

**PRARANCANGAN PABRIK METIL ISOBUTIL KETON (C₃H₆O) DARI
ASETON (C₃H₆O) DAN HIDROGEN (H₂) KAPASITAS 32.000
TON/TAHUN
DENGAN TUGAS KHUSUS *REACTOR* (RE-201)**

**Oleh
MUHAMMAD TAUFAN KAMAL
(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

ABSTRAK

PRARANCANGAN PABRIK METIL ISOBUTIL KETON (C₃H₆O) DARI ASETON (C₃H₆O) DAN HIDROGEN (H₂) KAPASITAS 32.000 TON/TAHUN

Oleh

MUHAMMAD TAUFAN KAMAL

Pabrik Metil Isobutil Keton berbahan baku aseton dan hidrogen, akan didirikan di 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 isobutil keton sebanyak 32.000 ton/tahun, dengan waktu operasi 24 jam/hari, 330 hari/tahun. Bahan baku yang digunakan adalah aseton sebanyak 9.120,8777 kg/jam dan hidrogen sebanyak 587,9016 kg/jam.

Penyediaan kebutuhan utilitas pabrik metil isobutil keton 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 134 orang.

Dari analisis ekonomi diperoleh:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp 250.631.916.411
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp 44.229.161.720
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp 294.861.078.131
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 41,97 %
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 30,82 %
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) _b	= 1,75 years
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) _a	= 2,09 years
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) _b	= 39,98 %
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) _a	= 31,98 %
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF)	= 45,24 %

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

ABSTRACT

MANUFACTURE OF METHYL ISOBUTYL KETONE (C₃H₆O) FROM ACETONE (C₃H₆O) AND HYDROGEN (H₂) CAPACITY 32.000 TONS/YEAR (Design Reactor -201 (RE-201))

By

MUHAMMAD TAUFAN KAMAL

Methyl Isobutyl Ketone plant produced by reacting acetone and hydrogen was plan to be in industrial plant in the region of Cilegon in Banten Province. Plant was established by considering the availability of raw materials, transportation facilities, readily available labor and environmental conditions.

Plant's production capacity is planned 32,000 tons / year, with operating time of 24 hours / day and 330 working days in a year. The raw materials used are much acetone 9120.8777 kg / hr and hydrogen as 587.9016 kg / hr.

Provision of utility plant needs a treatment system and water supply, steam supply systems, instrument air supply systems, and power generation systems.

Labor needed as many as 134 people with a business entity form Limited Liability Company (PT) which is headed by a Director who is assisted by the Director of Production and Director of Finance with line and staff organizational structure.

From the economic analysis is obtained:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp 250.631.916.411
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp 44.229.161.720
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp 294.861.078.131
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 41,97 %
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 30,82 %
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) _b	= 1,75 years
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) _a	= 2,09 years
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) _b	= 39,98 %
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) _a	= 31,98 %
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF)	= 45,24 %

Consider the summary above, it is proper establishment of methyl isobutyl ketone plant to studied further, because the plant is profitable and has good prospects.

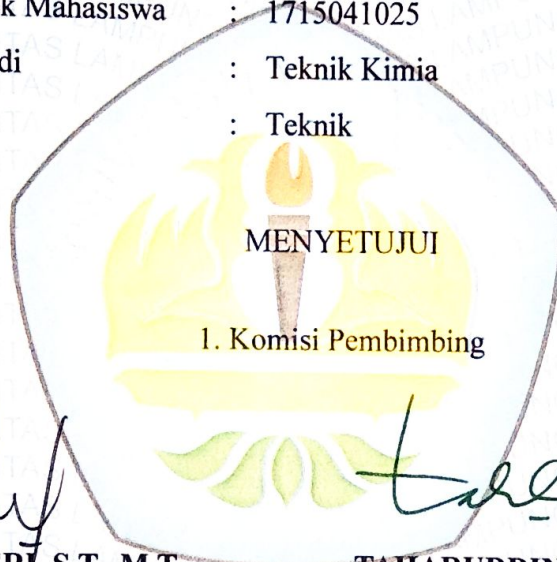
Judul Skripsi : **PRARANCANGAN PABRIK METIL
ISOBUTIL KETON (C₃H₆O) DARI
ASETON (C₃H₆O) DAN HIDROGEN (H₂)
KAPASITAS 32.000 TON/TAHUN
DENGAN TUGAS KHUSUS *REACTOR*
(RE-201)**

Nama Mahasiswa : **Muhammad Taufan Kamal**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1715041025

Program Studi : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik



[Handwritten signature]

[Handwritten signature] STS

LIA LISMERI, S.T., M.T.
NIP. 198503122008122004

TAHARUDDIN, S.T., M.Sc.
NIP. 197001261995121001

2. Ketua Jurusan

[Handwritten signature]

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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

Sekretaris : Taharuddin, S.T., M.T.

Penguji

Bukan Pembimbing I : Yuli Darni, S.T., M.T.

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

2. Dekan Fakultas Teknik

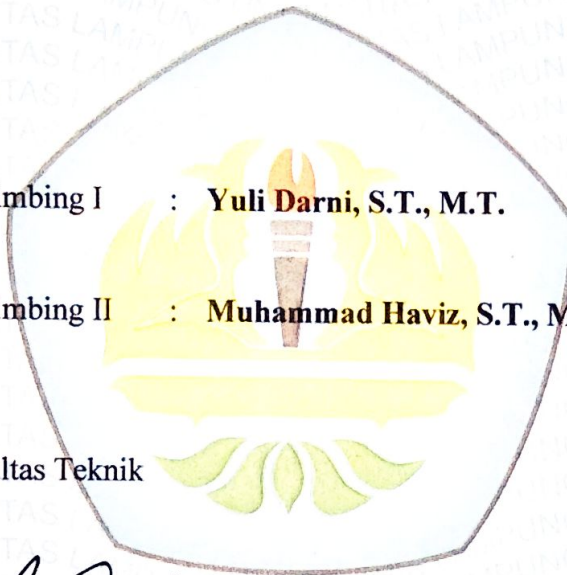


Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 22 Januari 2024

A handwritten signature in black ink, corresponding to the name Lia Lismeri, S.T., M.T.

