

**PRARANCANGAN PABRIK PENTAERITRITOL
DARI FORMALDEHID, ASETALDEHID DAN NATRIUM HIDROKSIDA
KAPASITAS 30.000 TON/TAHUN
Tugas Khusus Perancangan *Crystallizer* (CR-401)**

Skripsi

Oleh:

**VERNA DWI LESTARI PESEMA
(1815041061)**



**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRACT

PRE-DESIGN OF PENTARYTHRITOL FACTORY FROM FORMALDEHYDE, ACETHALDEHYDE AND SODIUM HYDROXIDE CAPACITY 30,000 TON/YEAR (Design Crystallizer (CR-401))

By

VERNA DWI LESTARI PESEMA

Pentaerythritol is composed of raw formaldehyde (CH_2O), acetaldehyde ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$), and sodium hydroxide (NaOH) which has applications in the chemical industry as raw materials for the production of resin alkydes. As for the application of resin alkydes in industries in Indonesia, it is very broad to include wood preservation industry, paint and ink printing industry, wood engraving crafts industry, textile fields for smoothing fibers, surface coatings, and explosives, as well as many other industries.

The pentaerythritol plant is designed with a capacity of 30,000 tonnes per year with a 24-hour operating time and 330 working days over a year. The plant is planned to be located in the JIPE Industrial Area, Gresik East Java with a workforce required of 162 people. The type of enterprise selected in the form of a limited corporation (PT) with the highest leadership is in the position of Chief Director assisted by olch General Manager who assumes the functional organizational structure.

Through the results of economic analysis obtained:

<i>Fixed Capital Investment (FCI)</i>	= Rp 301.858.991.892
<i>Working Capital Investment (WCI)</i>	= Rp 53.269.233.863
<i>Total Capital Investment (TCI)</i>	= Rp 355.128.225.756
<i>Break Even Point (BEP)</i>	= 35,38%
<i>Shut Down Point (SDP)</i>	= 28,12%
<i>Pay Out Time before Taxes (POT)_b</i>	= 0,91 tahun
<i>Pay Out Time after Taxes (POT)_a</i>	= 1,11 tahun
<i>Return on Investment before Taxes (ROI)_b</i>	= 85%
<i>Return on Investment after Taxes (ROI)_a</i>	= 68%
<i>Discounted cash flow</i>	= 25%

Considering the summary, the establishment of the pentaerythritol plant is subject to further study, both in terms of process and economy.

ABSTRAK

PRARANCANGAN PABRIK PENTAERITRITOL DARI FORMALDEHID, ASETALDEHID DAN NATRIUM HIDROKSIDA KAPASITAS 30.000 TON/TAHUN (Tugas Khusus Crystallizer (CR-401))

Oleh

VERNA DWI LESTARI PESEMA

Pentaeritriol ini berbahan baku formaldehid (CH_2O), asetaldehid ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$), dan natrium hidroksida (NaOH) yang memiliki kegunaan bidang industri kimia sebagai bahan baku pembuatan alkyd resin. Adapun aplikasi alkyd resin pada perindustrian di Indonesia sangat luas meliputi Industri pengawetan kayu, Industri cat dan tinta cetak, industri kerajinan ukiran kayu, bidang tekstil untuk menghaluskan serat, bidang pelapis permukaan, dan bahan peledak, serta masih banyak industri lainnya.

Prarancangan pabrik pentaeritritol dirancang berkapasitas 30.000 ton/tahun dengan waktu operasi 24 jam/hari serta 330 hari kerja selama 1 tahun. Pabrik direncanakan berlokasi di Kawasan Industri JIPE, Gresik Jawa Timur dengan jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan sebanyak 162 orang. Jenis badan usaha yang dipilih berbentuk Perseroan Terbatas (PT) dengan pimpinan tertinggi ada pada jabatan Direktur Utama yang dibantu oleh General Manager yang menganut struktur organisasi fungsional.

Melalui hasil analisis ekonomi diperoleh:

<i>Fixed Capital Investment (FCI)</i>	=Rp 301.858.991.892
<i>Working Capital Investment (WCI)</i>	=Rp 53.269.233.863
<i>Total Capital Investment (TCI)</i>	=Rp 355.128.225.756
<i>Break Even Point (BEP)</i>	=35,38%
<i>Shut Down Point (SDP)</i>	=28,12%
<i>Pay Out Time before Taxes (POT)_b</i>	=0,91 tahun
<i>Pay Out Time after Taxes (POT)_a</i>	=1,11 tahun
<i>Return on Investment before Taxes (ROI)_b</i>	=85%
<i>Return on Investment after Taxes (ROI)_a</i>	=68%
<i>Discounted Cash Flow (DCF)</i>	=25%

Mempertimbangkan rangkuman tersebut, maka pendirian pabrik pentaeritriol ini layak untuk dikaji lebih lanjut, baik dari segi proses maupun ekonomi.

**PRARANCANGAN PABRIK PENTAERITRITOL
DARI FORMALDEHID, ASETALDEHID DAN NATRIUM HIDROKSIDA
KAPASITAS 30.000 TON/TAHUN
Tugas Khusus Perancangan *Crystallizer* (CR-401)**

Oleh:

**VERNA DWI LESTARI PESEMA
1815041061**

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
Sarjana Teknik

Pada
Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi

: **PRARANCANGAN PABRIK
PENTAERITRITOL DARI
FORMALDEHID, ASETALDEHID DAN
NATRIUM HIDROKSIDA KAPASITAS
30.000 TON/TAHUN
(Perancangan *Crystallizer* (CR-401))**

Nama Mahasiswa

: **Verna Dwi Lestari Pesema**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1815041061

Program Studi

: Teknik Kimia

Fakultas

: Teknik



MENYETUJUI
1. Komisi Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Joni Agustian, S.T., M.Sc.
NIP. 196908071998021001

Muhammad Haviz, S.T., M.T.
NIP. 199001282019031015

2. Ketua Jurusan Teknik Kimia

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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Prof. Dr. Ir. Joni Agustian, S.T., M.Sc. IPM

Sekretaris

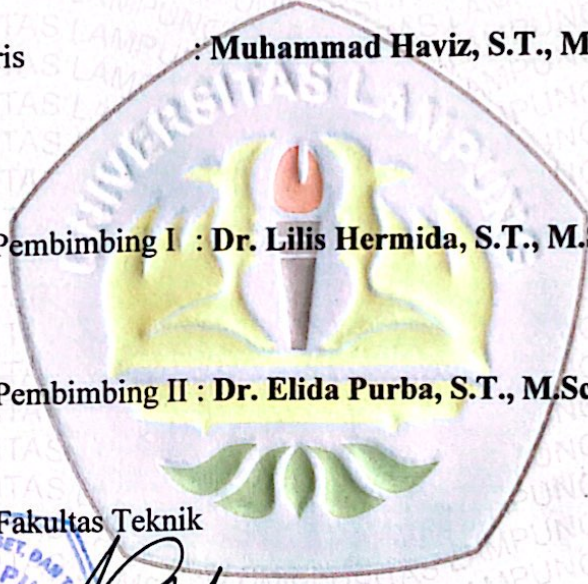
: Muhammad Haviz, S.T., M.T.

Penguji

Bukan Pembimbing I : Dr. Lilis Hermida, S.T., M.Sc.

Bukan Pembimbing II : Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc.

2. Dekan Fakultas Teknik


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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 15 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, 06 Mei 2024



Verna Dwi Lestari Pesema

NPM. 1815041061

RIWAYAT HIDUP



Verna Dwi Lestari Pesema, penulis laporan skripsi ini dilahirkan di Bandar Jaya pada tanggal 05 November 2000, putri kedua dari pasangan Bapak Pesela Jaya Putra dan Ibu Emaliya.

Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN 2 Tanjung Senang pada tahun 2012, pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 8 Bandar Lampung pada tahun 2015 dan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 5 Bandar Lampung 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 Internal dan Advokasi Badan Eksekutif Muda Fakultas Teknik (BEM FT) Periode 2019, Staff Departemen Hubungan Luar Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung (Himatemia FT Unila) Periode 2019, dan Staff Departemen Hubungan Luar Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung (Himatemia FT Unila) Periode 2020. Serta turut serta mengikuti program kampus merdeka yaitu Kredensial Mikro Mahasiswa

Indonesia (KMMI) course Teknologi Amelioran dan kepala Sawit Universitas Jambi tahun 2020 dan Studi Independen Data Analysis di Yayasan Anak Bangsa Bisa (YABB) tahun 2022. Disisi lain, penulis juga mengikuti kegiatan di luar kampus yaitu sebagai volunteer di komunitas Jendela Lampung yang bergerak di bidang literasi serta volunteer di komunitas Seribu Pohon yang bergerak di bidang peduli lingkungan yang mengikuti kegiatan menanam 1000 bibit pohon mangrove.

Pada tahun 2021, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di kelurahan Labuhan Ratu Raya, kecamatan Labuhan Ratu, Bandar Lampung, dan melakukan Kerja Praktik (KP) di PT. Perkebunan Nusantara VII Unit Bunga Mayang dengan Tugas Khusus “Evaluasi Kinerja *Juice Heater* II Pada Unit Proses Pemurnian”. Pada tahun 2021 hingga 2022, penulis melakukan penelitian dengan judul “Modifikasi Zeolit Alam Lampung (ZAL) Dengan FeCl_3 Pada Beragam Waktu Ultrasonik”.

Pada tahun 2022, penulis menjadi asisten praktikkum laboran Operasional Teknik Kimia 1 (OTK 1) dengan modul praktikkum *drying*. Pada tahun 2023, penulis menjadi asisten praktikkum laboran Operasional Teknik Kimia II (OTK II) dengan modul praktikkum *Heat Exchanger*, dan menjadi asisten praktikkum *Heat Exchanger* untuk mahasiswa/i Universitas Jambi.

Motto dan Persembahan

“Mereka di dalamnya memperoleh apa yang mereka kehendaki, dan pada kami ada tambahannya.”
(Qaf:35)

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”
(Al Baqorah: 286)

“Aku sudah pernah merasakan semua kepahitan dalam hidup dan yang paling pahit adalah berharap kepada manusia”
(Ali bin Abi Thalib)

“Tidak ada orang yang bisa membuatmu merasa rendah tanpa persetujuanmu”

“Hidup adalah Seni dalam menikmati dan menjalaninya.”

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

*Kedua orang tuaku, Ayah dan Umiku tercinta,
Terima kasih yang tak terhingga untuk segala bentuk kasih sayang dan
perjuangan kalian yang hingga detik ini masih senantiasa tercurah untuk
Aku, putrimu ini.*

*Saudara dan keluarga besarku ,
Terima kasih banyak untuk do'a dan dukungannya selama ini.*

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

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

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

SANWACANA

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga tugas akhir dengan judul “Prarancangan Pabrik *Pentaerhytritol* dari Natrium Hidroksida, Asetaldehid, dan Formaldehid dengan Kapasitas 30.000 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. Kedua orangtuaku, Ayah dan Umi atas segala curahan kasih sayang, doa, dan usaha sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi dan mendapat gelar sarjana. Terimakasih telah menjadi orangtua sempurna yang memberikan kebahagiaan untuk penulis, sehat selalu Ayah dan Umiku.
2. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Joni Agustian, S. T., M. Sc., IPM. 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 Muhammad Haviz, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II dan Dosen Pembimbing Penelitian yang telah memberikan banyak ilmu, pengarahan, bimbingan, dan motivasi bagi penulis hingga mampu menyelesaikan perkuliahan. Semoga ilmu bermanfaat yang diberikan tersebut dapat berguna dikemudian hari.

