

**PRARANCANGAN PABRIK METIL KLORIDA DARI
METANOL DAN ASAM KLORIDA DENGAN KAPASITAS
40.000 TON/TAHUN**

Perancangan Distillation Column (DC-301)

(Skripsi)

Oleh :

**INTAN AYU SARI
(1415041024)**



**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

ABSTRAK

PRARANCANGAN PABRIK METIL KLORIDA DARI METANOL DAN ASAM KLORIDA DENGAN KAPASITAS 40.000 TO/TAHUN (Perancangan Menara Distilasi (DC-301))

Oleh

INTAN AYU SARI

Pabrik Metil Klorida berbahan baku Metanol dan Asam Klorida di dirikan di Kawasan Industri, Cilegon – Banten. Pabrik ini berdiri dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku, sarana transportasi yang memadai, tenaga kerja yang mudah didapatkan dan kondisi lingkungan.

Pabrik direncanakan memproduksi Metil Klorida sebanyak 40.000 ton/tahun, dengan waktu operasi 24 jam/hari, 330 hari/tahun. Bahan baku yang digunakan adalah Metanol sebanyak 4.081,6244 kg/jam dan HCl sebanyak 4.655,6028 kg/jam

Penyediaan kebutuhan utilitas pabrik Metil Klorida berupa : pengadaan air, pengadaan *steam*, pengadaan listrik, kebutuhan bahan bakar, dan pengadaan udara kering.

Bentuk perusahaan adalah Perseroan Terbatas (PT) menggunakan struktur organisasi *line* dan *staff* dengan jumlah karyawan sebanyak 177 orang.

Dari analisis ekonomi diperoleh:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp 458.454.487.219,1670
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp 86,373,781,991.1559
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp 539,836,137,444.7240
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 32,95 %
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 16,05%
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) _b	= 1,93 tahun
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) _a	= 2,29 tahun
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) _b	= 35,29%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) _a	= 28,24%
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF)	= 19,32 %

Mempertimbangkan paparan di atas, sudah selayaknya pendirian pabrik Metil Klorida ini dikaji lebih lanjut, karena merupakan pabrik yang menguntungkan dan mempunyai masa depan yang baik.

ABSTRACT

PREDESIGN OF METHYL CHLORIDE FACTORY FROM METHANOL AND CHLORIDE ACID WITH A CAPACITY OF 40,000 TO / YEAR (Distillation Column Design (DC-301))

By

INTAN AYU SARI

Factory Methyl chloride made from methanol and hydrochloric acid was established in the Industrial Estate, Cilegon - Banten. This factory was established by considering the availability of raw materials, adequate transportation facilities, easily available labor and environmental conditions.

The factory is planned to produce methyl chloride as much as 40,000 tons / year, with an operating time of 24 hours / day, 330 days / year. The raw material used is methanol as much 4,081,6244kg / hour and HCl as much as 4,655.6028 kg / hour

Provision of the utility needs of the Methyl Chloride plant in the form of: water supply, steam procurement, electricity supply, fuel needs, and dry air procurement.

The form of the company is a Limited Liability Company (PT) using a line and staff organizational structure with a total of 177 employees.

From the economic analysis, it is obtained:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= IDR 458.454.487.219,1670
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= IDR 86,373,781,991.1559
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= IDR 539,836,137,444.7240
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 32,95 %
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 16,05%
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) b	= 1,93 years
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) a	= 2.29 years
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) b	= 35,29%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) a	= 28,24%
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF)	= 19,32 %

Considering the explanation above, it is appropriate that the establishment of this Methyl Chloride factory be studied further, because it is a profitable factory and has a good future.

**PRARANCANGAN PABRIK
METIL KLORIDA DARI METANOL DAN ASAM KLORIDA
DENGAN KAPASITAS 40.000 TON/TAHUN
(Perancangan Distillation Column (DC-301))**

**Oleh :
INTAN AYU SARI
1415041024**

(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
2021**

Judul Skripsi : **PRARANCANGAN PABRIK METIL
KLORIDA DARI METANOL DAN ASAM
KLORIDA DENGAN KAPASITAS 40.000
TON/TAHUN (Perancangan Menara Distilasi
(DC-301))**

Nama Mahasiswa : **INTAN AYU SARI**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1415041024**

Jurusan : **Teknik Kimia**

Fakultas : **Teknik**



Taharuddin 495

Taharuddin, S.T., M.Sc.

NIP. 197001261995121001

Lia Lismeri

Lia Lismeri, S.T., M.T.

NIP. 198503122008122004

2. Ketua Jurusan Teknik Kimia

Dr. Ir. Ahmad Zaenudin
Dr. Ir. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.

NIP. 197209281999031001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Taharuddin, S.T., M.Sc.

Tah. 495

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

Lia

Penguji

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

Dewi

Bukan Pembimbing II : Muhammad Hanif, S.T., M.T.

M. Hanif

2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



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

NIP.197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 23 Desember 2021

SURAT PERNYATAAN

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

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

Bandar Lampung, 24 Desember 2021



INTAN AYU SARI

NPM. 1415041024

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Lampung pada tanggal 4 Desember 1995, sebagai anak pertama dari empat bersaudara dari bapak Habet Vahmi dan ibu Ida Roslaini. Pendidikan Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SDN 2 Banjar Negeri, kec. Gunung Alip, kab. Tanggamus pada tahun 2008, Sekolah Menengah Pertama (SMP) diselesaikan di SMPN 1 Gisting, pada tahun 2011, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) diselesaikan di SMAN 1 Talang Padang, pada tahun 2014. Tahun 2014, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Pada periode 2 bulan Juli sampai Agustus 2017, penulis melakukan KKN di Desa Kaca Marga, kec. Cukuh Balak, Tanggamus, Lampung. Pada tahun 2018, penulis melakukan Kerja Praktek di PT DONGJIN INDONESIA dengan Tugas Khusus “Evaluasi Kinerja Heat Exchanger”. Pada Tahun 2021 juga penulis melakukan penelitian dengan judul “Isolasi Minyak atsiri Daun Cengkeh (*Syzygium aromaticum*) dan Membandingkan Alat *Steam* Distilasi *Single Vessel vs Double Vessel*” yang dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Universitas Lampung.