A handwritten signature in black ink, corresponding to the name Taharuddin, S.T., M.T.



SURAT PERNYATAAN

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

Bandar Lampung, 22 Januari 2024



Muhammad Taufan Kamal

NPM. 1715041025

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Cirebon, pada Tanggal 14 Agustus 1999, sebagai anak kedua dari tiga bersaudara, dari pasangan Bapak M. Soleh dan Wiwik Widyawati. Penulis menyelesaikan pendidikan di Sekolah Dasar di SD Islam Al - Azhar 03 Cirebon pada Tahun 2011, Sekolah Menengah Pertama di SMP Islam Al – Azhar 05 Cirebon pada Tahun 2014 dan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Cirebon pada Tahun 2017.

Pada Tahun 2017, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur masuk ujian tertulis SBMPTN Universitas Lampung 2017.

Pada Tahun 2022, penulis melakukan Kerja Praktik di PT Indocement Tungal Prakarsa Tbk. (Semen Tiga Roda) dengan Tugas Khusus “Evaluasi Kinerja *Vertical Roller Mill*”. Selain itu, penulis melakukan penelitian dengan judul “Pemurnian Limbah Metilen Biru Menggunakan Metode *Fotokatalisis* (Variasi Air Terhadap Waktu Ekstraksi)”, di mana penelitian tersebut dipublikasikan pada Tahun 2022.

Selama kuliah penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan yaitu pada Periode 2017/2018 sebagai *staff* Departemen Riset Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (Himatemia) FT Unila. Pada 2018/2019 sebagai *staff* Departemen Minat dan Bakat Himatemia FT Unila dan Anggota Eksekutif Muda BEM-FT Unila Pada Periode 2017 sebagai anggota.

MOTTO

**Kamu pasti bisa melalui setiap masalah yang
dihadapi**

Qs. Al-Baqarah : 286

Sebuah Karya

Saya persembahkan dengan sepenuh hati untuk :

Allah SWT, atas rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan karya ini

Papih & Ibu sebagai pengganti atas pengorbanan yang sudah tak terhitung jumlahnya, terima kasih atas doa, kasih sayang dan pengorbanannya selama ini

Pakcu Ican yang selalu memberi support dan semangat selama perkuliahan juga atas Pengbanan yang sudah tak terhitung jumlahnya, terima kasih atas doa, kasih sayang dan pengorbanannya selama ini

Kakak dan Adikku, terima kasih atas doa, dan dukungannya selama ini

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan banyak rahmat-Nya yang membuat penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Prarancangan Pabrik Metil Isobutil Keton ($C_6H_{12}O$) dari Aseton (C_3H_6O) dan Hidrogen (H_2) Kapasitas 32.000 Ton/Tahun” dengan baik.

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

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

1. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T., sebagai Ketua Jurusan Teknik Kimia yang telah memberikan bantuan untuk kelancaran proses belajar selama di kampus.
2. Bapak Muhammad Hanif, S.T., M.T. dan/atau Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc., sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan sarannya selama berada di kampus.
3. Ibu Lia Lismeri, S.T., M.T., sebagai Dosen Pembimbing 1, atas segala ilmu, kesabaran, saran, dan kritiknya dalam pengerjaan tugas akhir.
4. Bapak Taharuddin S.T., M.T., sebagai Dosen Pembimbing 2 atas segala ilmu, kesabaran, saran, dan kritiknya dalam pengerjaan tugas akhir.

5. Ibu Yuli Darni, S.T. M.T., sebagai Dosen Penguji 1, atas segala ilmu, kesabaran, saran, dan kritiknya dalam pengerjaan tugas akhir.
6. Bapak Muhammad Haviz, S.T., M.T., sebagai Dosen Penguji 2, atas segala ilmu, kesabaran, saran, dan kritiknya dalam pengerjaan tugas akhir.
7. Seluruh Dosen dan Staf Teknik Kimia Unila yang telah banyak memberikan ilmu yang sangat bermanfaat dan membantu kelancaran dalam pengerjaan.
8. Kedua orang tua, saudara, serta keluarga, atas segala doa yang engkau panjatkan selama ini, kesabaran untuk menunggu selesainya kuliah, dan moril yang tak akan pernah bisa terbalaskan oleh penulis.
9. Agtashah Fahar Andhika, sebagai *partner* tugas akhir, yang menjadi teman diskusi dalam penyelesaian tugas akhir ini.
10. Sahabatku Alfred Creyna Muhammad Taufikan, Didi Wardoyo, Agung Khaeru Zaman, Ashari Ardian Azwar, Heri Ramadhan, dan Muhammad Fikri yang telah menemani susah dan senangnya kehidupan di perkuliahan ini.
11. Teman-teman seperjuangan angkatan 2017, Terimakasih yang sebanyak-banyaknya untuk kalian semua yang telah membantu dalam segala hal.
12. Adik-adik dan kakak-kakak tingkat di Jurusan Teknik Kimia, yang banyak membantu dan memberikan hidup berwarna selama di kampus.
13. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Bandar Lampung, 19 Januari 2024

Penulis

Muhammad Taufan Kamal

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang	1
B. Kegunaan Produk	2
C. Ketersediaan Bahan Baku	2
D. Analisa Pasar	3
E. Kapasitas Produksi.....	5
F. Lokasi Pabrik	6

II. DESKRIPSI PROSES

A. Jenis- Jenis Proses	9
1. Proses Pembuatan MIBK dengan Dua Tahap	9
2. Proses Pembuatan MIBK dengan Satu Tahap.....	10
B. Pemilihan Proses.....	11
C. Uraian Proses.....	19

III. SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK

A. Spesifikasi Bahan Baku	25
B. Spesifikasi Produk	27

IV. NERACA MASSA DAN NERACA ENERGI

A. Neraca Massa.....	30
B. Neraca Energi.....	34

V. SPESIFIKASI PERALATAN

A. Peralatan Proses	38
---------------------------	----

VI. UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH

A. Unit Utilitas	54
1. Unit Penyedia dan Pengolahan air	54
2. Unit Penyedia Steam.....	70
3. Unit Penyedia Tenaga Listrik	71
4. Unit Pengadaan Bahan Bakar	72
5. Unit Penyedia Udara Tekan	72