5. Ibu Dr. Lilis Hermida, S.T., M.Sc. selaku Dosen Peguji I yang telah memberikan saran, kritikan dan cerita yang memotivasi dalam penyelesaian tugas akhir ini. Semoga ilmu yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
6. Ibu Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan banyak saran dan kritikan dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
7. 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
8. Tengku, Elsa, dan Dama yang senantiasa memotivasi, menemani, menghibur, dan mendengarkan keluh kesah penulis.
9. Erisha Putri, S.T. selaku partner TA. Terima kasih atas kerja sama, dukungan, bantuan, waktu, dan dorongan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Sayu, Lila, Reajeng, Ditya, dan Ndin yang telah menghibur penulis dikala gundah gulana duniawi.
11. Cici, Upe, Cidah, dan Panjul atas kebar-baran tiada tanding sedunia jagat raya yang berwujud kesatria badja hitam dan menyerupai angel wings.
12. Delima, Chika, dan Hanoy yang memberikan canda tawa serta pelipur lara untuk penulis.
13. Agung, Velicha, Om Syahrulz, Putri, dan Gioks atas refreshing setitik dan waktu sedetik disela-sela ke-*hectic*-an penulis.
14. Ike, Erisha dan Thalya atas kebersamaan selama menjalani hari-hari perkuliahan penulis.
15. Uling, Debi, Silmin, Ibeh, dan El Ardel atas *intelligent, credible, and publication* huru-hara setekim raya FT unila, indonesia.
16. Kiyaaow, Topan, dan Heri atas birojasa dari planet lain yang mengsucceskan peradaban dua dunia.
17. Teman-teman angkatan 2018 Teknik Kimia Unila yang begitu ambis, tak jarang memberikan motivasi, informasi, dan dorongan semangat. Sampai Jumpa dititik dan kabar burung akan keberhasilan duniawi bersama.
18. Kakak dan adik tingkat yang turut membantu penulis, memberi arahan, informasi, serta *sharing* terkait skripsi penulis.

19. Last but not least, I wanna thank me, I wanna thank me for before believing in me, I wanna thank me for doing all there hard work, I wanna thank me for having no days off, I wanna thank me for never quitting, I wanna thank me for always being a giver and trying to give more than i receive, I wanna thank me for trying to do more right them wrong, I wanna thank me for just being me all the time.

Akhirnya, penulis sangat menyadari bahwa Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan kalian dengan yang lebih baik dan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Aamiin.

Bandar Lampung, Mei 2024

Penulis,

Verna Dwi Lestari Pesema

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR TABEL	v
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Kegunaan Produk	2
1.3 Ketersediaan Bahan Baku.....	3
1.4 Kapasitas Prarancangan.....	3
1.5 Lokasi Pabrik.....	7
BAB II DESKRIPSI PROSES	13
2.1 Macam-macam Proses.....	13
2.2 Berdasarkan Termodinamika	15
2.3 Pemilihan proses.....	24
2.4 Tinjauan Kinetika	25
2.5 Kondisi Operasi	26
2.6 Tahapan Proses	26
BAB III SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK.....	29
3.1 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk.....	29
3.2 Pengendalian Kualitas	32
BAB IV NERACA MASSA DAN ENERGI	35
4.1 Neraca Massa	35
4.2 Neraca Panas	40
BAB V SPESIFIKASI ALAT.....	45
5.1. Spesifikasi Alat Unit Proses	45
BAB VI UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH.....	97
6.1 Unit Penyediaan Air	97
6.2. Unit Penyediaan <i>Steam</i>	109

6.3.	Unit Pembangkit Tenaga Listrik	110
6.4.	Unit Penyediaan Bahan Bakar	110
6.5.	Unit Penyediaan Udara Instrumen.....	110
6.6.	Unit Pengolahan Limbah.....	111
6.7.	Laboratorium	111
6.8.	Instrumentasi dan Pengendalian Proses	114
BAB VII TATA LETAK DAN LOKASI PABRIK.....		116
7.1.	Lokasi Pabrik.....	116
7.2.	Tata Letak Pabrik	119
7.3.	Estimasi Area Pabrik	121
BAB VIII MANAJEMEN DAN ORGANISASI PERUSAHAAN.....		126
8.1.	Project Master Schedule	126
8.2.	Bentuk Perusahaan	127
8.3.	Struktur Organisasi.....	129
8.4.	Status Karyawan dan Sistem Penggajian	142
8.5.	Pembagian Jam Kerja Karyawan.....	144
8.6.	Penggolongan Jabatan dan Jumlah Karyawan	146
8.7.	Kesejahteraan Karyawan	151
8.8.	Bahaya pada Pabrik (<i>Hazard</i>)	153
BAB IX INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI.....		155
9.1.	Investasi.....	155
9.2.	Evaluasi Ekonomi.....	161
9.3.	Angsuran Pinjaman	164
9.4.	Discounted Cash Flow (DCF)	164
BAB X KESIMPULAN DAN SARAN		166
10.1.	Kesimpulan.....	166
10.2.	Saran	167

DAFTAR PUSTAKA.....	168
----------------------------	------------

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi pendirian pabrikpentaeritritol	7
Gambar 6.1 Diagram <i>Cooling Water System</i>	103
Gambar 7.1 Peta Kabupaten Gresik	123
Gambar 7.2 Area Kawasan Industri JIPE Gresik	123
Gambar 7.3 Tata Letak Pabrik	124
Gambar 7.4 Tata Letak Unit Proses	125
Gambar 8.1 Struktur Organisasi pada Pabrik Pentaeritritol	132
Gambar 9.1 Grafik Analisa Ekonomi.....	163
Gambar 9.2 Kurva <i>Cummulative Cash Flow</i>	164

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Kegunaan Produk di Industri	2
Tabel 1.2 Data Perkembangan Pentaeritritol di Indonesia.....	3
Tabel 1.3 Data Total Impor Pentaeritritol di Negara ASEAN	4
Tabel 1.4 Data Pabrik Pentaeritritol di dunia.....	5
Tabel 2.1 Nilai ΔH°_f dan ΔG°_f komponen.....	16
Tabel 2.2 nilai konstanta C_p	17
Tabel 2.3 nilai konstanta C_p	21
Tabel 2.4 Perbandingan Proses	24
Tabel 4.1 Neraca Massa <i>Mixing Tank</i> (MT-101).....	35
Tabel 4.2 Neraca Massa <i>Mix Point</i> (MP-101)	36
Tabel 4.3 Neraca Massa Reaktor (R-201).....	36
Tabel 4.4 Neraca Massa Netraliser (NE-201)	36
Tabel 4.5 Neraca Massa <i>Centrifuge</i> (CF-301)	37
Tabel 4.6 Neraca Massa Vaporizer (VP-301)	37
Tabel 4.7 Neraca Massa <i>Flash Drum</i> (FD-301).....	37
Tabel 4.8 Neraca Massa <i>Condensor</i> (CD-301)	38
Tabel 4.9 Neraca Massa <i>Crystallizer</i> (CR-401).....	38
Tabel 4.10 Neraca Massa <i>Centrifuge</i> (CF-401)	39
Tabel 4.11 Neraca Massa <i>Rotary Dryer</i> (RD-401)	39
Tabel 4.12 Neraca Massa Cyclone.....	39
Tabel 4.13 Neraca Massa Bucket Elevator	40
Tabel 4.14 Neraca Panas <i>Mixing Tank</i> (MT-101).....	40
Tabel 4.15 Neraca Panas <i>Heater</i> (HE-211).....	41
Tabel 4.16 Neraca Panas Reaktor (RE-201)	41
Tabel 4.17 Neraca Panas <i>Heater</i> (HE-212).....	41
Tabel 4.18 Neraca Panas Netraliser (NE-201).....	42
Tabel 4.19 Neraca Panas <i>Centrifuge</i> (CF-301)	42
Tabel 4.20 Neraca Panas Vaporizer (VP-301).....	42
Tabel 4.21 Neraca Energi <i>Flash Drum</i> (FD-301)	43
Tabel 4.22 Neraca Panas <i>Condensor</i> (CD-301).....	43

Tabel 4.23 Neraca Panas <i>Crystallizer</i> (CR-401).....	43
Tabel 4.24 Neraca Panas <i>Centrifuge</i> (CF-401).....	44
Tabel 4.25 Neraca Panas Total <i>Rotary dryer</i> (RD-401)	44
Tabel 5.1 Spesifikasi <i>Storage Tank</i> (ST-101)	45
Tabel 5.2 Spesifikasi <i>Storage Tank</i> (ST-102).....	46
Tabel 5.3 Spesifikasi <i>Storage Tank</i> (ST-103).....	46
Tabel 5.4 Spesifikasi <i>Storage Tank</i> (ST-201).....	47
Tabel 5.5 Spesifikasi <i>Heat Exchanger</i> (HE-111).....	47
Tabel 5.6 Spesifikasi <i>Heat Exchanger</i> (HE-211).....	48
Tabel 5.7 Spesifikasi <i>Mix Tank</i> (MT-101).....	49
Tabel 5.8 Spesifikasi Reaktor (RE-201)	50
Tabel 5.9 Spesifikasi <i>Netraliser</i> (NE-201).....	51
Tabel 5.10 Spesifikasi <i>Centrifuge</i> (CF-301)	52
Tabel 5.11 Spesifikasi <i>Belt Conveyor</i> (BC-311)	52
Tabel 5.12 Spesifikasi <i>Solid Storage</i> (SS-301).....	53
Tabel 5.13 Spesifikasi <i>Vaporizer</i> (VP-301).....	53
Tabel 5.14 Spesifikasi <i>Flash Drum</i> (FD-301).....	54
Tabel 5.15 Spesifikasi <i>Condensor</i> (CD-301).....	55
Tabel 5.16 Spesifikasi <i>Crystallizer</i> (CR-401).....	56
Tabel 5.17 Spesifikasi <i>Centrifuge</i> (CF-401)	57
Tabel 5.18 Spesifikasi <i>Belt Conveyor</i> (BC-401).....	57
Tabel 5.19 Spesifikasi <i>Rotary Dryer</i> (RD-401)	58
Tabel 5.20 Spesifikasi <i>Air Heater</i> (AH-111)	58
Tabel 5.21 Spesifikasi <i>Fan</i> (F-401)	59
Tabel 5.22 Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC-511).....	59
Tabel 5.23 Spesifikasi <i>Solid Storage</i> (SS-511).....	60
Tabel 5.24 Spesifikasi <i>Belt Conveyor</i> (BC-511)	60
Tabel 5.25 Spesifikasi Gudang Produk (W-511).....	61
Tabel 5.26 Spesifikasi <i>Cyclone</i>	61
Tabel 5.27 Spesifikasi Pompa Proses (PP-111).....	62
Tabel 5.28 Spesifikasi Pompa Proses (PP-112).....	62
Tabel 5.29 Spesifikasi Pompa Proses (PP-113).....	63