Selama kuliah penulis aktif dalam berbagai organisasi kemahasiswaan diantaranya, Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (HIMATEMIA) Fakultas Teknik Universitas Lampung sebagai Staff Departemen RISET HIMATEMIA Fakultas Teknik Universitas Lampung tahun 2015-2016, Sebagai sekretaris

Departemen CEEC HIMATEMIA Fakultas Teknik Universitas Lampung tahun 2016-2017.

Selama menjadi mahasiswa penulis juga mengikuti beberapa pelatihan yaitu Pelatihan Aspen, Pelatihan Plant Design Management System (PDMS) yang diadakan HIMATEMIA.

Motto Dan Persembahan

*“Laa Haula Wa Laa Quwwata Illa Billaah”
 “Tidak ada daya dan upaya kecuali dengan pertolongan
 Allah”
 (HR. Al-Bukhari)*

*”Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, Maka
 apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan) tetaplah
 bekerja keras untuk urusan yang lain”
 (Qs. Al-Insyirah : 6-7)*

*”Barang siapa berjalan untuk menuntut ilmu maka
 Allah akan memudahkan baginya jalan menuju surga”
 (HR: Muslim)*

*“Yakinlah, ada sesuatu yang menanti selepas banyak
 kesabaran yang dijalani, hingga kau lupa betapa
 pedihnya rasa sakit”
 (Ali bin Abi Thalib)*

*“Jika kamu merasa akan jatuh, injak pedal lebih keras”
 (BTS)*

*“Hidup adalah patung pahatan yang kamu buat saat kamu
 membuat kesalahan dan belajar darinya”
 (RM-BTS)*

“Mereka yang tidak punya mimpi, tidak apa-apa. Tidak apa-apa jika kamu tidak punya mimpi. Kamu hanya harus bahagia”

(Suga-BTS)

“Kehadiran mu bisa memberi kebahagiaan. Aku harap kamu mengingatnya”

(Jin-BTS)

“Jika kamu tidak bekerja keras, tidak akan ada hasil yang baik”

(J-hope-BTS)

“Begitu hati mu tergerak, itu akan berkembang menjadi sesuatu yang lebih baik dan positif”

(Jimin-BTS)

“Lupakan segala yang menyakitimu, tetapi jangan pernah lupakan mereka yang mengajarimu sesuatu”

(V-BTS)

“Usaha yang membentukmu. Kamu akan menyesal suatu hari nanti jika kamu tidak melakukan yang terbaik sekarang. Jangan berpikir ini terlambat, tetapi teruslah kerjakan. Itu mungkin membutuhkan waktu, tetapi tidak ada yang bertambah buruk jika berlatih, jadi berlatihlah. Kamu mungkin mengalami depresi, tapi itu bukti bahwa kamu berbuat baik”

(Jungkook-BTS)

Lakukan peranmu dengan baik. Jadilah dirimu sendiri, love myself, love yourself, bahkan semua bekas goresan dari kesalahanmu membentuk konstelasi mu

Sebuah Karya Kecilku...

Dengan segenap hati kupersembahkan tugas akhir ini kepada:

Allah SWT,

*Atas kehendak-Nya semua ini ada
Atas rahmat-Nya semua ini aku dapatkan
Atas kekuatan dari-Nya aku bisa bertahan.*

*Orang tuaku sebagai tanda baktiku, terima kasih atas segalanya,
doa, kasih sayang, pengorbanan, kesabaran, dan keikhlasannya.
Ini hanyalah setitik balasan yang tidak bisa dibandingkan dengan
berjuta-juta pengorbanan dan kasih sayang
yang tidak pernah berakhir.*

*Diri saya sendiri terima kasih telah bertahan dan berusaha
menyelesaikan skripsi ini. Tidak apa-apa, kamu sudah bekerja keras!!*

*Adik-adikku terima kasih atas segalanya, kasih sayang, semangat dan
doa yang diberikan selama ini.*

*Sahabat-Sahabatku, Terima kasih telah menjadi bagian hidupku
selama kuliah di Teknik Kimia Universitas Lampung. Semua cerita
hidup ini, semua akan ku simpan selamanya. Semoga suatu saat nanti
kita bersua kembali dengan kisah-kisah kesuksesan kita*

*Guru-guruku dan Dosen-dosenku sebagai tanda hormatku,
terima kasih atas ilmu yang telah diberikan.*

Idol ku, Inspirasiku, Penghiburku, para member BTS, terima kasih telah mengajarku bagaimana mencintai diri sendiri, mengajarkan ku untuk selalu berpikir positif dan terbuka.

*Kepada Almamaterku tercinta,
Universitas Lampung
semoga kelak berguna dikemudian hari.*

Dan tak lupa pula, skripsi ini saya persembahkan untuk semua pihak yang menanyakan 'kapan wisuda?'

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga tugas akhir ini dengan judul “Prarancangan Pabrik Metil Klorida dari Metanol dan Asam Klorida dengan Kapasitas 40.000 ton/tahun” dapat diselesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat guna memperoleh derajat kesarjanaan (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. Orang tuaku tercinta, Ida Roslaini, Ayahku Habet Vahmi, terima kasih atas segala sesuatu yang telah diberikan. Terima kasih atas doa yang selalu dipanjatkan. Dan maaf telah menunggu terlalu lama untuk melihat anak kalian menjadi sarjana, semoga hasil dari menunggu, pengorbanan dan perjalanan panjang ini penulis bisa memberikan sedikit balasan jerih payah kalian sampai mengantarkanku dengan kesuksesan yang selalu kalian doakan dan semoga Allah SWT memberikan perlindungan dan karunianya.
2. Bapak Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T. ,selaku Plt Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung.
3. Bapak Ir. Azhar M.T. ,selaku Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan pelajaran dan membentuk pola piker, tanggung jawab, moral

dan etika sebagai bekal yang sangat membantu kelak setelah lulus dari jenjang perkuliahan.

