

**PRARANCANGAN PABRIK VINIL ASETAT DARI ETILEN, ASAM  
ASETAT DAN OKSIGEN DENGAN PROSES OKSIDASI DENGAN  
KAPASITAS 36.000 TON/TAHUN**

**Tugas Khusus**

***Reactor (RE-201)***

**( SKRIPSI )**

**Oleh**

**DWINTA MAHRAN ANGRAINI**

**(2115041022)**



**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2026**

**ABSTRAK**  
**PRARANCANGAN PABRIK VINIL ASETAT DARI ETILEN,**  
**ASAM ASETAT DAN OKSIGEN DENGAN PROSES OKSIDASI**  
**DENGAN KAPASITAS 36.000 TON/TAHUN**  
**(Perancangan Reactor (RE-201))**

Oleh:  
 Dwinta Mahran Angraini

Pabrik Vinil Asetat ( $C_4H_6O_2$ ) berbahan baku Etilen ( $C_2H_4$ ), Asam Asetat ( $C_2H_4O_2$ ), dan Oksigen ( $O_2$ ) dengan proses oksidasi menggunakan katalis Palladium (Pd/Au), direncanakan didirikan di Cilegon, Banten. Pendirian pabrik berdasarkan atas pertimbangan ketersedian bahan baku, sarana transportasi yang memadai, kebutuhan utilitas yang mencukupi, tenaga kerja yang mudah didapatkan dan kondisi lingkungan.

Pabrik direncanakan memproduksi Vinil Asetat sebanyak 36.000 ton/tahun, dengan waktu operasi 24 jam/hari, 330 hari/tahun. Bahan baku yang digunakan berupa Etilen, Asam Asetat, dan Oksigen.

Penyediaan kebutuhan utilitas pabrik Vinil Asetat terdiri dari unit pengadaan air, udara, instrument, *steam*, listrik dan limbah. Bentuk perusahaan adalah Perseroan Terbatas (PT) menggunakan struktur organisasi *line* dan staff dengan jumlah karyawan 136 orang.

Dari analisis ekonomi diperoleh:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp. 957.440.514.510
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp. 168.960.090.796
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp. 1.126.400.605.306
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 45,34%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 20,91%
<i>Pay Out Time</i>	(POT) <sub>a</sub>	= 3,3 tahun
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) <sub>b</sub>	= 22,67%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) <sub>a</sub>	= 21,57%
<i>Discounted Cash Flow</i>	(DCF)	= 25,02%

Berdasarkan ringkasan di atas, pendirian Pabrik Vinil Asetat ini layak untuk dikaji lebih lanjut, karena menguntungkan dan memiliki prospek yang baik di masa mendatang.

**Kata kunci :** *Vinil Asetat, Etilen, Asam Asetat, Proses oksidasi, Katalis Pd/Au*

## ***ABSTRACT***

### **PRE-DESIGN OF VINYL ACETATE PLANT FROM ETHYLENE, ACETIC ACID, AND OXYGEN THROUGH OXIDATION PROCESS WITH A PRODUCTION CAPACITY OF 36.000 TONS/YEAR (Design of Reactor Fixed Bed Multitube (RE-201))**

Written By:  
Dwinta Mahran Angraini

Vinyl Acetate is made from ethylene, acetic acid, and oxygen through a oxidation process using a Palladium (Pd/Au) catalyst, planned to be built in Cilegon, Banten. Establishment of factories based on consideration of availability of raw materials, adequate means of transportation, sufficient utility supplies, easily accessible labor and environmental conditions.

The plant is planned to produce Vinyl Acetate of 36.000 tons/year, with operating time 24 hours/day, 330 day/year. The raw material used are ethylene, acetic acid, and oxygen.

The utility requirements for the Vinyl Acetate plant include units for water supply, instrument air, steam, electricity, and waste treatment. The company is structured as a Limited Liability Company (PT) with a line and staff organizational structure.

From economic analysis, it is obtained that:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp. 957.440.514.510
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp. 168.960.090.796
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp. 1.126.400.605.306
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 45,34%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 20,91%
<i>Pay Out Time</i>	(POT) <sub>a</sub>	= 3,3 years
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) <sub>b</sub>	= 22,67%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) <sub>a</sub>	= 21,57%
<i>Discounted Cash Flow</i>	(DCF)	= 25,02%

Based on the summary above, the establishment of this Vinyl Acetate plant is feasible for further development as it is profitable and has promising future prospects.