Tabel 5.30 Spesifikasi Pompa Proses (PP-114)	63
Tabel 5.31 Spesifikasi Pompa Proses (PP-115)	64
Tabel 5.32 Spesifikasi Pompa Proses (PP-211)	64
Tabel 5.33 Spesifikasi Pompa Proses (PP-212)	65
Tabel 5.34 Spesifikasi Pompa Proses (PP-213)	65
Tabel 5.35 Spesifikasi Pompa Proses (PP-214)	66
Tabel 5.36 Spesifikasi Pompa Proses (PP-215)	67
Tabel 5.37 Spesifikasi Pompa Proses (PP-311)	67
Tabel 5.38 Spesifikasi Pompa Proses (PP-312)	68
Tabel 5.39 Spesifikasi Pompa Proses (PP-313)	68
Tabel 5.40 Spesifikasi Bak Sedimentasi (BS – 401).....	69
Tabel 5.41 Spesifikasi Gudang Bahan kimia (GD-401).....	69
Tabel 5.42 Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC-401)	70
Tabel 5.43 Spesifikasi <i>Bucket Elevator</i> (BE-401)	71
Tabel 5.44 Spesifikasi <i>Dissolving Tank</i> NaOH (DT-402).....	71
Tabel 5.45 Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC-402)	72
Tabel 5.46 Spesifikasi <i>Bucket Elevator</i> (BE-402)	72
Tabel 5.47 Spesifikasi <i>Clarifier</i> (CL-401)	73
Tabel 5.48 Spesifikasi <i>Sand Filter</i> (SF-401).....	73
Tabel 5.49 Spesifikasi Tangki Air Filter (ST-404)	74
Tabel 5.50 Spesifikasi <i>Domestic Water Tank</i> (DWT-401)	74
Tabel 5.51 Spesifikasi <i>Hydran Water Tank</i> (HWT-401)	75
Tabel 5.52 Spesifikasi <i>Cooling Tower</i> (CT-401)	76
Tabel 5.53 Spesifikasi <i>Cold Basin</i> (CB – 401)	76
Tabel 5.54 Spesifikasi Tangki Asam Sulfat (DT-402).....	77
Tabel 5.55 Spesifikasi Tangki Dispersant (ST-406)	77
Tabel 5.56 Spesifikasi Tangki Inhibitor (ST-402)	78
Tabel 5.57 Spesifikasi <i>Cation Exchanger</i> (CE-401)	78
Tabel 5.58 Spesifikasi <i>Anion Exchanger</i> (AE-401)	79
Tabel 5.59 Spesifikasi Tangki Air Demin (ST-403).....	80
Tabel 5.60 Spesifikasi <i>Deaerator</i> (DA-501)	80
Tabel 5.61 Spesifikasi Tangki Hidrazin (ST-501)	81

Tabel 5.62 Spesifikasi <i>Boiler</i> (BO-501).....	81
Tabel 5.63 Spesifikasi Tangki Bahan Bakar (ST-502).....	82
Tabel 5.64 Spesifikasi Blower <i>Steam</i> (BS-501).....	82
Tabel 5.65 Spesifikasi <i>Air Dryer</i> (AD – 601).....	83
Tabel 5.66 Spesifikasi <i>Air Compressor</i> (AC-601).....	83
Tabel 5.67 Spesifikasi <i>Cyclone</i> (CYC-601).....	84
Tabel 5.68 Spesifikasi <i>Blower</i> Udara 1 (BU – 601).....	84
Tabel 5.69 Spesifikasi <i>Blower</i> Udara 2 (BU – 602).....	84
Tabel 5.70 Spesifikasi <i>Blower</i> Udara 3 (BU – 603).....	85
Tabel 5.71 Spesifikasi Generator Listrik (GS-701)	85
Tabel 5.72 Spesifikasi Tangki Bahan Bakar Generator (ST-701)	85
Tabel 5.73 Spesifikasi Pompa (PU-401).....	86
Tabel 5.74 Spesifikasi Pompa (PU – 402)	86
Tabel 5.75 Spesifikasi Pompa (PU – 403)	87
Tabel 5.76 Spesifikasi Pompa (PU – 404)	87
Tabel 5.77 Spesifikasi Pompa (PU – 405)	88
Tabel 5.78 Spesifikasi Pompa (PU – 406)	88
Tabel 5.79 Spesifikasi Pompa (PU – 407)	89
Tabel 5.80 Spesifikasi Pompa (PU – 408)	89
Tabel 5.81 Spesifikasi Pompa (PU – 409)	90
Tabel 5.82 Spesifikasi Pompa (PU – 410)	90
Tabel 5.83 Spesifikasi Pompa (PU – 411)	91
Tabel 5.84 Spesifikasi Pompa (PU – 412)	91
Tabel 5.85 Spesifikasi Pompa (PU – 413)	92
Tabel 5.86 Spesifikasi Pompa (PU – 414)	92
Tabel 5.87 Spesifikasi Pompa (PU – 415)	93
Tabel 5.88 Spesifikasi Pompa (PU – 416)	93
Tabel 5.89 Spesifikasi Pompa (PU – 417)	94
Tabel 5.90 Spesifikasi Pompa (PU – 501)	95
Tabel 5.91 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-502).....	95
Tabel 5.92 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-503).....	96
Tabel 6.1 Kebutuhan Air untuk <i>General Uses</i>	98

Tabel 6.2 Kebutuhan Air untuk Pembangkit <i>Steam</i>	99
Tabel 6.3 Kebutuhan Air Pendingin	101
Tabel 6.4 Kebutuhan Air <i>Hydrant</i>	103
Tabel 6.5 Kebutuhan Air Total	103
Tabel 6.6 Tingkatan Kebutuhan Informasi dan Sistem Pengendalian	114
Tabel 6.7 Pengendalian Variabel Utama Proses	115
Tabel 7.1 Perincian luas area Pabrik <i>Pentaerythritol</i>	121
Tabel 8.1 <i>Project Master Schedule of Pentaerythritol Plant</i>	127
Tabel 8.2 Daftar Gaji Karyawan	143
Tabel 8.3 Jadwal kerja masing - masing regu	145
Tabel 8.4 Perincian Tingkat Pendidikan	146
Tabel 8.5 Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat	148
Tabel 8.6 Jumlah Karyawan Berdasarkan Jabatan.....	149
Tabel 9.1 <i>Fixed Capital Investment</i>	155
Tabel 9.2 <i>Manufacturing Cost</i>	157
Tabel 9.3 <i>General Expenses</i>	158
Tabel 9.4 Biaya Administratif.....	158
Tabel 9.5 <i>Minimum Acceptable Persent Return On Investment</i>	161
Tabel 9.6 <i>Acceptable Pay Out Time</i> untuk Tingkat Resiko Pabrik.....	162
Tabel 9.7 Hasil Uji Kelayakan Ekonomi	164

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pentaeritritol merupakan senyawa *monosakarida polyhydric alcohol* berbentuk kristal berwarna putih tetragonal yang memiliki 4 gugus hidroksil utama dan memiliki rumus molekul $C(CH_2OH)_4$ dengan berat molekul 136,15 g/mol. Senyawa ini bersifat non higroskopis, tidak berbau, tidak mudah menguap, stabil diudara, cukup larut dalam air dingin dan mudah larut dalam air panas serta hanya memiliki kelarutan terbatas dalam cairan organik (Keyes,1975).

Pentaeritritol mempunyai kegunaan yang penting dan peluang yang besar di masa sekarang dan yang akan datang. Pada tingkatannya, pentaeritritol merupakan senyawa yang menjadi bahan baku suatu pabrik yang akan menjadi bahan baku untuk pabrik yang lain. Pentaeritritol dimanfaatkan dalam bidang industri kimia sebagai bahan baku pembuatan *alkyd resin*. *Alkyd resin* merupakan polyester modifikasi minyak kompleks yang banyak digunakan diberbagai aplikasi industri. Adapun aplikasi *alkyd resin* pada perindustrian di Indonesia sangat luas meliputi Industri pengawetan kayu, Industri cat dan tinta cetak, industri kerajinan ukiran kayu, bidang tekstil untuk menghaluskan serat, bidang pelapis permukaan, dan bahan peledak, serta masih banyak industri lainnya (Maity,2009).

Pabrik pentaeritritol sangat dibutuhkan di Indonesia, Menurut Badan Pusat Statistik Indonesia, kebutuhan impor Pentaeritritol pada tahun 2014-2021 di Indonesia memiliki jumlah impor pentaeritritol yang terus mengalami peningkatan. Hal ini membuat devisa Negara di Indonesia semakin meningkat. Namun, untuk mengurangi importir di Indonesia, sangat dibutuhkan didirikan pabrik penghasil pentaeritritol. Sehingga diharapkan pada tahun 2027 indonesia tidak lagi menjadi importir tetapi dapat menjadi pengeksport Pentaeritritol keluar negeri. Hal ini disebabkan karena belum adanya pabrik pentaeritritol di Indonesia sehingga untuk memenuhi kebutuhan pentaeritritol diperoleh dari impor. Dengan

adanya pabrik pentaeritritol juga Indonesia telah melakukan pembangunan dalam upaya peningkatan dan pengembangan pada industri - industri hulu yang membantu memproduksi bahan baku mentah untuk industri hilir di dalam negeri serta menunjang Indonesia dalam hal kebutuhan ekspor. Industri produksi Pentaeritritol berpotensi untuk menunjang bahan - bahan baku mentah bagi industri hilir dalam negeri serta meningkatkan nilai ekspor di dalam negeri. Selain itu, Dengan didirikannya pabrik Pentaeritritol dapat menambahkan lapangan kerja bagi para tenaga kerja dan meningkatkan nilai dalam segi sosial ekonomi.

1.2 Kegunaan Produk

Pentaeritritol merupakan bahan kimia setengah jadi yang menjadi bahan baku bagi industri hilir.

Tabel 1.1 Kegunaan Produk di Industri

Jenis Industri	Proses Pemakaian Pentaeritritol
<i>Resin Alkyd</i>	Esterifikasi pembentukan resin dengan asam bervalensi dua Alkoholis dengan asam tidak jenuh
Versin	Esterifikasi membentuk resin ester
<i>Explosive</i>	Reaksi nitrasi membentuk senyawa trinitrat yang memiliki sifat <i>Explosive</i>
Farmasi	Reaksi nitrasi membentuk senyawa trinitrat yang dipersiapkan untuk obat – obatan

Saat ini kegunaan pentaeritritol yang utama adalah untuk kebutuhan *Paints dan Coating. Drying oil* maupun *semi drying oil* atau asam lemak yang secara luas digunakan sebagai campuran *surface coating* yang memiliki keunggulan seperti cepat kering, mengkilap dan mempunyai kekerasan yang baik, awet, dan tahan terhadap air dan alkali. Selain itu pentaeritritol juga digunakan dalam berbagai produksi seperti: pernis, tinta cetak, pelapis lantai, dan kosmetik.

1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku merupakan syarat utama bagi keberlangsungan pabrik, sehingga pengadaan bahan baku sangat penting untuk dipertimbangkan. Bahan baku yang digunakan untuk produksi pentaeritritol adalah formaldehid, asetaldehid, natrium hidroksida dan asam format. Bahan baku formaldehid dapat diperoleh dari PT Arjuna Utama Kimia, Surabaya, Jawa timur. Bahan baku asetaldehid diperoleh dari PT. Indo Acidatama, Karanganyar, Jawa Tengah. Bahan baku natrium hidroksida diperoleh dari PT. Toya Indo Manunggal, Jawa Timur. Serta bahan baku pendukung yaitu asam format diperoleh dari PT Sintas Kurama Perdana, Cikampek, Jawa Barat.