B. Pengolahan Limbah	72
VII. TATA LETAK PABRIK	
A. Lokasi Pabrik	71
B. Tata Letak Pabrik	74
C. Tata Letak Alat Proses	78
VIII. ORGANISASI DAN MANAJEMEN PERUSAHAAN	
A. Bentuk Perusahaan	81
B. Struktur Organisasi Perusahaan	84
C. Tugas dan Wewenang	87
D. Status Karyawan dan Sistem Penggajian	95
E. Pembagian Jam Kerja Karyawan	95
F. Penggolongan Jabatan dan Jumlah Karyawan	98
G. Kesejahteraan Karyawan	101
XI. INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI	
A. Investasi	105
B. Evaluasi Ekonomi	108
C. Angsuran Pinjaman	110
D. <i>Discounted cash flow</i>	110
X. SIMPULAN DAN SARAN	
A. Simpulan	112

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A PERHITUNGAN NERACA MASSA
LAMPIRAN B PERHITUNGAN NERACA ENERGI
LAMPIRAN C PERHITUNGAN SPESIFIKASI PERALATAN PROSES
LAMPIRAN D PERHITUNGAN UTILITAS
LAMPIRAN E INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI
LAMPIRAN F PERANCANGAN REAKTOR 01 (RE-201)

DAFTAR TABEL

Tabel	Hal
1.1 Harga Bahan Baku dan Produk	3
1.2 Data Impor Metil Isobutil Keton di Indonesia	4
2.1 Perbandingan Proses Pembuatan MIBK.....	11
2.2 Data Entalpi Pembentukan Standar Senyawa	13
2.3 Data Konstanta masing-masing komponen.....	14
2.4 Nilai ΔG°_f masing-masing Komponen	16
2.5 Harga bahan Baku dan produk.....	19
4.1 Neraca Massa Reaktor (RE-201)	30
4.2 Neraca Massa Menara Distilasi Aseton (MD-301).....	30
4.3 Neraca Massa Kondensor 301	31
4.4 Neraca Massa Reboiler 301	31
4.5 Neraca Massa Menara Distilasi-302	32
4.6 Neraca Massa Kondensor 302.....	32
4.7 Neraca Massa Reboiler 302.....	33
4.8 Neraca Massa Menara Distilasi-303	33
4.9 Neraca Massa Kondensor 303.....	34
4.10 Neraca Massa Reboiler 303.....	34
4.11 Neraca Energi Heater 101 (HE-101)	35
4.12 Neraca Energi Mix Point 101 (MP-101)	35

4.13 Neraca Energi Kompresor 101 (CP-101)	35
4.14 Neraca Energi Heater 102 (HE-102)	35
4.15 Neraca Energi Mix Point 102 (MP-102)	36
4.16 Neraca Energi Reaktor 201 (RE-201).....	36
4.17 Neraca Energi Cooler-201 (CO-201).....	36
4.18 Neraca Energi Menara Distilasi 301 (DC-301).....	36
4.19 Neraca Energi Heater 103 (HE-103)	37
4.20 Neraca Energi Menara Distilasi 302 (DC-302).....	37
4.21 Neraca Energi Menara Distilasi 303 (DC-303).....	37
4.22 Neraca Energi Cooler 401 (CO-401).....	37
5.1 Spesifikasi Tangki Aseton (ST-101).....	38
5.2 Spesifikasi Tangki Metil Isobutil Keton (ST-301)	39
5.3 Spesifikasi Pompa (PP – 101).....	39
5.4 Spesifikasi <i>Heater</i> -101 (HE-101)	40
5.5 Spesifikasi <i>Heater</i> -102 (HE-102)	40
5.6 Spesifikasi Kompresor (CP-101)	41
5.7 Spesifikasi reaktor (RE-201).....	42
5.8 Spesifikasi <i>Cooler</i> -301 (CO-301).....	43
5.9 Spesifikasi Expander Valve - 201 (EV-201).....	44
5.10 Spesifikasi Blower-201 (BL-201).....	44
5.11 Spesifikasi DC-301	45
5.12 Spesifikasi <i>Condensor</i> –301 (CD-301).....	45
5.13 Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-301)	46
5.14 Spesifikasi <i>Accumulator</i> (AC-301).....	47

5.15 Spesifikasi Pompa (PP – 301).....	47
5.16 Spesifikasi <i>Heater</i> -103 (HE-103)	48
5.17 Spesifikasi MD-302	48
5.18 Spesifikasi <i>Condensor</i> –302 (CD-302).....	49
5.19 Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-302)	49
5.20 Spesifikasi <i>Accumulator</i> (AC-302).....	50
5.21 Spesifikasi Pompa (PP – 302).....	50
5.22 Spesifikasi DC-303	51
5.23 Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-303)	51
5.24 Spesifikasi <i>Condensor</i> –303 (CD-303).....	52
5.25 Spesifikasi <i>Accumulator</i> (AC-303).....	52
5.26 Spesifikasi <i>Cooler</i> -401 (CO-401)	53
6.1 Kebutuhan air untuk general uses	55
6.2 Kebutuhan air untuk Hidrogen.....	56
6.3 Kebutuhan Air Untuk Pembangkit Steam	56
6.4 Kebutuhan Air Pendingin	58
6.5 Kebutuhan Air Proses	60
6.6 Kebutuhan Air Hydrant	60
6.7 Kebutuhan Air Total	61
6.8 Tingkatan Kebutuhan Informasi dan Sistem Pengendalian 1	72
6.9 Pengendalian Variabel Utama Proses	73
8.1 Jadwal Kerja Masing-Masing Regu.....	97
8.2 Perincian Tingkat Pendidikan	98
8.3 Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat	99

8.4	Jumlah Karyawan.....	99
9.1	<i>Fixed capital investment</i>	106
9.2	<i>Manufacturing cost</i>	107
9.3	<i>General Expense</i>	108
9.4	Hasil Uji Kelayakan Ekonomi	111

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Hal
1.1 Prediksi Impor Metil Isobutil keton di Indonesia	5
7.1 Peta Provinsi Banten	73
7.2 Tata Letak Pabrik Metil Isobutil Keton.....	78
7.3 Tata Letak Alat Proses	80
8.1 Struktur Organisasi Perusahaan	85
9.1 Grafik Analisis Ekonomi.....	110
9.2 Kurva <i>Cumulative Cash Flow</i> metode DCF.....	111

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan teknologi di bidang industri saat ini semakin pesat dengan meningkatnya kemajuan teknologi dan beragam kebutuhan masyarakat dunia. Salah satu industri kimia yang mempunyai kegunaan yang penting dan peluang yang besar di masa mendatang adalah metil isobutil keton.