**Keywords:** *Vinyl acetate, Ethylene, Acetic acid, Pd/Au Catalyst*

Judul Skripsi

**PRARANCANGAN PABRIK VINIL ASETAT DARI  
ETILEN, ASAM ASETAT DAN OKSIGEN DENGAN  
PROSES OKSIDASI DENGAN KAPASITAS 36.000  
TON/TAHUN**

Nama Mahasiswa

: *Dwinta Mahran Angraini*

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2115041022

Program Studi

: Teknik Kimia

Fakultas

: Teknik



2. Ketua Jurusan Teknik Kimia

*[Signature]*  
**Yuli Darni, S.T., M.T.**  
NIP. 197407122000032001

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

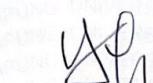
Ketua

: Taharuddin, S.T., M.Sc

  
.....  
630

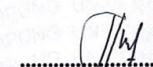
Sekretaris

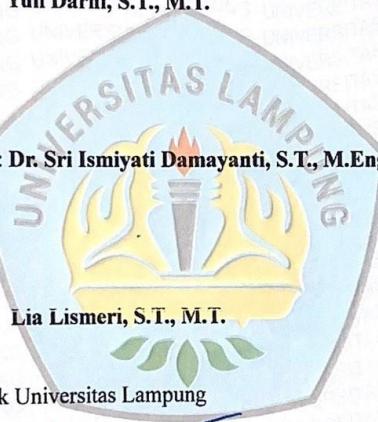
: Yuli Darni, S.T., M.T.

  
.....

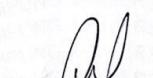
Penguji

Bukan Pembimbing : Dr. Sri Ismiyati Damayanti, S.T., M.Eng

  
.....

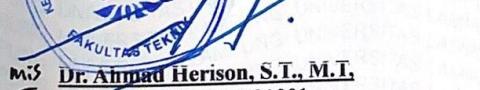


Lia Lismeri, S.T., M.T.

  
.....

2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



  
M.S. Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T.  
NIP. 196910302000031001

  
.....

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 06 Januari 2026**

### LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan sebenarnya bahwa:

1. Skripsi yang berjudul Prarancangan pabrik vinil asetat menggunakan proses oksidasi dengan kapasitas 36.000 Ton/Tahun berupa karya ilmiah yang tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain atau yang disebut dengan plagiarisme. Kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana diterbitkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pada skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.
2. Hak intelektual atas karya ilmiah tersebut diserahkan sepenuhnya kepada para dosen peneliti tersebut dan Universitas Lampung.

Atas pernyataan di atas, jika di kemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung sanksi yang diberikan kepada saya dan saya sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 26 Januari 2026

Pembuat Pernyataan



Dwinta Mahran Angraini

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Gedong Tataan pada tanggal 07 Agustus 2003. Penulis merupakan anak Kedua dari ibu Mazyati Zen dan bapak Khotni Halim. Penulis merupakan tiga bersaudara dengan memiliki satu orang kakak bernama Nurma Yunida dan satu orang adik bernama Ahmad Fadillah. Penulis memulai pendidikan di TK PGRI Way Awi dan melanjutkan pendidikan sekolah dasar di SDN 1 Kuta Dalom pada tahun 2009. Pada tahun 2017, penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di MTs N 1 Pesawaran dan melanjutkan Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Gedong Tataan yang diselesaikan pada tahun 2021.

Pada tahun 2021, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN 2021. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam organisasi sebagai staff Departemen Riset Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (Himatemia) FT Unila periode 2022 dan 2023 dan menjadi Bendahara Umum UKM Fotografi Zoom Universitas Lampung periode 2024.

Pada Januari 2024, penulis mengikuti Kerja Praktik di PT. Indo cement Tunggal Prakarsa Tbk dengan Tugas Khusus “Evaluasi Kinerja *Vertical Roller Mill* Pada Unit *Coal Mill*”. Penulis juga melakukan penelitian yang berjudul “Pembuatan Pupuk Organik Granul (POG) dari Kompos Berbahan Baku *Sludge* Luaran Digester Biogas-Jerami Padi Dengan Perekat Molases” di Laboratorium Teknik Reaksi dan Separasi Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Selanjutnya pada Junu – Agustus 2024, penulis mengikuti Kuliah Kerja Nyata di Desa Catur Swako, Kecamatan Bumi Agung, Lampung Timur.

## PERSEMPAHAN

### **Allah SWT**

*Alhamdulillahhirabbilalamin, Segala Puji dan Syukur atas Karunia-Mu. Dengan Segala Kerendahan Hati, Penulis memohon Ridho Illahi Robbi serta syafaat nabi Muhammad SAW. Karya kecil ini Kupersembahkan dengan penuh cinta untuk orang-orang yang aku sayangi*

### **Ayah dan Ibuku**

*Dengan penuh rasa hormat dan terima kasih Pada Kedua orangtuaku, Bapak KHOTNI HALIM dan Ibu MAZYATI ZEN yang telah memberikan cinta, dukungan, doa yang tiada henti dan pengorbanan yang tak terhingga. Ini hanyalah setitik balasan yang tidak bisa dibandingkan dengan pengorbanan dan kasih sayang kalian selama ini. Terima kasih telah memberikan saya kekuatan dan semangat untuk menyelesaikan studi ini*

### **Dosen Teknik Kimia**

*Sebagai hormatku, yang telah memberikan ilmu dan petunjuk selama proses belajar mengajar ini. Tidak lelah untuk memberi ilmu serta membimbing hingga terselesaiya skripsi ini.*