4. Bapak Taharuddin, S.T., M.Sc. selaku dosen Pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan banyak pelajaran, ilmu, masukan, saran dan bimbingan selama penyelesaian tugas akhir.
5. Bapak Darmasyah, S.T., M.T. dan Ibu Lia Lismeri S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II atas semua ilmu, saran, masukan dan bimbingan selama penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu bermanfaat yang diberikan dapat berguna dikemudian hari.
6. Ibu Dr. Eng. Dewi Agustina I, S.T., M.T sebagai dosen penguji I, yang telah memberikan saran, kritik dan telah menuntun untuk berfikir dengan benar.
7. Bapak Muhammad Hanif, S.T, M.ST. sebagai dosen penguji II, yang telah memberikan saran dan kritik serta meberikan pengarahan untuk menggunakan logika dengan baik.
8. Seluruh Dosen Teknik Kimia Universitas Lampung, atas semua ilmu dan bekal masa depan yang akan selalu bermanfaat.
9. Ganta Rizki Ayu, Adila Tri Ayu dan Kemas Bagus, adik – adikku tercinta terima kasih atas doa dan dukungan dan memberikan keceriaan di tengah pembuatan tugas akhir.
10. Penasehat Veteran, Veranika Pratiwi S.T, Zulaikha Setya Mega Sari S.T, Annisa Ul Akhyar S.T, Romdliah Mar'atul Husnah S.T, yang banyak membantu selama pengerjaan tugas akhir ini. Terima kasih atas apapun yang telah diberikan, dikerjakan dan difikirkan. Penulis ucapkan

Alhamdulillah dan semoga apapun yang sudah dilakukan mendapat balasan dari Allah SWT.

11. Kak Guntur Wahyu Hariaji Widodo S.T selaku partner Tugas Akhir saya, terimakasih atas segala bantuannya selama ini Alhamdulillah dan semoga apapun yang sudah dilakukan mendapat balasan dari Allah SWT.
12. Syafira Eka Gestya S.T , partner Kerja Praktik (KP), terima kasih sudah menemani dan banyak membantu dari mulai dari pemberangkatan KP hingga selesai.
13. Rian, Jeri dan kawan-kawan Penelitian biofuel, terima kasih sudah memberikan banyak sekali bantuan dalam penyelesaian penelitian, terima kasih atas kerja sama dan memaklumi banyak kesalahan yang penulis buat, Dan Sukses buat kita semua
14. Dj ancoeg *circle* yang banyak membantu dan meberikan banyak kesenangan ditengah banyak kesulitan. Semoga semua dari kita masing-masing menjadi pribadi yang sukses di masa kelak.
15. Teman-teman TEKKIM 2014, teman-teman seangkatan yang tidak saya sebutkan namanya namun masing-masing punya andil yang berarti untuk selesainya masa kuliah penulis. Dan support yang selalu diberikan, tempat bertanya, tempat bercerita dan tempat bercanda, serta tempat paling nyaman selama di kampus adalah kalian TEKKIM 2014, terima kasih.
16. BTS, Kim Namjoon, Min Yoongi, Jung Hoseok, Park Jimin, Kim Taehyung, Jeon Jungkook, ARMY, dan Bang PD HITMAN BANG terima kasih telah menjadi penghibur dan penghilang stress selama menyelesaikan perkuliahan di jurusan Teknik Kimia, Universitas

Lampung, terima kasih telah ada di perjalanan penulis dalam menyelesaikan studi ini.

17. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini.

Semoga Allah membalas semua kebaikan mereka terhadap penulis dan semoga skripsi ini berguna.

Bandar Lampung, 24 Desember 2021

Penulis,

Intan Ayu Sari

DAFTAR ISI

	Halaman
COVER LUAR.....	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT.....	iii
COVER DALAM	iv
LEMBAR PERSETUJUAN.....	v
LEMBAR PENGESAHAN	vi
SURAT PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	x
SANWACANA	xiv
DAFTAR ISI.....	xviii
DAFTAR TABEL	xxiii
DAFTAR GAMBAR.....	xxvi
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Kegunaan Produk	3
1.3 Ketersediaan Bahan Baku	5
1.4 Analisa Pasar	6
1.5 Kapasitas Produksi	7
1.6 Lokasi Pabrik	12
BAB II. DESKRIPSI PROSES	
2.1 Jenis-Jenis Proses	15
2.1.1 Proses Klorinasi Metana (<i>Methane Chlorination</i>)	15
2.1.2 Proses Hidroklorinasi Metanol	16

2.2 Tinjauan Termodinamika	17
2.3 Tinjauan Ekonomi	24
2.4 Pemilihan Proses	27
2.5 Pemakaian katalis	29
2.6 Uraian Proses	30
2.6.1 Tahap Penyiapan Bahan Baku	30
2.6.2 Tahap Reaksi.....	31
2.6.3 Tahap Pemurnian Produk.....	31

BAB III. SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK

3.1 Spesifikasi Bahan Baku	33
3.2 Spesifikasi Produk	35

BAB IV. NERACA MASSA DAN PANAS

4.1 Neraca Massa	39
4.2 Neraca Panas	44

BAB V. SPESIFIKASI ALAT PROSES

5.1 Tanki Penyimpanan Metanol (ST-101)	51
5.2 Tanki Penyimpanan Asam Klorida (ST-102)	52
5.3 <i>Heater</i> (HE-201)	53
5.4 <i>Flash Drum</i> (FD-101)	54
5.5 <i>Vaporizer</i> (VP-101)	55
5.6 <i>Heater</i> (HE- 102).....	56
5.7 <i>Reaktor</i> (RE-201).....	56
5.8 <i>Flash drum</i> (FD-102).....	57
5.9 <i>Destillation Column</i> (DC-301).....	58
5.11 <i>Condensor</i> (CD-202)	59
5.12 <i>Accumulator</i> (AC-301)	60
5.13 <i>Reboiler</i> (RB-301)	61
5.14 <i>Cooler</i> (CO-301).....	62
5.15 <i>Tangki Penyimpanan Metil Clorida</i> (ST-301).....	63
5.16 <i>Blower</i> (BL-101).....	64