Metil isobutil keton (MIBK) yang dikenal juga dengan nama lain yaitu heksone, 4-metil-2-pentanon atau isopropilaseton dengan rumus molekul $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{COCH}_3$ pertama kali diperkenalkan pada tahun 1980 oleh negara pelopor seperti Amerika, Jepang, dan beberapa negara Eropa. MIBK merupakan cairan yang stabil dan tidak berwarna, sedikit larut dalam air dan larut di dalam pelarut organik.

Senyawa turunan keton ini pada mulanya digunakan terbatas sebagai pelarut untuk keperluan tertentu saja, kerana ketika itu orang lebih mengenal senyawa aseton. Setelah itu diketahui bahwa MIBK merupakan suatu pelarut yang dapat digunakan untuk pelarut vinil, epoksi, dan resin akrilat. Perkembangan kebutuhan MIBK terus meningkat dengan semakin meluasnya pemakaian MIBK di berbagai sektor industri terutama industri cat karena pelarut MIBK diketahui memberikan mutu yang lebih baik dibandingkan pelarut-pelarut sebelumnya. Industri cat dan *thinner* di Indonesia diketahui juga mulai banyak memakai MIBK ini sebagai bahan

pelarut. Selain itu, MIBK diketahui dapat digunakan sebagai pelarut untuk pelapis tekstil dan pelarut untuk ekstraksi dan pemurnian antibiotik.

Namun hingga saat ini industri MIBK belum dikembangkan walaupun permintaannya cenderung meningkat. Dengan belum tergarapnya industri ini, ketergantungan Indonesia terhadap senyawa MIBK yang selama ini dipenuhi dengan mengimpor, diharapkan dapat terpenuhi dengan pendirian pabrik MIBK di Indonesia, karena memiliki prospek yang baik untuk dikembangkan, baik ditinjau dari prospek pasar dan perkembangan konsumsi MIBK di Indonesia untuk berbagai sektor industri yang memakainya.

B. Kegunaan Produk

Produk metil isobutil keton telah banyak digunakan dalam berbagai macam industri diantaranya:

1. Sebagai pelarut resin akrilat dan vinil akrilat
2. Sebagai pelarut untuk lapisan pelindung pada industri cat dan *thinner*
3. Sebagai pelarut pelapis tekstil dan kulit
4. Sebagai pelarut dalam ekstraksi dan pemurnian antibiotik, obat-obatan, dan pestisida
5. Bahan kimia intermediet pembuat metil amil alkohol

C. Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan metil isobutil keton adalah aseton ($\text{CH}_3\text{CCH}_3\text{O}$) dan hidrogen (H_2). Bahan baku aseton diimpor dari Jepang di Sunoco Haverhill, Ohio yaitu pabrik aseton di Jepang (kapasitas

267.000 ton/thn). Sedangkan gas hidrogen didapat dari PT. Air Liquid, Banten (kapasitas 49.500 ton/tahun). Dengan mengadakan kontrak kerjasama dengan kedua pabrik tersebut maka diharapkan kebutuhan aseton dan gas hidrogen sebagai bahan baku pembuatan metil isobutil keton dapat terpenuhi.

D. Analisis Pasar

1. Harga bahan Baku dan Produk

Harga bahan baku dan produk pada pabrik metil isobutil keton (MIBK) dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1.1 Harga bahan baku dan produk

Bahan	Harga (US\$/kg)
Aseton	2
Hidrogen	3,5
MIBK	2,8

2. Kebutuhan Pasar

Data statistik yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) menunjukkan bahwa di Indonesia hingga saat ini belum ada pabrik metil isobutil keton sehingga untuk memenuhi kebutuhan metil isobutil keton selama ini masih mengimpor dari negara-negara seperti Jepang, Hongkong, Taiwan, USA, China, Jerman dan Belanda. Data statistik yang diperoleh dari BPS mengenai jumlah impor metil isobutil keton dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1.2 Data impor metil isobutil keton di Indonesia tahun 2022

Tahun	Jumlah impor (Ton)
2018	33181,52
2019	32797,56
2020	38587,38
2021	43400,26
2022	45843,62

Sumber : Undata 2022

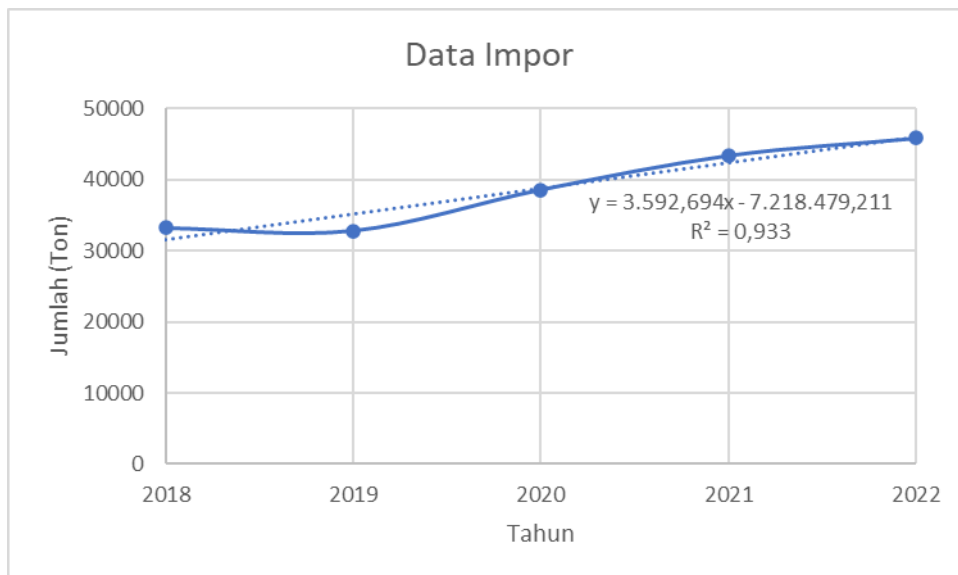
Dari Tabel 1.2 terlihat bahwa kebutuhan metil isobutil keton (MIBK) dalam negeri mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan di Indonesia belum terdapat pabrik MIBK sehingga untuk memenuhi kebutuhan MIBK diperoleh dari impor.