1.4 Kapasitas Prarancangan

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2014-2021 jumlah impor pentaeritritol di Indonesia terus mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan karena belum adanya pabrik pentaeritritol di Indonesia sehingga untuk memenuhi kebutuhan pentaeritritol diperoleh dari impor. Berikut merupakan data impor pentaeritritol dapat dilihat pada Tabel 1.2

Tabel 1. 2 Data Perkembangan Pentaeritritol di Indonesia

Tahun	Impor (Ton)	Pertumbuhan (%)
2014	5.269	-
2015	5.083	-3,53
2016	5.133	0,98
2017	5.628	9,64
2018	5.952	5,76
2019	5.022	-15,63
2020	5.024	0,04
2021	5.863	16,7
Jumlah	42.974	13,97
Rata-Rata	5.372	1,75

(Sumber: Badan Pusat Statistik, 2022)

Berdasarkan Tabel 1.2 tren pertumbuhan rata-rata impor pentaeritritol di Indonesia dari tahun 2014-2021 menunjukkan kenaikan permintaan rata-rata sebesar 1,75%. Sehingga dari tren tersebut pendirian pabrik pentaeritritol di Indonesia diharapkan mampu mendorong kemandirian Indonesia untuk memproduksi pentaeritritol dengan tujuan untuk mengurangi ketergantungan impor dari negara lain. Selain itu, di beberapa negara ASEAN seperti Malaysia, Singapura, Thailand, Philipina dan Vietnam masih memenuhi kebutuhan pentaeritritol dengan cara impor. Berikut merupakan Tabel 1.3 data total impor pentaeritritol di beberapa negara ASEAN

Tabel 1. 3 Data Total Impor Pentaeritritol di Negara ASEAN

Tahun	Impor (Ton)	Pertumbuhan (%)
2014	11.798	-
2015	13.135	11,33
2016	15.703	19,55
2017	13.158	-16,21
2018	13.191	0,25
2019	15.513	17,6
2020	15.262	-1,62
2021	16.789	10,01
Jumlah	114.549	40,92
Rata-Rata	14.319	5,11

(ComtradeUN, 2022)

Berdasarkan tabel tersebut diperoleh bahwa kebutuhan pentaeritritol di ASEAN menunjukkan kenaikan permintaan rata-rata 5,11%. Hal ini membuka peluang besar bagi Indonesia untuk mendirikan pabrik pentaeritritol guna memenuhi kebutuhan dalam negeri dan luar negeri khususnya di negara ASEAN.

Analisa kapasitas pabrik sejenis sangat berpengaruh dalam penentuan kapasitas pabrik. Hal tersebut didasari dari kebutuhan pentaeritritol yang masih impor dan kapasitas pabrik ini harus sama dengan atau diatasnya kapasitas pabrik

yang sudah beroperasi. Tabel 1.4 menunjukkan kapasitas pabrik pentaeritritol di dunia, dimana kapasitas pabrik berada pada kisaran 5.000 ton/tahun hingga 36.000 ton/tahun.

Tabel 1. 4 Data Pabrik Pentaeritritol di dunia

Pabrik	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)
Mitsui Chemical	Jepang	8.000
Kanoria Chemicals & Industries	India	5000
Liyang Ruiyang Chemical	Cina	10.000
Copenor	Brazil	12.000
Hercules	US	22.000
Perstorp	Jerman	36.000
Baoding Guoxiu Chemical Industry	China	20.000
Ecros SA	Spanyol	17.000
U-Jin Chemizal	Korea Selatan	6.000
Celanese Chemical	Texas	34.000

(www.icis.com)

Apabila pabrik pentaeritritol dapat didirikan, maka akan mendukung pabrik-pabrik lain yang membutuhkan pentaeritritol sebagai bahan baku utama atau tambahan dan juga dapat meningkatkan devisa negara. Di sisi lain, berdirinya pabrik pentaeritritol dapat membuka lapangan kerja dan menekan tingkat pengangguran di Indonesia karena padatnya populasi penduduk di Indonesia.

Pabrik ini direncanakan akan berdiri pada tahun 2027 untuk memenuhi kebutuhan pentaeritritol di Indonesia dan negara ASEAN. Dengan

menggunakan data impor pada 8 tahun terakhir, dapat diperkirakan konsumsi pentaeritritol di Indonesia meningkat pada tahun 2027. Adapun metode yang digunakan yaitu dengan persamaan *compound interest* (Timmerhaus dkk, 2003).

$$F = P (1 + i)^n \dots \dots \dots (1.1)$$

Dimana:

F = Jumlah produk pada akhir tahun perhitungan (Ton/tahun)

i = Pertumbuhan rata-rata import per tahun (%)

P = Jumlah data import tahun pertama

n = Selisih tahun yang diperhitungkan

Sehingga untuk kebutuhan pentaeritritol di Indonesia pada tahun 2027:

$$\begin{aligned} F &= 5.863 (1 + 1,75\%)^6 \\ &= 6504,68 \end{aligned}$$

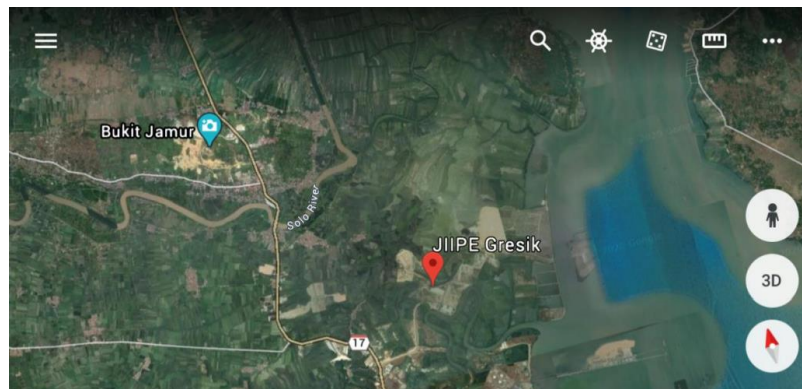
Untuk kebutuhan pentaeritritol di negara ASEAM pada tahun 2027 :

$$\begin{aligned} F &= 16.789 (1 + 5,11\%)^6 \\ &= 22.646,65 \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan diperoleh data estimasi kebutuhan pentaeritritol di Indonesia dan negara ASEAN pada tahun 2027 masing masing sebesar 6.505 dan 22.647 Ton/tahun. Sehingga dapat ditetapkan kapasitas produksi pabrik yang akan didirikan pada tahun 2027 adalah sebesar 30.000 ton/tahun. Sehingga dapat ditetapkan kapasitas produksi pabrik yang akan didirikan pada tahun 2027 adalah sebesar 30.000 ton/tahun yaitu sebanyak 24% akan memenuhi kebutuhan di Indonesia dan 76% akan di ekspor untuk mengisi kekosongan pasar ASEAN. Kapasitas tersebut sudah cukup tepat dengan mempertimbangkan analisa impor dan pabrik sejenis yang ada di dunia.

1.5 Lokasi Pabrik

Penentuan lokasi pabrik yang tepat, ekonomis dan menguntungkan dipengaruhi oleh banyak faktor. Idealnya, lokasi yang dipilih harus dapat memberikan kemungkinan untuk memperluas atau memperbesar pabrik di kemudian hari dan memberikan keuntungan untuk jangka panjang. Pabrik pentaeritritol dari asetaldehid dan formaldehid dengan natrium hidroksida dengan kapasitas 30.000 ton/tahun direncanakan akan berdiri di kawasan industri JIPE Gresik, Jawa Timur dengan pertimbangan sebagai berikut.



Gambar 1.1 Lokasi pendirian pabrik pentaeritritol

(Sumber : <http://maps.google.com>)

1.5.1 Faktor Primer

Faktor primer merupakan faktor yang mempengaruhi tujuan utama dari pabrik tersebut yang meliputi produksi dan distribusi pabrik. Faktor-faktor primer yang mempengaruhi di dalam menentukan pemilihan lokasi pabrik adalah:

a) Bahan Baku

Lokasi bahan baku sangat mempengaruhi kelangsungan hidup suatu pabrik. Lokasi pabrik harus dekat dengan sumber bahan baku yaitu asetaldehid, formaldehid dan natrium hidroksida. Sumber Bahan baku formaldehid dapat diperoleh dari PT Arjuna Utama Kimia, Surabaya, Jawa timur. Bahan baku asetaldehid diperoleh dari PT Indo Acidatama, Jawa Tengah. Bahan baku natrium hidroksida diperoleh dari PT Toyo Indo Manunggal, Jawa Timur.

Serta bahan baku pendukung yaitu asam format diperoleh dari PT Sintas Kurama Perdana, Cikampek, Jawa Barat.

b) Pemasaran

Dengan berdirinya pabrik pentaeritritol di Kawasan Industri JIPE Gresik, Jawa Timur, maka pemasaran produk akan lebih mudah sampai ke konsumen, yaitu pabrik-pabrik yang menggunakan pentaeritritol sebagai bahan baku, baik yang berlokasi di Jawa maupun di luar Jawa dan diharapkan kebutuhan akan pentaeritritol bisa tercukupi, juga membuka kesempatan berdirinya industri-industri lain yang menggunakan pentaeritritol sebagai bahan baku.

Pemilihan pabrik di Gresik sebagai lokasi juga didasarkan pada kedekatannya dengan pasar, diantaranya PT Eternal Buana Chemical, PT Golden Bridge Chemical, PT Avi Avian, PT Gyungdo Indonesia, dll.

Pemasaran produk sebagian besar untuk mencukupi kebutuhan impor dalam negeri dengan prioritas utama pemasaran pentaeritritol antara lain, industri cat, *resin alkyd*, *surface coating*, PVC, dll. Produk yang dihasilkan haruslah sesuai dengan permintaan pasar yang akan membeli produk tersebut, baik dari segi kualitas produk, harga, bentuk dan sebagainya yang semua itu harus terpenuhi.

c) Iklim dan Cuaca

Kondisi iklim dan cuaca di wilayah ini relatif stabil. Dengan setengah bulan pertama kemarau dan setengah bulan kedua hujan. Namun perbedaan suhu yang terjadi tidak terlalu jauh atau relatif kecil, sehingga layak untuk didirikan.

d) Utilitas

Pabrik yang akan didirikan harus dekat dengan sumber air. Di Kawasan Industri JIPE Gresik dapat diperoleh air yang cukup untuk keperluan pabrik, baik untuk utilitas maupun keperluan pabrik lainnya. Ketersediaan air sebagai air bahan baku maupun air proses telah tercukupi dari sumber-sumber air yang ada di sekitar Kawasan Industri JIPE Gresik. Adanya Sungai Bengawan Solo dengan

debit 684 m³/s di Gresik membuat kebutuhan air untuk pabrik sangat tercukupi. Selain itu di JIPE Gresik telah tersedia pembangkit listrik 13 Megawatt sejak November 2017 yang dipastikan bertambah seiring bertambahnya pabrik di kawasan industri tersebut. Kebutuhan bahan bakar dapat diperoleh dari PT Pertamina (Persero).

e) Tenaga Kerja

Dengan akan didirikannya pabrik ini diharapkan akan membuka lapangan pekerjaan baru dan dapat menyerap tenaga kerja khususnya orang-orang disekitar pabrik ini yaitu di kawasan industri JIPE Gresik yang membutuhkan pekerjaan.

Kawasan industri yang dapat menunjang tenaga kerja ahli dan tenaga kerja biasa. Selain faktor di atas, pemilihan Gresik karena memiliki kemudahan dalam perizinan, pajak dan lain-lain yang menyangkut teknis pelaksanaan pendirian suatu pabrik dan tersedianya fasilitas umum, maka lokasi di Gresik dirasa tepat untuk lokasi pendirian pabrik pentaeritritol.

Melihat data statistik yang ada maka kebutuhan akan pentaeritritol dalam industri akan meningkat karena adanya peningkatan dalam data kebutuhan yang ada. Karena itu perlu dilakukan perkembangan untuk memproduksi pentaeritritol untuk mencukupi kebutuhan tersebut dan mengurangi angka impor Indonesia akan pentaeritritol.

f) Transportasi

Transportasi dibutuhkan sebagai penunjang, terutama untuk penyediaan bahan baku, pengangkutan produk, dan pemasaran. Gresik memiliki sarana dan prasarana baik. Sarana transportasi, kedekatan dengan pelabuhan Manyar dalam Kawasan Industri JIPE, dan adanya tol sebagai transportasi darat yang berada di Gresik, serta kawasan ini sekitar 1 jam dari Bandar Udara Internasional Juanda sehingga memudahkan untuk melakukan hubungan ke daerah yang lainnya.