5.17 Blower (BL-102).....	64
5.18 lower (BL-103)	64
5.19 Pompa Proses (PP-101).....	65
5.20 Pompa Proses (PP-102).....	66
5.21 Pompa Proses (PP-201).....	67
5.22 Pompa Proses (PP-301).....	68
5.23 Pompa Proses (PP-302).....	69
BAB VI. UTILITAS	
6.1 Unit Pendukung Proses	70
6.2 Pengelolaan Limbah	90
6.3 Laboratorium	91
6.4 Instrumentasi dan Pengendalian Proses	94
BAB VII. TATA LETAK PABRIK	
7.1 Lokasi Pabrik	98
7.2 Tata Letak Pabrik	101
7.3 Estimasi Area Pabrik	106
7.4 Tata Letak Peralatan Proses	107
BAB VIII. SISTEM MANAJEMEN DAN OPERASI PERSIAPAN	
8.1 Bentuk Perusahaan	110
8.2 Struktur Organisasi Perusahaan	113
8.3 Tugas dan Wewenang	116
8.4 Status Karyawan dan Sistem Penggajian	124
8.5 Pembagian jam kerja karyawan.	125
8.6 Penggolongan jabatan dan jumlah karyawan	127
8.7 Kesejahteraan Karyawan	133
BAB IX. INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI	
9.1 Penaksiran Harga Peralatan	137
9.2 Dasar Perhitungan	138
9.3 Perhitungan Biaya	138
9.4 Analisis Kelayakan	146

9.5 Hasil Perhitungan	150
BAB X. SIMPULAN DAN SARAN	
10.1 Simpulan	158
10.2 Saran	158
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN A PERHITUNGAN NERACA MASSA	
LAMPIRAN B PERHITUNGAN NERACA ENERGI	
LAMPIRAN C PERHITUNGAN SPESIFIKASI PERALATAN PROSES	
LAMPIRAN D PERHITUNGAN SPESIFIKASI PERALATAN UTILITAS	
LAMPIRAN E INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI	
LAMPIRAN F PERANCANGAN MENARA DISTILASI (DC-301)	

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
Tabel 1.1	Kegunaan Metil Klorida	3
Tabel 1.2	Harga Bahan Baku.....	6
Tabel 1.3	Harga Produk.....	6
Tabel 1.4	Harga Katalis	7
Tabel 1.5	Data Impor Metil Klorida di Indonesia	8
Tabel 1.6	Kebutuhan Metil Klorida di Indonesia	10
Tabel 1.7	Industri Metil Klorida di Indonesia	11
Tabel 2.1	Nilai <i>Enthalpy</i> Pembentukan pada Suhu 25°C (ΔH_f°)	19
Tabel 2.2	Nilai Energi Bebas Gibbs Pembentukan pada Suhu 25°C (ΔG_f°)	19
Tabel 2.3	Nilai C_p (J/mol.K) Masing-masing Komponen Fase Gas.....	20
Tabel 2.4	Nilai C_p (J/mol.K) Masing-masing Komponen Fase <i>Liquid</i> .	21
Tabel 2.5	Harga Bahan Baku, Produk dan Katalis	24
Tabel 2.6	Perbandingan Proses Pembuatan Metil Klorida	28
Tabel 4.1	Neraca Massa Total	39
Tabel 4.2	Neraca massa Vaporizer (VP-101).....	40
Tabel 4.3	Neraca massa Vaporizer (VP-102).....	40
Tabel 4.4	Neraca Massa Flah Drum (FD-101).....	40
Tabel 4.5	Neraca Massa Flah Drum (FD-102).....	41
Tabel 4.6	Neraca Massa <i>Mix Point</i> (MP-101)	41
Tabel 4.7	Neraca Massa Compressor (CP-101)	41
Tabel 4.8	Neraca Massa Heat Exchanger (HE-201).....	42
Tabel 4.9	Neraca massa Reaktor (RE-201)	42
Tabel 4.10	Neraca massa Absorber (AB-101).....	42

Tabel 4.11	Neraca massa Destilasi Column (DC-301)	43
Tabel 4.12	Neraca massa Condensor (CO-301)	44
Tabel 4.13	Neraca Energi di Vaporizer (VP-101).....	44
Tabel 4.14	Neraca Energi di Flash Drum (FD-101).....	45
Tabel 4.15	Neraca Energi di <i>Mix Point</i> (MP-101)	45
Tabel 4.16	Neraca Energi (VP-102).....	46
Tabel 4.17	Neraca Energi di <i>Mix Point</i> (MP-102)	46
Tabel 4.18	Neraca Energi di Heat Exchanger (HE-201).....	47
Tabel 4.19	Neraca Energi di Reaktor (RE-201)	48
Tabel 4.20	Neraca Energi di Cooler (CO-201)	48
Tabel 4.21	Neraca Energi di Absorber (AB-101).....	49
Tabel 4.22	Neraca Energi di Destilasi Column (DC-301).....	49
Tabel 4.23	Neraca Energi di Condensor (CO-301)	50
Tabel 5.1	Spesifikasi Tangki Penyimpanan Metanol (ST-101)	51
Tabel 5.2	Spesifikasi Tangki Penyimpanan Asam Klorida (ST-102) ...	52
Tabel 5.3	Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-101)	53
Tabel 5.4	Spesifikasi <i>Flash Drum</i> (FD-101)	54
Tabel 5.5	Spesifikasi <i>Vaporizer</i> (VP-101)	55
Tabel 5.6	Spesifikasi Reaktor (RE-101)	56
Tabel 5.7	Spesifikasi <i>Flash Drum</i> (FD-102).....	57
Tabel 5.8	Spesifikasi <i>Destilasi Column</i> (DC-301)	58
Tabel 5.9	Spesifikasi <i>Condensor</i> (CO-202)	59
Tabel 5.10	Spesifikasi <i>Accumulator</i> (AC-301)	60
Tabel 5.11	Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-301).....	61
Tabel 5.12	Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-301).....	62
Tabel 5.13	Spesifikasi Tangki Penyimpanan Metil Klorida (ST-103).....	63
Tabel 5.14	Spesifikasi Blower (BL-101).....	64
Tabel 5.15	Spesifikasi Blower (BL-102).....	64
Tabel 5.16	Spesifikasi Blower (BL-103).....	64
Tabel 5.17	Spesifikasi Pompa Proses (PP-101).....	65
Tabel 5.18	Spesifikasi Pompa Proses (PP-102).....	66
Tabel 5.19	Spesifikasi Pompa Proses (PP-201).....	67