Konsumsi MIBK di Indonesia diperkirakan akan terus meningkat. Proyeksi pertumbuhan tersebut didasari semakin membaiknya perekonomian nasional dan peningkatan daya beli masyarakat, serta penambahan jumlah penduduk, meskipun pada tahun 2009 terjadi penurunan impor MIBK yang dikarenakan krisis global yang berdampak pada memburuknya perekonomian nasional.

Peningkatan konsumsi MIBK didasarkan atas perkembangan industri pemakainya yang mengalami perkembangan cukup pesat. Di samping masih tingginya minat investasi pada sektor industri, industri pemakai yang ada juga aktif melakukan perluasan pabrik. Sehingga dengan pendirian pabrik ini diharapkan kebutuhan MIBK dalam industri di Indonesia dapat terpenuhi dan akan merangsang pertumbuhan pabrik baru yang menggunakan bahan baku MIBK.

E. Kapasitas Pabrik

Prediksi kapasitas pabrik diambil berdasarkan data statistik yang diperoleh dari Undata prihal data impor MIBK di Indonesia. Peningkatan impor MIBK dari tahun ke tahun dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 1.1 Prediksi impor metil isobutil keton di Indonesia

Dari persamaan yang diperoleh pada Gambar 1.1 dengan menggunakan metode regresi Polynomial, kebutuhan metil isobutil keton di Indonesia untuk tahun 2027, diyakini sebesar 64.000 ton/tahun. Berdasarkan data kebutuhan tersebut, maka besarnya kapasitas pabrik metil isobutil keton yang direncanakan sebesar 50 % dari total kebutuhan di Indonesia, yaitu 32.000 ton/tahun.

Pemilihan kapasitas ini juga didasarkan pada kapasitas pabrik metil isobutil keton yang sudah ada di dunia, yaitu berkisar antara 15.000 ton/tahun yang dimiliki oleh *Jilin Chemical*, China sampai 50.000 ton/tahun yang dimiliki oleh *Mitsui Chemicals*, Jepang.

F. Lokasi Pabrik

Penentuan lokasi pabrik sangat penting pada suatu perancangan karena akan berpengaruh secara langsung terhadap kelangsungan hidup pabrik. Berdasarkan faktor-faktor di bawah ini maka pabrik yang akan didirikan berlokasi di Kawasan Industri Merak, Banten dengan pertimbangan sebagai berikut :

1. Sumber Bahan Baku

Lokasi pabrik dekat dengan produsen bahan baku seperti gas H_2 yang telah banyak diproduksi di Indonesia, salah satunya yang diproduksi oleh PT. Air Liquid di Cilegon, Banten. Sedangkan aseton sampai sekarang masih di impor dari negara lain seperti : Jepang, Hongkong, Taiwan, USA, China, Jerman dan Belanda.

2. Daerah Pemasaran

Lokasi pabrik dekat dengan daerah pemasaran produk. Konsumen terbesar MIBK adalah industri cat dan thinner yang sebagian besar berlokasi di Jawa Barat, Jawa Timur dan Jawa Tengah. Sedangkan untuk konsumen MIBK lainnya pada umumnya berlokasi di pulau Jawa sehingga dalam pemasarannya mudah.

3. Transportasi

Jalur transportasi baik darat maupun laut yang berperan dalam pendistribusian bahan baku maupun produk cukup memadai, untuk transportasi darat tersedia jalan raya yang menghubungkan ke daerah-daerah lain yang berpotensi untuk menunjang jalannya proses produksi dan pemasaran. Karena aseton masih di impor, maka adanya pelabuhan laut menjadi hal yang sangat penting. Transportasi laut dapat dilakukan melalui pelabuhan Tanjung Priok.

4. Penyediaan Utilitas

Untuk menjalankan proses produksi pabrik diperlukan sarana pendukung sebagai pembangkit tenaga listrik dan air. Sumber air diperoleh dari DAS Cidanau yang mempunyai kapasitas 2.000 liter per detik. Sedangkan untuk listrik dapat disuplai dari PT Krakatau Daya Listrik, disamping itu energi listrik juga dapat diproduksi sendiri menggunakan generator.

5. Tenaga Kerja

Tenaga kerja yang terampil dibutuhkan dalam proses suatu pabrik. Untuk kebutuhan tenaga kerja dapat dipenuhi dari daerah Banten karena daerah ini terdapat sumber daya manusia yang berkualitas, selain dari daerah Banten sendiri tenaga kerja dari berbagai daerah pun digunakan. Masyarakat di sekitar lokasi pabrik dapat menjalin kerjasama yang baik, sehingga kondisi dan lingkungan yang harmonis antara pabrik dan masyarakat dapat terjalin.

6. Kawasan Industri

Pendirian pabrik perlu memperhatikan beberapa faktor kepentingan yang terkait di dalamnya, kebijaksanaan pengembangan industri, dan hubungannya dengan pemerataan kesempatan kerja, kesejahteraan, dan hasil-hasil pembangunan. Merak, Banten merupakan suatu kawasan industri yang telah memenuhi faktor kelayakan baik mengenai iklim, sosial dan karakteristik lingkungan. Sehingga tidak menghambat pendirian dan kelangsungan operasional dari pabrik.

7. Komunitas Masyarakat

Masyarakat di sekitar lokasi perlu juga diperhatikan karena pada beberapa jenis industri masyarakat ini dapat dijadikan pegawai yang prospektif, dan akan mempengaruhi tingkat keamanan yang merupakan salah satu hal penting yang perlu dijadikan pertimbangan. Merak, Banten merupakan kawasan industri sehingga masyarakat sekitar sudah terbiasa dengan keadaan tersebut.