1.5.2 Faktor Sekunder

Dalam hal ini faktor sekunder tidak berperan secara langsung dalam operasional proses pabrik. Faktor ini akan berpengaruh terhadap kelancaran proses operasional dalam pendirian pabrik. faktor sekunder terdiri dari :

a) Perluasan area pabrik

Perluasan pabrik dan kemungkinan penambahan bangunan di masa yang akan datang. Perluasan pabrik harus diperhitungkan sebelum masalah kebutuhan tempat menjadi masalah besar di masa yang akan datang. Sejumlah area khusus harus dipersiapkan untuk perluasan pabrik jika dimungkinkan pabrik menambah kapasitas produksi atau ingin mengolah bahan baku sendiri, memerlukan adanya penambahan peralatan.

Berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Gresik Tahun 2010 – 2013 rencana peruntukan penggunaan lahan untuk kawasan industri Kabupaten Gresik adalah sebesar 12.448,026 hektar serta karena pabrik ini berada di kawasan industri JIPE yang memiliki luas kawasan industri sebesar 1.761 hektar maka pabrik ini sangat memungkinkan untuk perluasan pabrik dan peningkatan kapasitas.

b) Kebijakan Pemerintah

Undang-undang dan peraturan-peraturan perlu diperhatikan dalam pemilihan lokasi pabrik, karena jika dalam pendirian suatu pabrik ada hal yang bertentangan dengan undang-undang dan peraturan-peraturan maka kelangsungan suatu pabrik terancam. Oleh karena itu lokasi yang telah dipilih merupakan di daerah untuk kawasan industri sehingga akan memudahkan perjanjian dalam perijinan pabrik maupun peraturan-peraturan yang akan diberlakukan oleh pihak setempat. Faktor sekunder tidak secara langsung berperan dalam proses industri, akan tetapi sangat berpengaruh dalam kelancaran proses produksi dari pabrik tersebut.

c) Kemasyarakatan

Dengan masyarakat yang akomodatif terhadap perkembangan industri dan tersedianya fasilitas umum untuk hidup bermasyarakat, maka lokasi di Gresik dirasa tepat. Dari pertimbangan faktor-faktor di atas, maka lokasi pendirian pabrik Pentaeritritol di daerah Gresik, Jawa Timur.

d) Sarana dan Prasarana Sosial

Sarana dan Prasarana sosial yang disediakan berupa penyediaan sarana umum seperti tempat ibadah, sekolah, rumah sakit serta adanya penyediaan bengkel industri.

e) Limbah Pabrik

Buangan limbah pabrik harus mendapat perhatian yang cermat, terutama dampaknya terhadap kesehatan masyarakat sekitar lokasi pabrik. Hal-hal yang perlu diperhatikan diantaranya :

- 1). Cara menangani limbah tersebut agar tidak menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan.
- 2). Biaya yang perlu diperhatikan untuk menanganani masalah polusi bagi lingkungan.
- 3) Pengontrolan terhadap bahaya banjir dan kebakaran Hal-hal yang perlu diperhatikan :
 - Jarak lokasi pabrik dengan lokasi perumahan penduduk.
 - Lokasi pabrik diusahakan tidak berada di lokasi rawan banjir.

BAB II

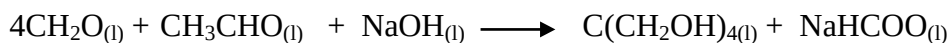
DESKRIPSI PROSES

2.1 Macam-macam Proses

Secara garis besar, pentaeritritol diproduksi dengan mereaksikan formaldehid dan asetaldehid dalam larutan basa alkali. Namun, yang umum digunakan adalah $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan NaOH . Beberapa reaksi samping terjadi saat sintesis pentaeritritol berlangsung dan menghasilkan produk samping. Hal tersebut menyebabkan banyak dilakukan modifikasi proses produksi pentaeritritol dengan tujuan memperbesar yield pentaeritritol. Akibatnya, terdapat banyak cara pembuatan pentaeritritol yang dapat dijumpai. Terdapat dua metode yang umum digunakan dalam pembuatan pentaeritritol berdasarkan media alkalinya yaitu:

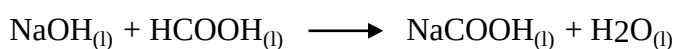
2.1.1 Natrium Hidroksida sebagai Media Alkali

Pentaeritritol dibuat dari CH_2O dan $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$. Larutan CH_2O di tambahkan ke dalam larutan NaOH . Larutan $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ ditambahkan secara perlahan di permukaan larutan alkali CH_2O . Reaksi terjadi secara eksotermis. Kondisi operasi pada suhu 45°C dan waktu 40 menit dengan tekanan 1 atm. Rasio mol formaldehid, asetaldehid dan Natrium hidroksida digunakan adalah 7,7:1:1,06 dengan konversi reaksi 91,5%. Berikut merupakan reaksi pembentukan pentaeritritol yang terjadi.



Selain itu juga terbentuk methanol sebagai reaksi samping.

Kemudian, hasil dari reaktor dimasukkan ke dalam tangki netralisasi untuk menghilangkan sisa natrium hidrksida dengan menggunakan asam format. Berikut reaksi yang terjadi

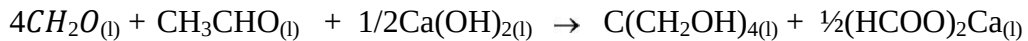


Selanjutnya, larutan tersebut dibuang dari pengotornya kemudian di pekatkan sebelum masuk ke crystallizer untuk dikristalisasi. Produk utama akan di

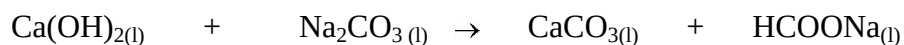
kristalisasi dan dikeringkan menjadi padatan pentaeritritol. Metode ini sama seperti metode pertama hanya saja pada metode ini berdasarkan hasil pendekatan ilmiah diperoleh bahwa NaOH memiliki kereaktifan lebih rendah dibandingkan dengan KOH dan dalam menghasilkan produk pentaeritritol tidak banyak produk samping yang dapat mengkontaminasi kemurnian dari pentaeritritol. Oleh karena itu *yield* yang diperoleh memiliki kemurnian yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode pertama (US Patent 8,293,950 B2; Peter & Cupit, 1959).

2.1.2 Kalsium Hidroksida sebagai Media Alkali

Pada metode ini, pentaeritritol dibuat dengan menggunakan Ca(OH)_2 sebagai media alkalinya. CH_2O dan $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ yang telah direaksikan dengan Ca(OH)_2 dimasukkan ke dalam reaktor. Kondisi operasi pada proses ini dijaga sekitar 50°C dengan tekanan 1 atm. Proses ini membutuhkan waktu selama 2 jam dengan konversi reaksi 80%. Reaksi yang terjadi di dalam reaktor menurut Keyes (1961) yaitu :



Selain itu terjadi reaksi samping. Kemudian, ditambahkan Natrium Karbonat untuk menetralkan kandungan kalsium hidroksida yang berlebih untuk mengendapkan ion kalsium (Ca^{2+}) menjadi kalsium karbonat (CaCO_3). Reaksi penetralan Ca(OH)_2 yang terjadi yaitu :



Pada netralizer dengan Ph sekitar 7,5 - 6,5. Kemudian, di ditambahkan asam sulfat untuk mengendapkan kalsium menjadi kalsium sulfat. Selanjutnya slurry difiltrasi dari kalsium sulfat. Setelah difiltrasi, slurry dipekatkan dan dimasukkan ke dalam kristalisasi. Setelah itu, di sentrifugal dan di keringkan menggunakan rotary dryer. Proses ini menghasilkan produk samping yang dapat mengganggu produk pentaeritritol yang diinginkan. Dikarenakan adanya pengotor tersebut sehingga memerlukan proses pemurnian yang lebih rumit untuk mendapatkan produk pentaeritritol dengan *yield* yang besar. Hal ini menyebabkan meningkatnya biaya kebutuhan alat sehingga proses ini tidak ekonomis. Kristal dalam proses ini warnanya tidak putih, karena produk reaksi

samping, sehingga perlu proses pemurnian lebih lanjut. (Maity,2009).

2.2 Berdasarkan Termodinamika

Pemilihan proses berdasarkan kelayakan termodinamika dapat dilihat dari nilai perubahan entalpi (ΔH) dan perubahan gibbs free energy (ΔG). Pada sebuah proses kimia perlu diketahui bagaimana kondisi panas reaksi untuk sebuah proses berjalan dengan optimal sehingga diketahui apakah proses berjalan membutuhkan panas atau menghasilkan panas sebagai dasar dalam mendesain reaktor (Smith et al., 2001).

Proses dengan sistem tertutup, bertekanan konstan dan reversible secara mekanis, aliran stabil dimana nilai energi potensial dan energi kinetik diabaikan dan kerja sama dengan nol maka panas reaksi sama dengan perubahan entalpi sistem (ΔH). ΔH negatif menunjukkan reaksi eksotermis, konstanta kesetimbangan berkurang dan temperatur meningkat, sebaliknya ΔH positif menunjukkan reaksi endotermis (Smith et al., 2001).

Panas reaksi standar didefinisikan sebagai perubahan entalpi ketika sejumlah reaktan pada keadaan temperatur standarnya bereaksi membentuk produk dalam keadaan temperatur standarnya (Smith et al., 2001).

Nilai perubahan entalpi (ΔH) negatif menunjukkan reaksi berjalan secara eksotermis sedangkan nilai perubahan entalpi positif menunjukkan reaksi endotermis (Coulson et. al., 2002).

Sebuah reaksi kimia pada suhu dan tekanan tertentu berlangsung pada penurunan nilai gibbs free energy. Reaksi kimia berhenti dan berada pada kesetimbangan kimia ketika nilai gibbs free energy mencapai nilai minimum sedangkan reaksi kimia tidak dapat berlangsung ketika nilai gibbs free energy meningkat (Cengel).

ΔG atau perubahan Gibbs free energy yang mengidentifikasikan apakah sebuah proses berjalan secara spontan ($\Delta G < 0$), pada kesetimbangan ($\Delta G = 0$) atau proses tidak dapat dilanjutkan ($\Delta G > 0$) (Lee, 2000). Sehingga perlu diperhatikan nilai ΔG untuk memilih proses mana yang lebih menguntungkan secara termodinamik. Nilai ΔH dan ΔG reaksi dari ketiga proses dapat dihitung sebagai berikut:

Tinjauan secara termodinamika bertujuan untuk mengetahui apakah reaksi bersifat endotermis atau eksotermis. Penentuan panas reaksi yang berjalan secara eksotermis atau endotermis dapat dihitung melalui perhitungan panas pembentukan standar ΔH_f° pada $P = 1 \text{ atm}$ dan $T = 298 \text{ K}$. Nilai ΔH_f° masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada tabel 2.2

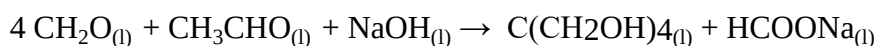
Tabel 2.1 Nilai ΔH_f° dan ΔG_f° komponen

Komponen	ΔH_f° (kJ/mol)	ΔG_f° (kJ/mol)
Formaldehid (CH ₂ O)	115,9	-102,5
Asetaldehid (C ₂ H ₄ O)	-166,3	-133
Natrium Hidroksida (NaOH)	-426,6	-379,5
Pentaeritritol (C ₅ H ₁₂ O ₄)	-922,23	-607,1
Natrium Format (HCOONa)	-666,5	-599,9
Asam Format (CH ₂ O ₂)	-378,6	-351
Metanol (CH ₃ OH)	-284,49	-233,16
Air (H ₂ O)	-285,83	-237,13
Kalsium Format (Ca(HCOO) ₂)	-998,5	-678
Kalsium Hidroksida (CaOH) ₂	-985	-897,5

(Yaws, 1999)

a. Media Alkali Natrium Hidroksida

Reaksi utama pembuatan Pentaeritritol :