Tabel 5.20	Spesifikasi Pompa Proses (PP-301).....	68
Tabel 5.21	Spesifikasi Pompa Proses (PP-302).....	69
Tabel 6.1	Peralatan yang Membutuhkan Air Pendingin.....	73
Tabel 6.2	Peralatan yang Membutuhkan <i>Steam</i>	77
Tabel 6.3	Tingkat Kebutuhan Informasi dan Sistem Pengendalian	96
Tabel 6.4	Pengendalian Variabel Utama Proses.....	97
Tabel 7.1	Perincian Luas Area Pabrik	106
Tabel 8.1	Jadwal Kerja Masing-masing Regu.....	126
Tabel 8.2	Perincian Tingkat Pendidikan.....	127
Tabel 8.3	Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat Proses	129
Tabel 8.4	Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat Utilitas.....	130
Tabel 8.5	Perincian Jumlah Karyawan Berdasarkan Jabatan	130
Tabel 9.1	<i>Minimum Acceptable Percent Return On Investment</i>	147
Tabel 9.2	<i>Acceptable Pay Out Time</i> untuk Tingkat Resiko Pabrik	148
Tabel 9.3	<i>Direct Cost</i>	150
Tabel 9.4	<i>Direct Manufacturing Cost (DMC)</i>	152
Tabel 9.5	<i>Fixed Manufacturing Cost (FMC)</i>	152
Tabel 9.6	<i>General Expense</i>	153
Tabel 9.7	<i>Discounted Cash Flow</i> dan <i>Net Present Value</i>	156
Tabel 9.8	Hasil Uji Kelayakan Ekonomi	157

DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
Gambar 1.1	Grafik Persentase Kegunaan Metil Klorida.....	5
Gambar 1.2	Grafik Data Impor Metil Klorida di Indonesia.....	9
Gambar 6.1	<i>Cooling Tower</i>	75
Gambar 6.2	Diagram <i>Cooling Water System</i>	76
Gambar 6.3	<i>Deaerator</i>	79
Gambar 6.4	Diagram Alir Pengolahan Air.....	80
Gambar 7.1	Tata Letak Pabrik	105
Gambar 7.2	Prakiraan Lokasi Pembangunan Paprik.....	106
Gambar 7.3	Tata Letak Alat Pabrik	109
Gambar 8.1	Struktur Organisasi Perusahaan.....	115
Gambar 9.1	Kurva <i>Break Even Point</i> dan <i>Shut Down Point</i>	155
Gambar 9.2	Kurva <i>Cummulative Cash Flow</i> Metode DCF	157

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai salah satu negara berkembang sedang giat melakukan pembangunan di segala bidang, dimana salah satunya yaitu dalam perkembangan industri, sehingga perkembangan industri di Indonesia sangat pesat. Setiap tahunnya berdiri industri-industri baru berskala besar. Hal ini juga didukung oleh sumber daya alam dan sumber daya manusia yang sangat berlimpah di Indonesia. Dalam usaha ini pemerintah memprioritaskan pembangunan industri yang dapat meningkatkan pertumbuhan industri lain yang semakin meningkat.

Meskipun Indonesia memiliki banyak industri untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, namun ada beberapa kebutuhan yang sampai saat ini masih impor bahkan dalam jumlah yang besar. Salah satu produk impornya adalah metil klorida. Metil klorida merupakan bahan kimia yang sangat penting di Indonesia, metil klorida dibutuhkan dalam pembuatan obat-obatan pertanian, bahan pembuatan *refrigerant*, dan juga sebagai bahan baku *vinyl chloride*

Kebutuhan Metil Klorida semakin meningkat setiap tahunnya. Penggunaan terbesar Metil Klorida terdapat pada industri silicon yaitu sebesar 74% dari total kebutuhan, sebagai agricultural chemical sebesar 7%, untuk bahan baku industri Metil Selulosa sebesar 6%, dan sisanya untuk refrigerant. Di Indonesia industri pembuatan Metil Klorida sangat sedikit, sehingga kebutuhan akan Metil Klorida masih di impor dari luar negeri. Metil Klorida mempunyai tingkat kemurnian komersial berkisar 80 – 90 % sehingga menguntungkan jika diproduksi, harga jual Metil Klorida pun cukup tinggi.

Menurut data BPS, rata-rata Indonesia mengimpor metil klorida mengalami kenaikan dari tahun ke tahun yaitu mengalami kenaikan rata-rata 112 ton/tahun dimana sebagian besar di impor dari Amerika Serikat. Dengan adanya pabrik metil klorida ini, diharapkan dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri. Selain itu juga, hal ini dapat membuka kesempatan bagi Indonesia sebagai negara pengekspor metil klorida ke negara lain dan merangsang tumbuhnya industri-industri sehingga meningkatkan perekonomian negara.

Di samping itu, dengan mendirikan pabrik metil klorida ini akan membuka kesempatan terciptanya lapangan pekerjaan serta mendorong berdirinya pabrik-pabrik yang menggunakan metil klorida sebagai bahan baku utama di dalam prosesnya. Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan di atas, maka dipandang perlu untuk mendirikan industri pembuatan metil klorida.

Secara umum dapat disimpulkan latar belakang pendirian pabrik metil klorida adalah sebagai berikut :

1. Investasi teknologi industri kimia dalam perkembangan dan kemajuan pembangunan dan perekonomian negara.
2. Mengurangi ketergantungan impor bahan kimia
3. Terbukanya lapangan pekerjaan di Indonesia sehingga dapat meningkatkan perekonomian negara.

1.2 Kegunaan Produk

Metil Klorida adalah senyawa berfase gas dengan titik didih $-23,8^{\circ}\text{C}$ dan merupakan salah satu dari sekian banyak bahan kimia yang digunakan sebagai bahan baku maupun bahan penunjang di dalam industri kimia. Penggunaan terbesar Metil Klorida terdapat pada industri silicon yaitu sebesar 74% dari total kebutuhan, sebagai agricultural chemical sebesar 7%, untuk bahan baku industri Metil Selulosa sebesar 6%, dan sisanya untuk refrigerant.

