H. 1959. *Process Equipment Design* 3ed, John Wiley & Sons, New York.
- Coulson, J. M. and Ricardson.J.F. 1983. *Chemical Engineering* vol 6, Pergamon Press Inc, New York.
- Geankoplis, C. J. 1993. *Transport Processes and Unit Operations*, 3rd ed., Prentice-Hall International, Canada.
- Himmelblau. 1996. *Basic Principles and calculations in Chemical Enginerig*, Prentice-Hall International, Tokyo.
- Joshi,M.V. 1981. "Process Equipment Design" , McGraw Hill Indian Ltd.
- Keputusan Kepala Bapedal Nomor 113 Tahun 2000 Tentang Pedoman Umum dan Pedoman Teknis Laboratorium Lingkungan.



- Kern, D. Q. 1983. *Process Heat Transfer*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Kirk, R. E and Othmer. 1983. *Encyclopedia of Chemical Technology*. International Student Edition. Mc.Graw-Hill Kogasuka Company Ltd, Tokyo.
- Matches. 2014. Matche's Process Equipment Cost Estimates. Diakses melalui [www.matches.com](http://www.matches.com).
- Material Safety Data Sheet. 2020. Amberlyst 15.
- Material Safety Data Sheet. 2018. 1-Butene.
- Material Safety Data Sheet. 2017. Cis-2-Butene.
- Material Safety Data Sheet. 2018. Isobutane.
- Material Safety Data Sheet. 2018. Isobutene.
- Material Safety Data Sheet. 2020. N-Butane.
- Material Safety Data Sheet. 2009. Sec-Butanol.
- Material Safety Data Sheet. 2010. Tert-Butanol.
- Material Safety Data Sheet. 2019. Trans-2-Butene.
- Material Safety Data Sheet. 2020. Water.
- Material Safety Data Sheet. 2022. Mixed C4 Hydrocarbon. PT. Chandra Asri Petrochemical Tbk, Indonesia.
- McCabe, W. L. & Smith, J. M. 1999. *Unit Operation of Chemical Engineering*, 4<sup>th</sup> ed., McGraw Hill Book Company, Singapore.
- Megyesy, E. F. 1973. *Pressure vessel handbook*.

Nicholas, P. C., & Cheremisinoff, A. 2002. Handbook of water and wastewater treatment technologies. *Press. USA, Boston, Washington*, (1), 33-37.

Pergub Provinsi Banten No. 4 Tahun 2013 Tentang Petunjuk Pelaksanaan Peraturan Daerah Banten Nomor 1 Tahun 2011 Tentang Pajak Daerah.

Permen PUPR Nomor 29/PRT/M/2018 Tahun 2018 Tentang Standar Teknis Standar Pelayanan Minimal Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Permenkes Nomor 32 Tahun 2017 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua dan Pemandian Umum.

Perry.R. H. and Green.D. 1997. *Perry's Chemical Engineer Handbook 7th ed* , McGraw-Hill Book Company, New York.

Pertamina. 2023. Diakses melalui [www.pertamina.com](http://www.pertamina.com).

Peter M. S. and Timmerhause K. D. 1991. *Plant Design an Economic for Chemical Engineering 3ed*, McGraww-Hill Book Company, New York.

Powell, S. T. 1954. "Water Conditioning for Industry", Mc Graw Hill Book Company, New York.

PP Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

PT. Sarana Catur Tirta Kelola. 2020. Adendum Andal, RKL-RPL Rencana Pengembangan Pembangunan SPAM Kabupaten Serang Bagian Timur.

Rase, H. F. & Holmes, J. R. 1977. *Chemical Reactor Design for Process Plant. vol 2, Principles and Techniques*, John Wiley & Sons Inc. New York.

Severn, W. H. 1954. "Steam, Air and Gas Power" , Modern Engineering Asia Edition, John Wiley & Sons Inc,N.Y.

Smith, J. M. and Van Ness, H. H. 2005. Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 7 th ed., McGraw Hill International Book Company, Singapore.

Standar Nasional Indonesia (SNI) 6241:2015 Tentang Air Demineral.

Standar Nasional Indonesia (SNI) 6774:2008 Tentang Air Bersih.

Standar Nasional Indonesia (SNI) 6897:2008 Tentang Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerja Dinding untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan.

Stoecker, F. W dan J. W. Jones. 1989. Refrigerasi dan Pengkondisian Udara. Terjemahan Supratman Hara. Penerbit Erlangga. Jakarta.

Turton, R., Shaeiwitz J. A., Bhattacharyya, D., & Whiting W. B. 2018. Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes, 5th ed, Pearson Education Inc.

Towler, G., & Sinnott, R. 2013. *Chemical Engineering Design*, 2<sup>nd</sup> ed., Elsevier Ltd., United Kingdom.

Ulrich.G.D. 1984. A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics. John Wiley & Sons Inc, New York.

Undang – Undang Nomor 5 Tahun 1999 Tentang Larangan Praktek Monopoli dan Persaingan Usaha Tidak Sehat.

Undang – Undang Nomor 40 Tahun 2007 Tentang Perseroan Terbatas.

Vibrandt, F. C., & Dryden, C. E. 1959. Chemical Engineering Plant Design (Vol. IV).

Virginia Community Colleges. 2023. Introduction too Water and Wastewater Treatment Tech.

- Velo, E., Puigjaner, L., & Recasens, F. 1988. Inhibition by product in the liquid-phase hydration of isobutene to tert-butyl alcohol: kinetics and equilibrium studies. *Industrial & engineering chemistry research*, 27(12), 2224-2231.
- Walas, S.M. 1990. *Chemical Process Equipment*. 3<sup>rd</sup> ed. Butterworth-Heinemann Series in Chemical Engineering, USA.
- Wang, L. K., Hung, Y. T., Lo, H. H., & Yapijakis, C. (Eds.). 2005. *Waste treatment in the process industries*. CRC Press.
- Wilson, E. T. 2005. *Clarifier Design*. London : McGraw Hill Book Company.
- Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*, Mc Graw Hill Book Co., New York.