II. DESKRIPSI PROSES

A. Jenis-Jenis Proses

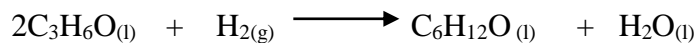
Proses produksi Metil Isobutil Keton dapat dibuat melalui beberapa cara, antara lain :

1. Proses pembuatan MIBK dengan katalis Palladium

ada proses ini proses kondensasi, dehidrasi dan hidrogenasi secara langsung atau satu tahap. Proses ini salah satunya dipublikasikan dalam US patent 5,684,207.

Aseton langsung dipompa atau dicampur terlebih dahulu dengan hidrogen, dipanaskan, kemudian diumpankan pada reaktor *fixed bed* dan kemudian akan terjadi kontak dengan katalis pada temperatur 145° C dan pada tekanan 15 atm. Pada proses ini katalis yang digunakan adalah katalis adalah *Palladium* atau Pd/HZSM5.

Reaksi hidrogenasi yang terjadi adalah :

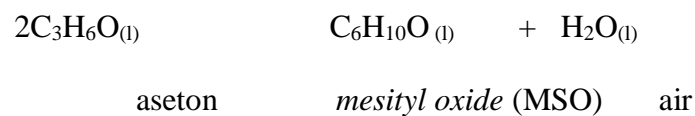


Aseton yang tidak bereaksi di kembalikan ke umpan masuk.

Perbandingan molar hidrogen/aseton umpan masuk digunakan adalah 2:1 dengan waktu tinggal 3 jam. Konversi aseton yang didapat adalah 63,2% dengan selektivitas atas MIBK sebesar 92,0%.

2. Proses Pembuatan MIBK dengan katalis Amberlyst

Pada umumnya proses pembuatan metil isobutil keton (MIBK) terdiri dari proses kondensasi, dehidrasi dan hidrogenasi. Pada proses ini, tahap pertama yaitu kondensasi dan dehidrasi dari aseton membentuk mesityl oxide (MO) dan air dalam reaktor *fixed bed*. Reaksi yang terjadi adalah :



Katalis yang digunakan adalah *Amberlyst* yang bersifat asam. Kondisi operasi yang digunakan yaitu pada temperatur 120°C dan tekanan 30 atm. Waktu yang diperlukan pada proses ini adalah 4 jam. Konversi reaksi terhadap aseton antara 50% dan selektivitas 90%. Hasil samping dari reaksi ini antara lain *isomesityl oxide*, *diacetone alcohol*, *phorone*, *mesitylene*.

Tahap kedua yaitu hidrogenasi membentuk metil isobutil keton (MIBK). MSO akan direaksikan dengan gas hidrogen di reaktor *fixed bed* pada temperatur 150°C dan tekanan 15 atm untuk membentuk metil isobutil keton (MIBK) dengan katalis *Palladium*. Kelemahan proses ini adalah konversi aseton yang kecil dan yield yang rendah terhadap MIBK serta membutuhkan banyak proses pemurnian untuk mencapai produk MIBK yang diinginkan.

B. Pemilihan Proses

Dari proses yang telah diuraikan sebelumnya dapat dibandingkan sebagai berikut :

Tabel 2.1 Perbandingan Proses Pembuatan MIBK

No	Kondisi Proses	Proses 1	Proses 2
1	Selektivitas (%)	92,2	90
2	Tekanan operasi (Atm)	15	29,5
3	Suhu reaktor (°C)	145	140
4	Waktu reaksi (Jam)	3	4
5	Katalis	Paladium	Amberlyst
6	Konversi (%)	62,2	40
7	Profit Kasar (Kg)	Rp549.440.000.000	Rp357.376.000.000

Pada kedua proses untuk memproduksi MIBK ini bahan baku yang diperlukan sama. Berdasarkan uraian di atas, maka rancangan proses pembuatan MIBK yang dipilih yaitu proses pembuatan MIBK dengan menggunakan katalis palladium pada reaktor *fixed bed* berdasarkan pertimbangan sebagai berikut:

1. Reaksi terjadi dalam satu tahap sehingga peralatan yang dipakai lebih sederhana.
2. Kondisi operasi yang lebih rendah daripada proses dengan dua tahap, yaitu temperatur operasi 145°C
3. Selektivitas MIBK mencapai 92,2% dan kemurnian produk sesuai dengan kebutuhan pasar yaitu min 99,5%

Proses satu tahap menggunakan reaktor *fixed bed* dengan tinjauan proses sebagai berikut :

- Tinjauan termodinamika

Tinjauan termodinamika reaksi dilakukan dengan membandingkan nilai entalpi reaksi (ΔH_r) dan energi bebas Gibbs reaksi (ΔG). Nilai ΔH_r menunjukkan energi yang dibutuhkan atau dihasilkan selama reaksi. ΔH positif (+) berarti reaksi memerlukan panas (endoterm). Nilai negatif (-) dari ΔH menunjukkan bahwa panas akan dihasilkan selama reaksi (eksoterm). Untuk menghitung nilai ΔH_r , digunakan dengan perhitungan hubungan antara panas reaksi dan suhu (Smith, Van Ness dan Abbott, 2001):

$$\Delta H_r = \Delta H_r^0 + R \int_{T_0}^T \frac{Cp^0}{R} dT$$

(2.3)

dimana:

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta Cp^0}{R} dT = (\Delta A) T_0 (\tau - 1) + \frac{\Delta B}{2} T_0^2 (\tau^2 - 1) + \frac{\Delta C}{3} T_0^3 (\tau^3 - 1) + \frac{\Delta D}{T_0} \left(\frac{\tau - 1}{\tau} \right)$$

$$\text{dan } \tau \equiv \frac{T}{T_0}$$

Sedangkan untuk ΔG digunakan persamaan berikut:

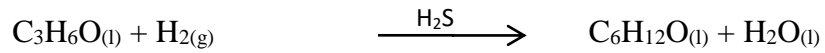
$$\Delta G = \Delta H^0 - \frac{T}{T_0} (\Delta H^0 - \Delta G^0) + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta Cp}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta Cp}{R} \times \frac{dT}{T}$$

(2.4)

dimana:

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

Reaksi yang terjadi pada proses esterifikasi adalah:



Reaksi yang terjadi pada proses esterifikasi adalah : Data ΔH_f^0

standar untuk masing-masing senyawa diberikan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1. Data Entalpi Pembentukan Standar Masing-masing Senyawa

Komponen	Rumus Molekul	ΔH_f^0 298,15 K (kJ/mol)
<i>Aceton</i>	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$	-217,57
<i>Hidrogen</i>	H_2	0
<i>MIBK</i>	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_{(l)}$	-288,49
<i>Water</i>	H_2O	-285,85

Sumber : Yaws, 1999

Berdasarkan data ΔH_f^0 standar tersebut dapat dihitung besarnya

panas reaksi standar (ΔH_r^0) pembentukan *methyl acetate*:

$$\Delta H_r^0 = \Delta H_f^0 \text{ produk} - \Delta H_f^0 \text{ reaktan}$$

(2.5)

$$\Delta H_r^0$$

$$= (\Delta H_f^0 \text{CH}_3\text{COOCH}_3 + \Delta H_f^0 \text{H}_2\text{O}) - \Delta H_f^0 \text{CH}_3\text{COOH} + \Delta H_f^0 \text{CH}_3\text{OH}$$

$$= (-288,49 + (-285,85)) - (-217,57 + (0))$$

$$= -354,77 \text{ kJ/mol}$$

Berdasarkan perhitungan diatas disimpulkan bahwa reaksi bersifat eksotermis atau melepaskan panas.

Tabel 2.2. Data Konstanta Masing-masing Komponen

Komponen	A	B	C	D
C ₃ H ₆ O	46.878	0,62652	-0,002076	0,00000295 83
H ₂	25,399	0,02178	- 0,00003807 8	0,00000031 88
C ₆ H ₁₂	96,284	0,85227	-0,0025379	0,00000330 66
O _(l)				
H ₂ O	92,053	- 0,039953	- 0,00021103	0,00000053 469

Sumber : Yaws, 1999

$$\Delta A = \sum A_{\text{produk}} - \sum A_{\text{reaktan}}$$

$$= (96.284 + 92,053) - (46.878 + 25,399)$$

$$= 116,06$$

$$\Delta B = \sum B_{\text{produk}} - \sum B_{\text{reaktan}}$$

$$= (0,85227 + (-0,039953)) - (0,62652 + 0,02178)$$

$$= 0,164017$$

$$\Delta C = \sum C_{\text{produk}} - \sum C_{\text{reaktan}}$$

$$= (-0,0025379 + (-0,00021103)) - (-0,002076 + (-0,000038078))$$

$$= -0,000634852$$

$$\Delta D = \sum D_{\text{produk}} - \sum D_{\text{reaktan}}$$

$$= (0,0000033066 + 0,00000053469) - (0,0000029583 + 0,0000003188)$$

$$= -0,00000120179$$

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^0}{R} dT = (\Delta A)T_0(\tau - 1) + \frac{\Delta B}{2} T_0^2(\tau^2 - 1) + \frac{\Delta C}{3} T_0^3(\tau^3 - 1) + \frac{\Delta D}{T_0} \left(\frac{\tau-1}{\tau} \right)$$

$$= \left((116,06)(418,15) \left(\frac{418,15}{298,15} - 1 \right) \right) +$$

$$\left(\left(\frac{0,164017}{2} \right) (418,15^2) \left(\left(\frac{418,15}{298,15} \right)^2 - 1 \right) \right) +$$

$$\left(\left(\frac{-0,000634852}{3} \right) (418,15^3) \left(\left(\frac{418,15}{298,15} \right)^3 - 1 \right) \right) +$$

$$\left(\left(\frac{-0,00000120179}{298,15} \right) \left(\frac{\frac{418,15}{298,15} - 1}{\frac{418,15}{298,15}} \right) \right)$$

$$= 725,56$$

Sehingga nilai ΔH_r adalah:

$$\begin{aligned}
 \Delta H_r &= \Delta H_r^0 + R \int_{T_0}^T \frac{C_p^0}{R} dT \\
 &(2.6) \\
 &= -59,30 + ((8,314 \times 10^{-3}) \times (725,56)) \\
 &= -53,81 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Karena harga ΔH_r bernilai negatif, maka reaksi pembentukan *MIBK* tersebut bersifat eksoterm.

Dari energi bebas Gibbs dari reaktan dan produk adalah :

Tabel 2.3 Nilai ΔG_f^0 masing-masing Komponen

Komponen	$\Delta G_f^{0,418.15}$ (J/mol)
Aseton / C_3H_6O (l)	-151.300
Hidrogen / H_2 (g)	0
Metil Isobutil Keton / $C_6H_{12}O$ (l)	-135.000
Air / H_2O (l)	-228.590

Sumber : *Perry's* Tabel 2-196

Berdasarkan data ΔG^0 di atas, dapat dihitung besarnya energi bebas Gibbs standar ΔG^0 :

$$\Delta G^0 = \Delta G^0 \text{ produk} - \Delta G^0 \text{ reaktan}$$

(2.7)

$$\begin{aligned}
 \Delta G^0 &= (\Delta G^0 C_6H_{12}O + \Delta G^0 H_2O) - (\Delta G^0 C_3H_6O + \Delta G^0 H_2) \\
 &= (-135.000 + (-228.590)) - (-151.300 - 0) \\
 &= 212.290 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \times \frac{dT}{T} = \Delta A \ln \tau + \left[\Delta B T_0 + \left(\Delta C T_0^2 + \frac{\Delta D}{T_0^2} \right) \left(\frac{\tau+1}{2} \right) \right] (\tau - 1) \\
& = \left(128,153 \times \ln \frac{418,15}{298,15} \right) \\
& \quad + \left[\begin{aligned} & (-0,810003 \times 418,15) \\ & + \left(\left(0,00157937 \times (418,15^2) \right) \right. \\ & \left. + \left(\frac{-0,00000079571}{\left(\left(\frac{418,15}{298,15} \right)^2 \times (418,15^2) \right) \right) \right) \right. \\ & \left. \left. \times \left(\frac{\frac{418,15}{298,15} + 1}{2} \right) \right) \right] \times \left(\frac{418,15}{298,15} - 1 \right) \\
& = -90,79
\end{aligned}$$