Tabel 1.1 Kegunaan Metil Klorida

Industri	Tahun		
	1970	1974	1989
Silikon	38%	50%	74%
Tetramethyllead	38%	30%	-
Buthyl Rubber	5%	5%	2%
Pertanian	-	-	7%
Methyl Selulosa	-	-	6%
Gua ternary aminn	-	-	5%
lain lain	19%	15%	24%

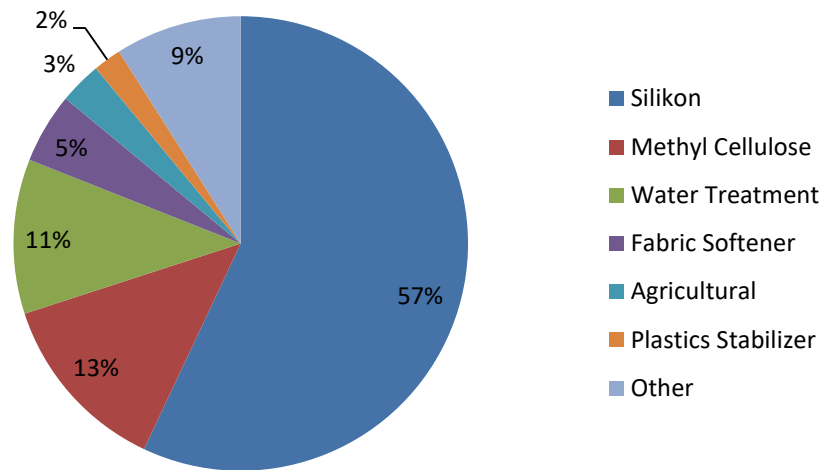
(Kirk and othmer,1997)

Silikon digunakan dalam industri konstruksi sebagai sealant dan perekat dan pada tingkat yang lebih rendah, dalam aplikasi otomotif, isolasi kawat dan kabel, dan aplikasi medis dan bedah. Resin silikon digunakan dalam pelapisan, resin anti air, resin cetakan, resin laminasi, dan isolasi listrik. 13 % dari metil klorida digunakan sebagai bahan baku untuk eter selulosa seperti metil selulosa, hidroksipropil metil selulosa, dan hidroksibutil metil selulosa. Semua ini digunakan sebagai pengental dan pengikat dalam obat-obatan, peralatan mandi, dan produk makanan. Hal ini juga digunakan dalam pembuatan produk bangunan seperti formulasi semen bersama drywall, formulasi semen, plesteran, mortar, dll.

11% lainnya dari metil klorida yang dihasilkan masuk ke dalam produksi bahan kimia pengolahan air seperti flokulan. Flokulan digunakan untuk membekukan dan memisahkan padatan dari air. Metil klorida juga dikonsumsi dalam produksi senyawa amonium kuartener tertentu seperti dimetil amonium klorida, yang merupakan bahan yang ditemukan dalam pelembut kain, pasar ini mengkonsumsi sekitar 5 % dari metil klorida yang diproduksi.

Metil klorida adalah bahan baku yang digunakan dalam produksi bahan kimia pertanian yang dikenal sebagai herbisida, termasuk paraquat, monosodium methanearson, dan disodium methanearsonate. 2% lainnya dari produksi metil klorida digunakan dalam produksi penstabil panas untuk PVC yang dikenal sebagai methyltin. 9% sisanya digunakan untuk berbagai penggunaan, seperti butil elastomer dan lempung terorganifikasi. Butil elastomer digunakan dalam hal-hal seperti ban dalam dan liner dalam untuk ban serta gala, sealant, dan obat-obatan. Tanah lempung yang dimodifikasi terutama digunakan dalam pengeboran

lumpur di industri minyak dan gas memberikan pelumasan dan viskositas ke sistem.



Gambar 1.1 Grafik Presentase Kegunaan Metil Klorida

1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Adanya industri yang mendukung pabrik metil klorida, terutama dalam hal menyediakan bahan baku merupakan salah satu faktor yang cukup penting. Bahan baku utama yaitu metanol (CH_3OH) dan asam klorida (HCl). Di Indonesia metanol diproduksi oleh PT. Kalimantan Timur, dengan kapasitas produksi 660.000 MTpy. (kaltimmetanol.com/manufacturing.html) dan asam klorida diproduksi oleh PT. Asahimas (Banten), dengan kapasitas produksi 67.000 ton/tahun. (www.cic.co.id). Dengan demikian ketersediaan bahan baku pembuatan metil klorida dapat terpenuhi.

1.4 Analisa Pasar

Penilaian analisa pasar dari pabrik Metil Klorida Meliputi :

a. Harga Bahan Baku

Harga bahan baku untuk proses pembuatan metil klorida terdapat pada tabel 1.2 sebagai Berikut :

Tabel 1.2 Harga Bahan Baku

Bahan Baku	Harga (Rp/ton)
CH ₃ OH	3.010.000
HCl	728.000
CH ₄	161.000
Cl ₂	7.000.000

(Sumber : www.icis.com/2020)

b. Harga Produk

Harga produk metil klorida terdapat pada tabel 1.3 sebagai berikut

Tabel 1.3 Harga Produk

Produk	Harga (Rp/ton)
CH ₃ Cl	10.220.000

(Sumber : www.icis.com/2020)

c. Harga Katalis

Harga katalis terdapat pada tabel 1.4 sebagai berikut

Tabel 1.4 Harga Katalis

Katalis	Harga (Rp/ton)
Silica Alumina Gel	7.840.000

(Sumber : www.icis.com/2020)

1.5 Kapasitas Produksi

Kapasitas produksi suatu pabrik ditentukan berdasarkan data impor, kebutuhan konsumsi produk dalam negeri, serta data produksi yang telah ada di dunia, sebagaimana dapat dilihat dari berbagai sumber.