- Menghitung nilai entalpi reaksi (ΔH°) pada (ΔH°) pada 25°C atau 298,15 K

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

$$\Delta H_r^\circ 298 \text{ K} = (\Delta H_f^\circ \text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_4 + (\Delta H_f^\circ \text{NaHCOO}_{(l)})) - ((4 \times \Delta H_f^\circ \text{HCHO}_{(l)}) + \Delta H_f^\circ \text{CH}_3\text{CHO} + \Delta H_f^\circ \text{NaOH}_{(l)})$$

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ 298 \text{ K} &= ((-922,23) + (-666,5)) - (4 \times 115,9) + (-166,2) + (-426,6)) \\ &= -1.459,53 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

- Menghitung nilai entalpi reaksi (ΔH°) pada suhu operasi

Untuk menghitung ΔH° pada suhu tertentu menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta H^\circ = \Delta H_0^\circ + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT$$

Untuk mencari nilai $\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT$ menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT = \Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right)$$

Maka nilai ΔH° adalah:

$$\Delta H^\circ = \Delta H_0^\circ + R \left[\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \right]$$

(Smith, 2001)

Untuk mencari nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD harus diketahui nilai konstanta C_p masing-masing senyawa yang dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 nilai konstanta C_p

Komponen	A	B	C	D	$\int \Delta C_p^\circ dT$
$\text{CH}_2\text{O}_{(l)}$	44,22	0,399	$-1,54 \times 10^{-3}$	$3,03 \times 10^{-6}$	3936,52
$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_{(l)}$	31,39	0,44853	$-1,661 \times 10^{-3}$	$2,7 \times 10^{-6}$	3235,73
$\text{NaOH}_{(l)}$	87,64	$-4,837 \times 10^{-4}$	$-4,542 \times 10^{-6}$	$1,19 \times 10^{-9}$	3047,49
$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_{4(l)}$	-1429,775	9,5192	$-1,668 \times 10^{-2}$	$1,034 \times 10^{-5}$	8302,88
$\text{NaHCOO}_{(l)}$	-16,1	0,872	-0,00237	0,00000245	3501,49

Dimana:

$$R = 8,314$$

$$T = 60^\circ\text{C} = 333,15 \text{ K}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

$$\Delta H^\circ_{298} = \Delta H_0^\circ = -3,753 \text{ kJ/mol}$$

Maka diperoleh nilai:

$$\Delta A = (A \text{ C}_5\text{H}_{12}\text{O}_{7(l)} + (A \text{ NaHCOO}_{(l)})) - ((4 \times A \text{ HCHO}_{(l)} + A \text{ CH}_3\text{CHO} + A$$

$$\begin{aligned} & \text{NaOH}_{(l)} \\ & = -1630,669 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama untuk menentukan ΔA , didapatkan nilai ΔB , ΔC , dan ΔD sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta B &= 7,444 \\ \Delta C &= -0,00885 \\ \Delta D &= -4,47568 \cdot 10^{-6} \end{aligned}$$

Selanjutnya, substitusikan nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD pada rumus ΔH° , sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ &= \Delta H_0^\circ + R \left[\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \right] \\ \Delta H^\circ &= \Delta H_0^\circ + R \left[\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \right] \\ \Delta H^\circ &= -1459,53 + 8,314 \left[-1630,669(335,15 - 298,15) + \frac{7,444}{2}(335,15^2 - 298,15^2) + \frac{-0,0088}{3}(335,15^3 - 298,15^3) + 4,47568 \cdot 10^{-6} \left(\frac{335,15 - 298,15}{(335,15)(298,15)} \right) \right] \\ \Delta H^\circ &= -7198,6223 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Diperoleh nilai ΔH° pada reaksi sebesar - 7198,6223 kJ/mol

- Menghitung nilai *gibbs free energy* (ΔG°) pada 25°C atau 298,15 K

$$\Delta G^\circ_{298 \text{ K}} = \Sigma(n\Delta G^\circ_f)_{\text{produk}} - \Sigma(n\Delta G^\circ_f)_{\text{reaktan}}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ_{r, 298 \text{ K}} &= (\Delta G^\circ_f \text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_{7(l)} + (\Delta G^\circ_f \text{NaHCOO}_{(l)})) - ((4 \times \Delta G^\circ_f \text{HCHO}_{(l)} \\ & \quad + \Delta G^\circ_f \text{CH}_3\text{CHO} + \Delta G^\circ_f \text{NaOH}_{(l)}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ_{298 \text{ K}} &= ((-607,1) + (-599,9)) - (4 \times 102,5) + (-379,5) + (-133)) \\ &= -284,5 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

- Menghitung nilai *gibbs free energy* (ΔG°) pada suhu operasi

Untuk menghitung ΔG° pada suhu tertentu menggunakan persamaan sebagai

berikut:

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

Untuk mencari nilai $\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT$ menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT = \Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right)$$

Untuk mencari nilai $\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} \frac{dT}{T}$ menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

Maka nilai ΔG° adalah:

$$\Delta G^\circ = \Delta H_0^\circ - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0^\circ - \Delta G_0^\circ) + R \left[\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \right] - RT \left[\Delta A \ln \frac{T}{T_0} + \left[\Delta B + \left(\Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 \times T^2} \right) \left(\frac{T + T_0}{2} \right) \right] (T - T_0) \right]$$

(Smith, 2001)

Untuk mencari nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD harus diketahui nilai konstanta C_p masing-masing senyawa yang dapat dilihat pada Tabel 2.2.



Dimana:

$$R = 8,314$$

$$T = 60^\circ\text{C} = 333,15 \text{ K}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

$$\Delta H_{298}^\circ = \Delta H_0^\circ = -1459,53 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_{298}^\circ = \Delta G_0^\circ = -106,53 \text{ kJ/mol}$$

Maka diperoleh nilai:

$$\Delta A = (A \text{ C}_5\text{H}_{12}\text{O}_7\text{(l)} + (A \text{ NaHCOO(l)})) - ((4x A \text{ HCHO(l)} + A \text{ CH}_3\text{CHO} + A$$

$$\begin{aligned} & \text{NaOH}_{(l)} \\ & = -1630,669 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama untuk menentukan ΔA , didapatkan nilai ΔB , ΔC , dan ΔD sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta B &= 7,444 \\ \Delta C &= -0,00885 \\ \Delta D &= -4,47568-06 \end{aligned}$$

Selanjutnya, substitusikan nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD pada rumus ΔG° , sebagai berikut:

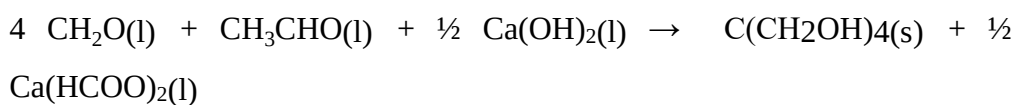
$$\Delta G^\circ = \Delta H_0^\circ - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0^\circ - \Delta G_0^\circ) + R \left[\Delta A (T - T_0) + \frac{\Delta B}{2} (T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3} (T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{T T_0} \right) \right] - RT \left[\Delta A \ln \frac{T}{T_0} + \left[\Delta B + \left(\Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 \times T^2} \right) \left(\frac{T + T_0}{2} \right) \right] (T - T_0) \right]$$

$$\Delta G^\circ = -71636686,9 \text{ kJ/mol}$$

Diperoleh nilai ΔG° pada reaksi ini sebesar -71636686,9 kJ/mol

b. Media Alkali Kalsium Hidroksida

Reaksi utama pembuatan Pentaeritritol :



- Menghitung nilai entalpi reaksi (ΔH°) pada (ΔH°) pada 25°C atau 298,15 K

$$\Delta H^\circ_f 298 \text{ K} = \Delta H^\circ_f \text{produk} - \Delta H^\circ_f \text{reaktan}$$

$$\Delta H^\circ_r 298 \text{ K} = (\Delta H^\circ_f \text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_{7(l)} + (\Delta H^\circ_f 1/2 \text{Ca(HCOO)}_2(l))) - ((4 \times \Delta H^\circ_f \text{HCHO}_{(l)} + \Delta H^\circ_f \text{CH}_3\text{CHO} + \Delta H^\circ_f 1/2 \text{Ca(OH)}_2(l))$$

$$= -1.296,28 \text{ kJ/mol}$$

- Menghitung nilai entalpi reaksi (ΔH°) pada suhu operasi

Untuk menghitung ΔH° pada suhu tertentu menggunakan persamaan sebagai

berikut:

$$\Delta H^\circ = \Delta H_0^\circ + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT$$

Untuk mencari nilai $\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT$ menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT = \Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right)$$

Maka nilai ΔH° adalah:

$$\Delta H^\circ = \Delta H_0^\circ + R \left[\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \right]$$

(Smith, 2001)

Untuk mencari nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD harus diketahui nilai konstanta C_p masing-masing senyawa yang dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 nilai konstanta C_p

Komponen	A	B	C	D	$\int \Delta C_p^\circ dT$
$\text{CH}_2\text{O}_{(l)}$	44,22	0,399	$-1,54 \times 10^{-3}$	$3,03 \times 10^{-6}$	3936,52
$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_{(l)}$	31,39	0,44853	$-1,66 \times 10^{-3}$	$2,7 \times 10^{-6}$	3235,73
$\text{Ca}(\text{OH})_{2(l)}$	19,7	0,0108	0	0	3047,49
$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_{4(l)}$	-1429,775	9,5192	$-1,67 \times 10^{-2}$	$1,034 \times 10^{-5}$	8302,88
$\text{Ca}(\text{HCOO})_{2(l)}$	-16,1	0,872	-0,00237	0,00000245	3501,49

Dimana:

$$R = 8,314$$

$$T = 50^\circ\text{C} = 323,15 \text{ K}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

$$\Delta H_{298}^\circ = \Delta H_0^\circ = -3,753 \text{ kJ/mol}$$

Maka diperoleh nilai:

$$\begin{aligned}\Delta A &= (\Delta_f H^\circ_{\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_7(\text{l})} + (\Delta_f H^\circ_{1/2\text{Ca}(\text{HCOO})_2(\text{l})})) - ((4 \times \Delta_f H^\circ_{\text{HCHO}(\text{l})} + \Delta_f H^\circ_{\text{CH}_3\text{CHO}} + \Delta_f H^\circ_{1/2\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{l})})) \\ &= -1634,1\end{aligned}$$

Dengan cara yang sama untuk menentukan ΔA , didapatkan nilai ΔB , ΔC , dan ΔD sebagai berikut:

$$\Delta B = 7,44127$$

$$\Delta C = -0,00886$$

$$\Delta D = -4,477\text{E-}06$$

Selanjutnya, substitusikan nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD pada rumus ΔH° , sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta H^\circ &= \Delta H^\circ_0 + R \left[\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \right] \\ \Delta H^\circ &= -1302,93 + 8,314 \left[-1630,15(323,15 - 298,15) + \frac{7,4079}{2}(323,15^2 - 298,15^2) + \frac{-0,00886}{3}(323,15^3 - 298,15^3) + -8,1838\text{E} - 07 \left(\frac{323,15 - 298,15}{(323,15)(298,15)} \right) \right] \\ \Delta H^\circ &= -7201,2547 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Diperoleh nilai ΔH° pada reaksi sebesar -7201,2547 kJ/mol

- Menghitung nilai *gibbs free energy* (ΔG°) pada 25°C atau 298,15 K

$$\Delta G^\circ_{298 \text{ K}} = \Sigma(n\Delta G^\circ_f)_{\text{produk}} - \Sigma(n\Delta G^\circ_f)_{\text{reaktan}}$$

$$\Delta G^\circ_{298 \text{ K}} = (\Delta G^\circ_f \text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_7(\text{l}) + (\Delta G^\circ_f 1/2\text{Ca}(\text{HCOO})_2(\text{l}))) - ((4 \times \Delta G^\circ_f \text{HCHO}(\text{l}) + \Delta G^\circ_f \text{CH}_3\text{CHO} + \Delta G^\circ_f 1/2 \text{Ca}(\text{OH})_2(\text{l})))$$

$$\begin{aligned}\Delta G^\circ_{298 \text{ K}} &= ((-607,1) + (-1/2 \times 678)) - (4 \times 410) + (-133) + (-1/2 \times 897,5)) \\ &= 45,65 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

- Menghitung nilai *gibbs free energy* (ΔG°) pada suhu operasi

Untuk menghitung ΔG° pada suhu tertentu menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

Untuk mencari nilai $\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT$ menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT = \Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right)$$

Untuk mencari nilai $\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} \frac{dT}{T}$ menggunakan persamaan sebagai berikut:

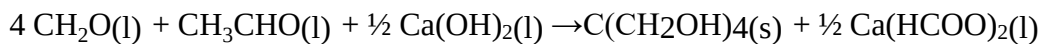
$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} \frac{dT}{T} = \Delta A \ln \frac{T}{T_0} + \left[\Delta B + \left(\Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 \times T^2} \right) \left(\frac{T + T_0}{2} \right) \right] (T - T_0)$$

Maka nilai ΔG° adalah:

$$\Delta G^\circ = \Delta H_0^\circ - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0^\circ - \Delta G_0^\circ) + R \left[\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \right] - RT \left[\Delta A \ln \frac{T}{T_0} + \left[\Delta B + \left(\Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 \times T^2} \right) \left(\frac{T + T_0}{2} \right) \right] (T - T_0) \right]$$

(Smith, 2001)

Untuk mencari nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD harus diketahui nilai konstanta C_p masing-masing senyawa yang dapat dilihat pada Tabel 2.3.