Sehingga Nilai ΔG adalah :

$$\Delta G = \Delta H^0 - \frac{T}{T_0} (\Delta H^0 - \Delta G^0) + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \times \frac{dT}{T}$$

$$\begin{aligned}
& (-59,84) - \left(\frac{418,15}{298,15} \times (-59,84 - (-19,49)) \right) \\
& \quad + ((8,314 \times 10^{-3}) \times (725,56)) \\
& \quad - ((8,314 \times 10^{-3}) \times (323,15) \times (-90,79)) \\
& = -273,62 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

Persamaan :

$$\Delta G^\circ = \Sigma(n\Delta G^\circ_f) \text{ produk} - \Sigma(n\Delta G^\circ_f) \text{ reaktan}$$

$$\begin{aligned}
\Delta G^\circ & = \Sigma(n\Delta G^\circ_f) \text{ produk} - \Sigma(n\Delta G^\circ_f) \text{ reaktan} \\
& = [(\Delta G^\circ_f \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}) + (\Delta G^\circ_f \text{ H}_2\text{O})] - [(2 \times \Delta G^\circ_f \text{ C}_3\text{H}_6\text{O}) + \\
& \quad (\Delta H^\circ_f \text{ H}_2)] \\
& = [(-135.000) + (-228.590)] - [2 \times (-151.300) + (0)] \\
& = -60.990 \text{ J/mol} \\
& = -60,990 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

Berdasarkan nilai ΔG° yang telah di dapatkan sebesar -60,990 kJ/mol menunjukkan bahwa reaksi yang terjadi di dalam reaktor dapat berlangsung tanpa membutuhkan energi yang besar, karena diinginkan nilai $\Delta G^\circ < 0$ agar tidak membutuhkan energi berupa panas yang terlalu besar (konsumsi energi kecil). Dalam parameter perancangan pabrik kimia berupa parameter termodinamika bahwa nilai $\Delta G^\circ < 0$ masih dapat terpenuhi.

- Tinjauan Ekonomi

Tinjauan ekonomi ini bertujuan untuk mengetahui bruto yang dihasilkan oleh pabrik ini selama setahun dengan kapasitas 32.000

BAB X

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik Metil Isobutil Keton dengan kapasitas 32.000 ton per tahun dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. *Percent Return on Investment* (ROI) sesudah pajak sebesar 21,23 %.
2. *Pay Out Time* (POT) sesudah pajak 2,85 tahun.
3. *Break Even Point* (BEP) sebesar 44,29 % dan *Shut Down Point* (SDP) sebesar 26,55 %, yakni batasan kapasitas produksi sehingga pabrik harus berhenti berproduksi karena merugi.
4. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF) sebesar 39,35 %, lebih besar dari suku bunga bank saat ini, sehingga investor akan lebih memilih untuk menanamkan modalnya ke pabrik ini daripada ke bank

B. Saran

Berdasarkan pertimbangan hasil analisis ekonomi di atas, maka dapat diambil kesimpulan bahwa pabrik Metil Isobutil Keton dengan kapasitas 32.000 ton per tahun layak untuk dikaji lebih lanjut dari segi proses maupun ekonominya.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik, 2011, *Statistic Indonesia*, www.bps.go.id, Indonesia
- Bombos Dorin and Bacalum Fanica, 2006, *Influence Of The Pd Distribution In A Pd /H-Zsm-5 Catalyst On Acetone Conversion To Methyl Isobutyl Ketone*, Departement of Chemical Engineering, University Bucharest, Roumania
- Brown.G.George., 1950, *Unit Operation 6^{ed}*, Wiley&Sons, USA.
- Brownell.L.E. and Young.E.H., 1959, *Process Equipment Design 3^{ed}*, John Wiley & Sons, New York.
- Coulson.J.M. and Ricardson.J.F., 1983, *Chemical Engineering vol 6*, Pergamon Press Inc, New York.
- Fogler.A.H.Scott, 1999, *Elements of Chemical Reaction Engineering*, Prentice Hall International Inc, New Jersey.
- Geankoplis.Christie.J., 1993, *Transport Processes and unit Operation 3^{th ed}*, Allyn & Bacon Inc, New Jersey.
- Himmeblau.David., 1996, *Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering*, Prentice Hall Inc, New Jersey.
- Kern.D.Q., 1983, *Process Heat Transfer*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Kirk, R.E and Othmer, D.F., 2006, "Encyclopedia of Chemical Technologi", 4nd ed., vol. 17., John Wiley and Sons Inc., New York.
- Levenspiel.O., 1972, *Chemical Reaction Engineering 2nd edition*, John Wiley and Sons Inc, New York.
- McCabe.W.L. and Smith.J.C., 1985, *Operasi Teknik Kimia*, Erlangga, Jakarta.
- Megyesy.E.F., 1983, *Pressure Vessel Handbook*, Pressure Vessel Handbook Publishing Inc, USA.
- Perry.R.H. and Green.D., 1997, *Perry's Chemical Engineer Handbook 7^{th ed}*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Peter.M.S. and Timmerhause.K.D., 1991, *Plant Design an Economic for Chemical Engineering 3^{ed}*, McGraww-Hill Book Company, New York.

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

Smith.J.M. and Van Ness.H.C., 1975, *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics 3^{ed}*, McGraww-Hill Inc, New York.

Treyball.R.E., 1983, *Mass Transfer Operation 3^{ed}*, McGraw-Hill Book Company, New York.

Ulmann, 2007. "*Ulmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*". VCH Verlagsgesell Scahft, Wanheim, Germany.

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

Wahyu, 2010, *Proses Pengolahan Air*, www.zeofilt.wordpress.com, Indonesia

Wallas. S.M., 1988, *Chemical Process Equipment*, Butterworth Publishers, Stoneham USA.

Yaws, C.L., 1999, *Chemical Properties Handbook*, Mc Graw Hill Book Co., New York

US. Patent 5,684,207

<http://Dhgate.com/>

www.matches.com, Accesed November 2011

[www.icis.com.](http://www.icis.com), Accesed Maret 2011

<http://wikipedia.com/>