a. Data Impor Metil Klorida di Indonesia

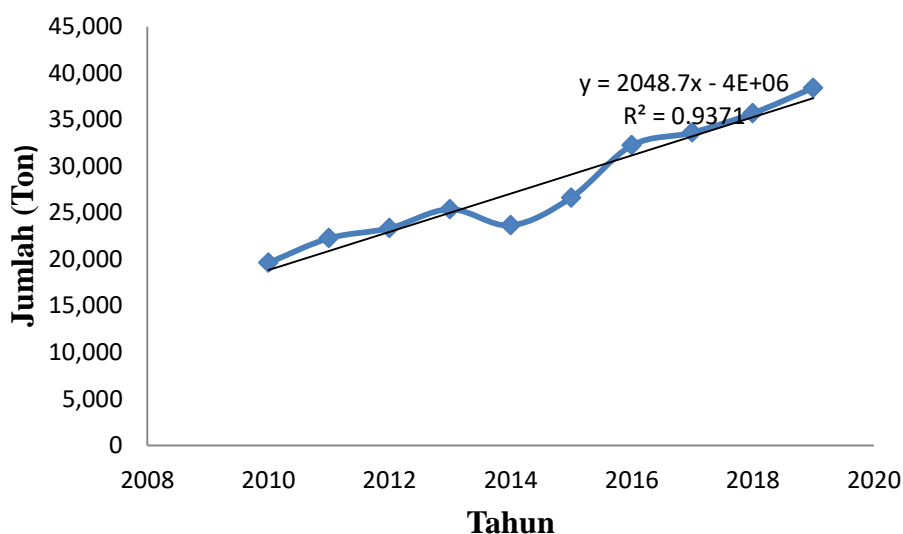
Metil klorida merupakan bahan kimia yang sangat penting di Indonesia, metil klorida dibutuhkan dalam pembuatan obat-obatan pertanian, bahan pembuatan *refrigerant*, dan sebagai bahan baku *vinyl chloride*. Akan tetapi, di Indonesia belum ada pabrik yang memproduksi metil klorida dan hingga saat ini masih mengimpor dalam jumlah yang cukup besar. Berikut ini adalah data impor metil klorida beberapa tahun terakhir yang disajikan dalam tabel 1.5.

Tabel 1.5 Data Impor Metil Klorida di Indonesia

Tahun	Jumlah (Ton)
2010	19.620
2011	22.262
2012	23.338
2013	25.380
2014	23.644
2015	26.622
2016	32.227
2017	33.612
2018	35.688
2019	38.416

(data.un.org)

Data di Indonesia menunjukkan bahwa kebutuhan Metil Klorida di Indonesia setiap tahunnya cenderung mengalami peningkatan. Oleh karena itu, diperlukannya industri yang memproduksi Metil Klorida guna memenuhi kebutuhan yang meningkat di dalam negeri sehingga dapat menekan angka kebutuhan impor. Grafik peningkatan kebutuhan impor metil klorida dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.2 Grafik Data Impor Metil Klorida di Indonesia

Berdasarkan data impor metil klorida dari Tabel 1.5 diperoleh persamaan regresi linier. Apabila diproyeksikan pada tahun 2026 diperkirakan jumlah impor metil klorida sebesar:

$$(y) = 2.048,7x - 4E+06$$

$$= 150.666,2 \text{ Ton}$$

Impor metil klorida yang semakin besar menunjukkan kebutuhan produk semakin meningkat setiap tahunnya. Akan tetapi, penyediaan produk metil klorida dalam negeri masih diimpor dari luar negeri. Oleh karena itu, perencanaan pendirian pabrik metil klorida di Indonesia cukup penting untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, serta dapat mengurangi angka pengangguran. Pendirian pabrik metil klorida didukung dengan masih banyaknya lahan yang dapat digunakan untuk mendirikan pabrik, SDM yang

banyak, letak geografis yang strategis dan kebutuhan dunia akan metil klorida yang besar.

b. Kebutuhan Metil Klorida di Indonesia

Kebutuhan metil klorida di Indonesia dapat dilihat pada tabel 1.7 sebagai berikut :

Tabel 1.6 Kebutuhan Metil Klorida di Indonesia

Kegunaan	Presentase (%)	Kapasitas	Kebutuhan
<i>Silikon</i>	57	50.000	28.500
<i>Methyl Cellulose</i>	13	30.000	3.900
<i>Water Treatment</i>	11	30.000	3.300
<i>Fabric Softener</i>	5	15.000	750
<i>Agricultural</i>	3	20.000	600
<i>Plastics Stabilizer</i>	2	10.000	200
<i>Other</i>	9	25.000	2.250
Total	100		39.500

c. Kapasitas Produksi Metil Klorida di Dunia

Adapun kapasitas industri metil klorida yang telah berdiri di beberapa Negara adalah sebagai berikut:

Tabel 1.7 Industri Metil Klorida di Dunia

Pabrik	Kapasitas (Ton/tahun)
Dow Chemical, Freeport, TX	39.037
Dow Chemical, Plaquemine, LA	126.537
Dow Chemical, Carrolton, KY	221.537
Dow Chemical, Midland, Mich	96.537
GE Plastics, Waterford, N.Y.	79.037
Vulcan, Geismas, LA	81.537
Vulcan, Wicita, KS	41.537

(www.icis.com)

Dari Tabel 1.8 dapat dilihat bahwa kapasitas produksi minimal di dunia sebesar 39.037 ton/tahun, sedangkan kebutuhan impor metil klorida di dalam negeri dapat diprediksi pada tahun 2026 berkisar 150.666,2 ton/tahun, dengan asumsi selama 2018-2026 tidak ada pertumbuhan pabrik metil klorida di Indonesia. Konsumsi metil klorida di Indonesia sebesar 39.500 ton/tahun.

Maka dapat disimpulkan bahwa pabrik metil klorida yang akan direncanakan mampu memenuhi kebutuhan dalam negeri, maka pabrik metil klorida direncanakan memiliki kapasitas sebesar 40.000 ton/ tahun, sehingga diharapkan:

1. Dapat memenuhi kebutuhan metil klorida dalam negeri.
2. Pabrik dapat dijalankan karena kapasitas rancangan berada di atas kapasitas terkecil pabrik yang ada di dunia.

3. Dapat mendorong pertumbuhan dan perkembangan berdirinya industri-industri lain yang menggunakan bahan baku metil klorida.