Dimana:

$$R = 8,314$$

$$T = 50^\circ\text{C} = 323,15 \text{ K}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

$$\Delta H_{298}^\circ = \Delta H_0^\circ = -1296,28 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_{298}^\circ = \Delta G_0^\circ = 45,65 \text{ kJ/mol}$$

Maka diperoleh nilai:

$$\Delta A = (A \text{ C}_5\text{H}_{12}\text{O}_{7(l)} + (A \frac{1}{2}\text{Ca(HCOO)}_2\text{(l)})) - ((4x A \text{ HCHO(l)} + A \text{ CH}_3\text{CHO} + A \frac{1}{2} \text{ Ca(OH)}_2\text{(l)})$$

$$= 1634,1$$

Dengan cara yang sama untuk menentukan ΔA , didapatkan nilai ΔB , ΔC , dan ΔD sebagai berikut:

$$\Delta B = 7,441$$

$$\Delta C = -0,00885$$

$$\Delta D = -4,477E-06$$

Selanjutnya, substitusikan nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD pada rumus ΔG° , sebagai berikut:

$$\Delta G^\circ = \Delta H_0^\circ - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0^\circ - \Delta G_0^\circ) + R \left[\Delta A (T - T_0) + \frac{\Delta B}{2} (T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3} (T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{T T_0} \right) \right] - RT \left[\Delta A \ln \frac{T}{T_0} + \left[\Delta B + \left(\Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 \times T^2} \right) \left(\frac{T + T_0}{2} \right) \right] (T - T_0) \right]$$

$$\Delta G^\circ = -73614124,57 \text{ kJ/mol}$$

Diperoleh nilai ΔG° pada reaksi ini sebesar -73614124,57 kJ/mol

2.3 Pemilihan proses

Berikut merupakan perbandingan proses pembuatan Pentaeritritol, dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Perbandingan Proses

Parameter	Proses			
	Menggunakan Kalsium Hidroksida	Menggunakan Natrium Hidroksida		
Kondisi Operasi	T = 50 °C	T = 60 °C		
	P = 1 atm	P = 1 atm		
	t = 2 jam	t = 40 menit		
Reaktor	CSTR	CSTR		
Bahan baku	Formaldehid	(lokal),	Formaldehid	(lokal),
	Asetaldehid	(lokal),	Asetaldehid	(lokal),

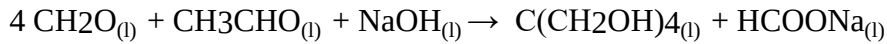
	Kalsium (lokal), Kalsium (lokal)	Hidroksida Karbonat	Natrium (lokal), (lokal)	Hidroksida Asam Format
Produk Samping	- Kalsium Format	- Kalsium Karbonat	- Natrium Format	- Methanol
Konversi	80%		91,5%	
ΔH°	7201,2547 kJ/mol		7198,6223 kJ/mol	
ΔG°	73614124,57 kJ/mol		71636686,89 kJ/mol	

Oleh karena itu, berdasarkan perbandingan kami memilih metode kedua dengan media alkali natrium Hidroksida dengan alasan;

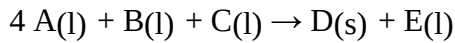
1. Komersial dalam arti telah banyak digunakan
2. Dapat mencapai konversi lebih besar yaitu 91,5%
3. Proses beroperasi pada waktu yang lebih sebentar, hal ini dimaksudkan untuk mengurangi biaya yang tinggi.
4. Membutuhkan lebih sedikit energi untuk menjalankan reaksi
5. Tidak banyak peralatan karena akan memperbesar biaya investasi
6. Produk samping berupa sodium format dapat memiliki banyak manfaat, diantaranya sebagai bahan pemutih, pelumas, pengatur viskositas, pembuatan deterjen cair, serta dapat juga digunakan sebagai bahan pembuat asam format.

2.4 Tinjauan Kinetika

Reaksi antara CH_2O , $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$, dengan NaOH dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:



Dengan A *formaldehyde*, B *acetaldehyde*, C natrium hidroksida, D *pentaerythritol*, dan E sodium format, maka secara kinetika persamaan reaksi di atas dapat dituliskan sebagai berikut :

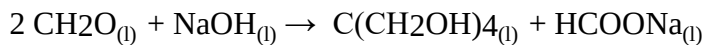


Reaksi pembuatan *pentaerythritol* merupakan reaksi terhadap *acetaldehyde* dengan nilai konstanta kecepatan reaksi sebagai berikut :

$$k_1 = 1,82 \times 10^{17} \exp\left(-\frac{22800}{RT}\right) \quad \text{mol/jam}$$

(Peters and Cupit, 1959).

Untuk reaksi samping antara CH_2O sisa dengan NaOH sisa dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:



Dengan nilai k

$$k_2 = 4,85 \times 10^{15} \exp\left(-\frac{23645}{RT}\right) \quad \text{mol/jam}$$

(Peters and Cupit, 1959).

2.5 Kondisi Operasi

Pada prarancangan ini dipilih kondisi operasi pada suhu 60 °C dan tekanan 1 atm. Pada reaksi ini digunakan perbandingan ratio molar formaldehid : asetaldehid : natrium hidroksida = 7,7:1:1,06 dengan konversi terhadap asetaldehid 91,5% (US Patent 8,293,950 B2).

2.6 Tahapan Proses

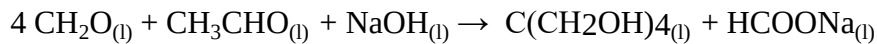
Proses pembuatan *pentaeritritol* dapat dibagi dalam empat tahap, yaitu :

1. Tahap penyiapan bahan baku
2. Tahap reaksi atau pembentukan *pentaerythritol*

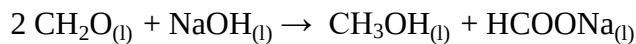
3. Tahap pemisahan dan pemurnian
4. Tahap pengeringan

Didalam reaktor (RE-201) terjadi reaksi samping pembentukan pentaeritritol dan produk sampingnya, yaitu methanol.

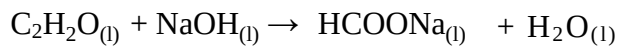
- a. Reaksi Utama



- b. Reaksi samping



- c. Serta terdapat reaksi penetralan di Netraliser

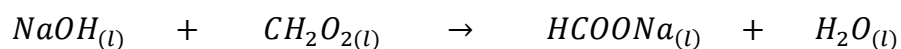


2.6.1 Tahap Persiapan

Proses produksi diawali dengan proses persiapan bahan baku. Larutan berupa CH_2O dan larutan basa (NaOH) diaduk di *Mix Tank* (MT-101) dengan suhu 45°C dengan tekanan 1 atm selama 2 menit. kemudian dicampur di *Mix point* dengan larutan asetaldehid diumpan menuju reaktor dan dipanaskan terlebih dahulu menggunakan *heater* hingga suhu 60°C untuk menyesuaikan kondisi operasi pada reaktor (RE-201).

2.6.2 Tahap Reaksi atau Pembentukan Pentaeritritol

Selanjutnya CH_2O , $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$, dan larutan basa (NaOH) dialirkan menuju reaktor (RE-201) dengan perbandingan mol 7,7 : 1 : 1,06 selama 40 menit dengan tekanan 1 atm dan suhu akhir dijaga 60°C menggunakan air pendingin. keluaran dari reaktor yaitu $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_4$ dan HCOONa , produk samping berupa CH_3OH serta sisa bahan baku berupa CH_2O , NaOH dan $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ yang kemudian dialirkan ke reaktor netralizer (NE-201) untuk menetralkan NaOH yang tersisa menggunakan CH_2O_2 (asam format). Reaksinya sebagai berikut:



2.6.3 Tahap Pemisahan dan Pemurnian

HCOONa yang telah terbentuk harus dihilangkan dengan cara di sentrifugasi di *Centrifuge* (CF-301). Kemudian dilanjutkan ke vaporizer kemudian flash drum untuk dipisahkan antara produk dan bahan sisa yang bekerja. Produk atas berupa CH_2O , H_2O , CH_3OH dan $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ berfase uap. Sedangkan produk bawah adalah $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_4$ dan sebagian H_2O dalam fase larutan. Produk kemudian dimasukkan ke *crystallizer* (CR-401) untuk proses pengkristalan. Hasil dari *crystallizer* (CR-301) adalah $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_4$ padat yang nantinya akan diumpankan ke *centrifuge* (CF-402) untuk proses pemisahan pentaeritritol dengan mother liquor. Mother liquor dari *centrifuge* (CF-402) dialirkan ke unit pengolahan limbah.

2.6.4 Tahap Pengeringan

Cake yang mengandung kristal *pentaerythritol* basah diumpankan menuju rotary dryer dengan menggunakan udara bebas dengan suhu 100°C yang Kemurnian produk pentaerythritol yang dihasilkan $\pm 98\%$.