1.6 Lokasi Pabrik

Dalam penentuan serta pemilihan lokasi dan tata letak suatu pabrik merupakan salah satu aspek penting yang harus diperhatikan selama proses prarancangan dilakukan. Hal ini dilakukan karena dengan menentukan lokasi pabrik dan tata letak kita dapat menentukan seberapa besar pabrik akan dibuat. Lokasi pabrik yang dianggap sesuai untuk mendirikan suatu pabrik adalah sebagai berikut :

1. Kemampuan untuk melayani konsumen dengan memuaskan
2. Kemampuan untuk mendapatkan bahan mentah yang berkesinambungan dan harganya sampai di tempat cukup murah
3. Kemampuan untuk mendapatkan tenaga karyawan.

Faktor-faktor tersebut perlu dipertimbangkan dalam menentukan lokasi pabrik selain faktor bentuk, tujuan, dan jenis pabrik. Berdasarkan faktor-faktor tersebut, maka pabrik yang akan didirikan berlokasi di Cilegon, di Provinsi Banten. Adapun beberapa faktor lain yang mendukung pemilihan lokasi ini adalah sebagai berikut:

1. Ketersediaan Bahan Baku

Kriteria pemilihan lokasi didasarkan pada kemudahan dalam mendapatkan bahan baku. Karena pabrik ini menggunakan Bahan baku utama adalah metanol yang diperoleh dari PT. Kaltim Industri, Bontang. Sedangkan untuk asam kloridanya diperoleh dari PT. Asahimas, Banten. Untuk lokasi

pemilihan ditekankan pada jarak lokasi sumber bahan baku dengan pabrik yang baik..

2. Pemasaran Produk

Produk metil klorida banyak dibutuhkan oleh industri-industri kimia yang ditujukan untuk kebutuhan pasar dalam negeri. Lokasi pabrik di cilegon dipilih sebagai lokasi pendirian pabrik Metil Klorida karena lokasi sangat strategis, yaitu dekat dengan kawasan industri dan pemasaran industri lain yang tersebar di Indonesia serta dekat pula dengan pelabuhan sehingga mudah untuk menerima bahan baku metanol..

3. Sarana transportasi

Untuk transportasi di Cilegon baik di darat maupun di laut cukup baik dan lancar, dikarenakan dekat dengan jalan raya dan pelabuhan, sehingga pendistribusian bahan baku ke pabrik dan produk ke konsumen.

4. Tenaga kerja

Untuk penyediaan tenaga kerja yang terdidik dan terampil untuk mengoperasikan alat-alat industri perlu dipertimbangkan matang-matang. Penduduk Pulau Jawa jumlahnya banyak sehingga untuk keperluan tenaga kerja yang terdidik maupun yang terampil ataupun yang tidak terdidik dapat terpenuhi..

5. Penyediaan utilitas

Di daerah Cilegon, Banten terdapat kawasan industri yang lengkap dengan unit-unit utilitas, sehingga untuk penyediaan air dan steam dapat terpenuhi. Dengan demikian untuk kebutuhan listrik didapat suplai dari PLN.

BAB X

SIMPULAN DAN SARAN

10.1 Simpulan

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik Aseton dari Isopropil Alkohol dengan kapasitas 40.000 ton/tahun dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. *Percent Return on Investment (ROI)* sesudah pajak sebesar 28,24 %
2. *Pay Out Time (POT)* sesudah pajak 2.3 tahun.
3. *Break Even Point (BEP)* sebesar 32,95 % dan *Shut Down Point (SDP)* sebesar 16,05 %, yakni batasan kapasitas produksi sehingga pabrik harus berhenti berproduksi karena merugi.
4. *Interest Rate of Return (IRR)* sebesar 19,32 %, lebih besar dari suku bunga bank saat ini, sehingga investor akan lebih memilih untuk menanamkan modalnya ke pabrik ini daripada ke bank.

10.2 Saran

Berdasarkan pertimbangan hasil analisis ekonomi di atas, maka dapat diambil kesimpulan bahwa Prarancangan Pabrik Metil Klorida dari Metanol dan Asam Klorida dengan kapasitas 40.000 ton/tahun layak untuk dikaji lebih lanjut dari segi proses maupun ekonominya.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. 2019. *Statistic Indonesia*. Diakses melalui www.bps.go.id. pada 12 Februari 2019.
- Banchero, Julius T., and Walter L. Badger. 1988. *Introduction to Chemical Engineering*. McGraw Hill : New York.
- Bank Indonesia. 2020. *Nilai Kurs*. Diakses melalui www.bi.go.id. pada 10 Februari 2020.
- Brown, G. George. 1950. *Unit Operation 6th Edition*. USA : Wiley & Sons, Inc.
- Brownell, L. E. and Young, E. H. 1959. *Process Equipment Design 3rd Edition*. John Wiley & Sons, New York.
- Chemical Engineering Plant Cost Index*. 2017. Diakses melalui www.chemengonline.com/pci. pada 30 Januari 2018.
- Chemical Industry News. 2019 *Chemical, Price Reporting*. www.icis.com. Diakses 13 Maret 2019.
- Cheremisinoff, Nicholas P., 2003. *Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies*. Butterworth-Heinemann.

- Coulson, J. M., and J. F. Richardson. 2005. *Chemical Engineering 4th edition*. Butterworth-Heinemann : Washington.
- 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.
- Himmelblau, David. 1996. *Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering*. Prentice Hall Inc, New Jersey.
- Levenspiel, O. 1972. *Chemical Reaction Engineering 2nd edition*. 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
- Matches, 2016. *Matches' Process Equipment Cost Estimates*. www.matche.com. Diakses pada 16 Juli 2019.
- McCabe, W. L. and Smith, J. C. 1985. *Operasi Teknik Kimia*. Erlangga, Jakarta.
- Perry, Robert H., and Don W. Green. 2008. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 8th edition*. McGraw Hill : New York.
- Powell, S.T., 1954, "Water Conditioning for Industry", McGraw Hill Book Company, New York.

- 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. 2002. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers 5th edition*. McGraw-Hill : New York.
- Treyball, R. E. 1983. *Mass Transfer Operation 3rd edition*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Ulrich, G. D., 1984, *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. John Wiley & Sons Inc, New York.
- Wallas, Stanley M. 1990. *Chemical Process Equipment*. Butterworth-Heinemann: Washington.
- Welty, J.R.,R.E. Wilson, and C.E. Wick. 1976. *Fundamentals of Momentum heat and Mass Transfer*.
- Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. Mc Graw Hill Book Co., NewYork