BAB III

SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK

3.1 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

3.1.1 Spesifikasi Bahan Baku

a. *Formaldehyde* (CH₂O)

- Berat Molekul : 30,03 g/mol
- Fasa : cair
- Warna : tidak berwarna
- Titik didih : 93 °C
- Titik leleh : -15 °C
- Titik nyala : 62 °C
- Titik kritis : 135 °C
- Tekanan kritis : 65 atm
- Densitas : 0,815 gr/cm³
- Kelarutan (air dingin) : Mudah larut
- Kelarutan (air panas) : Mudah larut
- Kelarutan (pelarut lain) : larut dalam dietileteter, alkohol, aseton
- Kemurnian : 37%
- Impurities : - Methanol 10%
- : - Air 53%

(Perry,1997)

b. *Acetaldehyde* (C_2H_4O)

- Berat molekul : 44,05 g/mol
- Fasa : Cair
- Warna : Tidak berwarna
- Kemurnian : 95% wt
- Titik didih : 20 °C
- Densitas : 0,788 gr/cm³
- Titik leleh : -123,5 °C
- Kelarutan : *Infinitely* pada air, alkohol eter

(Perry, 1997)

c. Natrium Hidroksida (NaOH)

- Berat molekul : 40 g/mol
- Fasa : Cair
- Densitas : 1,53 g/cm³
- Warna : tidak berwarna
- Titik didih : 1390 °C
- Titik leleh : 318,4 °C
- Densitas : 2,1 gr/cm³
- Kelarutan (air) : 109g/100 gr (20 °C)
- Kelarutan (pelarut lain) : larut dalam etanol, metanol, dan gliserol
- Kemurnian : 48%

(Perry, 1997)

3.1.2 Spesifikasi Bahan Pembantua. Asam Format (CH_2O_2)

- Berat molekul : 46,03 g/mol

- Fasa : cair
- Warna : Tidak berwarna
- Warna : bening
- Titik didih : 100,8 °C
- Titik leleh : 8,6 °C
- Kelarutan : *Infinitely* pada air dan alcohol
- Kemurnian : 90% wt

(Perry, 1997)

3.1.3 Spesifikasi Produk

b. *Pentaerythritol* ($C_5H_{12}O_4$)

- Berat molekul : 136,15 g/mol
- Fasa : Kristal
- Titik didih : 276 °C (1 atm)
- Titik leleh : 262 °C (1 atm)
- Densitas : 1,396 gr/cm³
- Kelarutan (air) : 6,2 gram/100 gram
- Kelarutan (alkohol) : Sangat sedikit larut
- Kelarutan (ether) : Tidak dapat larut
- Kemurnian : ±98-99% wt

(Perry, 1997)

b. Methanol (CH_3OH)

- Berat Molekul : 32 g/mol
- Fasa : cair
- Warna : tidak berwarna

- Titik didih : 65 °C
- Titik leleh : -97 °C
- Titik kritis : 239,43 °C
- Tekanan kritis : 79,8 atm
- Densitas : 0,786 gr/cm³
- Viskositas : 0,5945 cp
- Kelarutan : Mudah larut dalam air
- Kemurnian :-

(Yaws, 1999)

c. Natrium Format (HCOONa)

- Berat molekul : 68,01 g/mol
- Fasa : Kristalin, powder
- Titik didih : *decomposes*
- Titik leleh : 259-262 °C
- Titik nyala : 152 °C
- Densitas : 1,919 gr/cm³
- Kelarutan (air dingin) : 44 gram/100 gram
- Kelarutan (air panas) : 160 gram/100gram
- Kemurnian :-

(MSDS PT. SmartLab Indonesia)

3.2 Pengendalian Kualitas

3.2.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku

Bahan baku sangat berpengaruh terhadap kualitas produk yang akan dihasilkan. Oleh karena itu pemilihan bahan baku harus diperhatikan

kualitasnya. Sebelum masuk ke proses produksi, bahan baku harus melalui tahap pengujian kualitas, dengan tujuan agar bahan baku yang digunakan sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan.

3.2.2 Pengendalian Kualitas Produk

Saat perencanaan produksi dijalankan, perlu adanya pengawasan dan pengendalian agar proses produksi tetap berjalan dengan baik. Ketika terjadi masalah atau perubahan kualitas produksi, penyesuaian dan koreksi harus segera dilakukan agar tidak menimbulkan kerusakan yang semakin besar. Selain itu pengawasan terhadap tingkat kualitas dari hasil atau produk yang dihasilkan untuk memperoleh mutu standar juga harus dilakukan. Dalam kegiatan proses produksi diharapkan dapat menghasilkan produk yang mutunya sesuai dengan standart dan jumlah produksi yang sesuai dengan rencana serta waktu yang tepat sesuai jadwal. Produk yang telah jadi harus dianalisa kualitasnya sebelum produk tersebut dipasarkan.

3.2.3 Pengendalian Proses Produksi

Selain bahan baku dan dan kualitas produk, proses produksi juga harus dilakukam pengawasan dan pengendalian agar sesuai dengan prosedur dan sesuai standart yang di pakai guna menghasilkan produk yang sesuai spesifikasi. Pengendalian proses produksi pabrik ini meliputi aliran dan sistem control.

a. Flow Control

Merupakan alat yang diletakkan/dipasang pada aliran bahan baku, aliran masuk, dan keluar alat proses. Flow control ini diset pada harga tertentu. Bila flow control mengalami penyimpangan dari harga yang diset, maka akan diberikan isyarat yang merupakan perintah untuk mengembalikan ke set semula.

b. *Temperatur Control*

Merupakan alat yang dipasang di dalam setiap alat proses. Apabila ada penyimpangan pada suhu dengan set yang telah ditetapkan, maka akan timbul isyarat yang dapat berupa suara, nyala lampu, dan lain-lain.

c. *Level Control*

Merupakan alat yang dipasang pada bagian atas tangki. Jika belum sesuai dengan kondisi yang ditetapkan, maka akan timbul tanda/isyarat berupa suara ataupun nyala lampu.

3.2.4 Pengendalian Kualitas Produk

Untuk memperoleh mutu produk standar maka diperlukan bahan yang berkualitas, pengawasan, serta pengendalian terhadap proses yang ada dengan cara sistem control sehingga didapatkan produk yang berkualitas dan dapat dipasarkan. Untuk mengetahui produk yang dihasilkan sesuai dengan standar yang ada maka dilakukan uji densitas, viskositas, volatilitas, kemurnian produk, dan komposisi komponen produk.

BAB X

KESIMPULAN DAN SARAN

10.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik *Pentaerythritol* dari Formaldehid, Asetaldehid dan Natrium Hidroksida dengan kapasitas 30.000 ton/tahun dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Ditinjau dari segi pengadaan bahan baku, transportasi, pemasaran, dan lingkungan, maka pabrik *Pentaerythritol* direncanakan berdiri di Kawasan Industri JIPE Gresik, Kecamatan Manyar, Kabupate Gresik, Jawa Timur.
2. Berdasarkan hasil analisis teknis dan ekonomi, maka pabrik *Pentaerythritol* ini layak untuk didirikan dengan hasil perhitungan analisis ekonomi sebagai berikut :
 - a. *Percent Return on Investment* (ROI) sebelum pajak yaitu 87% dan setelah pajak yaitu 70%
 - b. *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak yaitu 0,888 tahun dan 1,09 tahun setelah pajak.
 - c. *Break Even Point* (BEP) sebesar 34,89%, dimana rentang BEP standar antara 31 – 60%. Nilai *Shut Down Point* (SDP) sebesar 27,73%, yaitu dengan batasan kapasitas produksi tersebut pabrik harus berhenti berproduksi karena jika beroperasi dibawah nilai SDP maka pabrik akan mengalami kerugian
 - d. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF) sebesar 29,17%, lebih besar dari suku bunga bank sekarang sehingga investor akan lebih memilih untuk berinvestasi ke pabrik ini daripada ke bank.

10.2. Saran

Pabrik *Pentaerythritol* dari Formaldehid, Asetaldehid dan Natrium Hidroksida dengan kapasitas 30.000 ton/tahun sebaiknya dikaji lebih lanjut, baik dari segi proses maupun dari segi ekonominya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alibaba, 2022. *Harga Bahan Kimia*. Diakses melalui www.Alibaba.com pada 20 April 2023.
- Badan Pusat Statistik, 2022. *Statistic Indonesia*. Diakses melalui www.bps.go.id. pada 17 September 2022.
- Bausbacher, Ed., and Roger Hunt.. 1993. *Process Plant Layout and Piping Design*. Prentice Hall PTR, New Jersey
- Broughton. 1994. *Process Utility Systems: Introduction to Design, Operation and Maintenance*. Institution of Chemical Engineers, Rugby, Warwickshire, UK.
- Brownell, L. E., and Young, E. H. 1959. *Process Equipment Design*. University of Michigan. John Wiley and Sons Inc, New York.
- Coulson, J. M., and J. F. Richardson. 2005. *Chemical Engineering 4th edition*. Butterworth-Heinemann, Washington.
- Eek,Luis. 1998. *Process for the Preparation of Pentaerythritol*. US Patent No 5,741,956
- Evans, F.L. 1979. *Equipment Design Handbook for Refineris and Chemical Plants*. Gulf Publishing Company, Book Divison, Houston.
- Fogler, H. Scott. 2006. *Elements of Chemical Reaction Engineering 4th edition*.

Prentice Hall International Inc, United States of America.

Geankoplis, Christie. J. 1993. *Transport Processes and Unit Operation* 3rd edition. Allyn & Bacon Inc, New Jersey.

Google Maps, 2022. *Kawasan Industri JIPE Gresik, Jawa Timur*. Diakses melalui www.google.com/maps pada 18 September 2022.

Himmelblau, David. 1996. *Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering* 6th edition . Prentice Hall Inc, New Jersey.

Icis, 2022. *Data Pabrik Pentaeritritol di Dunia*. Diakses melalui www.icis.com pada 20 September 2022.

Jiang et al. 2012. *Method of Preparing Pentaerythritol*. US Patent No. 8,293,950 B2.

Kern, Donald Q. 1965. *Process Heat Trans*. McGraw-Hill Co, New York.

Kirk, R.E. and Othmer, D.F. 2004. “*Encyclopedia of Chemical Technology*”, 4th edition, vol.17. John Wiley and Sons Inc, New York.

Ludwig, E. Ernest. 1999. *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants* 3rd edition. Houston, Gulf Publishing Company.

Maity, Siddharth. 2009. *Manufacturing of Pentaeritritol*. Kentucky (US) : University of Louisville.

Matche, 2014. *Equipment Cost Estimates*. Diakses melalui www.matche.com pada 15 Agustus 2023.

McCabe, W., Smith, J.C., and Harriot, P., 1993, “Unit Operation of Chemical

Engineering”, McGraw Hill Book, Co., United States of America

Metcalf and Eddy. 1991. *Wastwater Engineering: Traetment, Disposal, and Reuse*. McGraw-Hill Inc, Singapore.

Mullin, J.W. 2001. *Crystallization* 4th edition. Reed Education and Professional Publishing Ltd. Oxford:London.

Perry, Robert H., and Don W. Green. 1999. *Perry's Chemical Engineers' Handbook* 7th edition. McGraw Hill, New York.

Peter, M. S., Timmerhaus, K. D. 1991. *Plabt Design and Economics for Chemical Engineers* 4th edition. McGraw Hill, New York.

Peters and Cupit. 1958. *Kinetics of pentaerythritol-production reactions*. University of Illinois.

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

PersolKelly. 2022. *Indonesia Salary Guide 2022*.

Qasim, S. R., Holt, Rinehart, Winston. 1985. *Waste Water Treatment Plant*. CBS College Publishing. New York.

Rase, 1977. *Chemical Reactor Design for Process Plants*. John Wiley and Sons, New York.

Sinnot, R.K. 2005. *Coulson & Richardson's Chemical Engineering Design Volume 6 Fourth Edition*. E.SEMER, Amsterdam.

Smith, J. M., h.c. Van Ness, and M. M. Abbott. 2001. *Chemical Engineering Thermodynamics* 6th edition. McGraw Hill, New York.

- Timmerhaus, Klaus D., Max S. Peters, and Ronald E. West. 1991. *Plant Design an Economic for Chemical Engineering 3th edition*. McGraww-Hill Book Company:New York.
- Timmerhaus, Klaus D., Max S. Peters, and Ronald E. West. 2003. *Plant Design an Economic for Chemical Engineering 3th edition*. McGraww-Hill Book Company:New York.
- Ulrich, G. D., 1984. *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. John Wiley & Sons Inc, New York.
- UNdata, 2022. *Data Impor Pentaeritritol di Negara ASEAN*. Diakses melalui www.data.un.org pada 17 September 2022.
- Vilbrandt and Charles. 1959. *Chemical Engineering Plant Design*. McGraw-Hill Book Co, Japan.
- Wallas, Stanley M. 1990. *Chemical Process Equipment*. Butterworth-Heinemann, Washington.
- Winkle, M. V. 1967. *Distillation*. McGraw-Hill Book, New York.
- Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. Mc Graw Hill Book Co, New York.