## **Diri Saya Sendiri**

*Skripsi ini saya persembahkan untuk diri saya sendiri, sebagai bukti telah berjuang dengan penuh kesabaran dan keteguhan hati dalam menjalani setiap proses menyelesaikan studi ini. Terima kasih karena telah bertahan di tengah kesulitan, kebingungan, dan keraguan, serta tetap berusaha melangkah meskipun sering kali ingin menyerah.*

## **Kakak dan Adikku,**

*Kepada saudara sedarah NURMA YUNIDA dan AHMAD FADILLAH, Terimakasi atas kebersamaan, pengertian, doa dan dorongan yang diberikan. Setiap nasihat, canda dan dukungan sederhana memiliki arti besar dalam perjalanan penulis hingga sampai pada tahap ini.*

## **Sahabat-sahabatku,**

*Terima kasih atas dukungan, doa, bantuan dan ketulusannya selama ini.*

*Dan tak lupa kupersembahkan kepada Almamaterku tercinta, semoga kelak berguna dikemudian hari*

## MOTTO

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

*(QS. Al-Baqarah: 286)*

*“Selalu ada harga dalam sebuah proses. Nikmati saja Lelah-lelah itu. Lebarkan lagi rasa sabar itu. Semua yang kau investasikan untuk menjadikan dirimu serupa yang kau impikan, mungkin tidak akan selalu berjalan lancar.*

*Tapi, gelombang-gelombang itu yang nanti bisa kau ceritan”*

*(Boy Candra)*

*“Hadapi semuanya langsung di muka, apapun yang terjadi tidak apa, setiap hari ku bersyukur melihatmu berselimut harapan, berbekal cerita!!!”*

*-Hindia (Baskara Putra)*

*“You’re on your own, kid - you always have been”*

*(Taylor Swift)*

*“Ada doa yang menunggu di rumah, ada harapan yang disematkan pada setiap langkahmu. Jangan patahkan perngorbanan orang tua; rendam keluhmu, sebab letihmu tak sebanding dengan perjuangan mereka menghidupi dan membesarakanmu”*

## SANWACANA

Atas berkat rahmat hidayat Allah SWT. dengan mengucapkan puji syukur Alhamdulillah, penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Prarancangan Pabrik Vinil Asetat dari Etilen, Asam Asetat dan Oksigen dengan Proses Oksidasi dengan Kapasitas 36.000 Ton/Tahun.” sebagai salah satu syarat dalam mendapatkan gelar Sarjana Teknik Kimia di Universitas Lampung.

Pada penyusunan laporan, penulis mendapatkan banyak bantuan, dukungan, bimbingan, dan pengarahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Ayah Khotni Halim dan Ibu Mazyati Zen, penulis menyampaikan terima kasih atas segala doa, kasih sayang, kesabaran dan pengorbanan yang selalu diberikan. Terima kasih atas kepercayaan, semangat, dan nasihat yang selalu menguatkan penulis, baik dalam keadaan mudah maupun sulit. Doa yang tidak pernah terputus serta ketulusan cinta Ayah dan Ibu menjadi kekuatan terbesar bagi penulis untuk terus bertahan dan menyelesaikan skripsi ini. Meskipun Ayah dan Ibu tidak sempat merasakan pendidikan hingga bangku perkuliahan, namun dengan penuh ketulusan mampu mendidik penulis, memberikan semangat, motivasi, kasih sayang, serta dukungan moral dan material hingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan sarjana. Terima kasih atas segala hal yang ayah dan ibu berikan yang tak terhitung jumlahnya, *Nyawaku nyala karnamu.*
2. Bapak Taharuddin, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing pertama tugas akhir. Terimakasih sudah meluangkan waktunya dalam memberikan arahan, bimbingan, dan dukungannya dalam proses penyelesaian skripsi. Diucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas pengetahuan, ide, inspirasi, dan petunjuk yang sangat berharga, khususnya dalam proses penyelesaian skripsi ini. Saya juga ingin mengucapkan terima kasih atas kebaikan hati, pemahaman, dan kesabaran yang telah diberikan selama proses penulisan ini. Saya berharap semua kebaikan yang telah bapak berikan akan selalu membawa berkah bagi bapak dan seluruh keluarga.

3. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing kedua tugas akhir sekaligus Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Penulis mengucapkan terima kasih atas kesediaan Ibu dalam meluangkan waktu untuk memberikan arahan, bimbingan, serta dukungan selama proses penyusunan skripsi ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya atas pengetahuan, ide, inspirasi, serta petunjuk yang sangat berharga, khususnya dalam penyelesaian skripsi ini. Semoga segala kebaikan, perhatian, dan kesabaran yang telah ibu berikan senantiasa mendapatkan balasan dan keberkahan bagi ibu dan keluarga.
4. Ibu Dr. Sri Ismiyati Damayanti, S.T., M. Eng. selaku dosen penguji tugas akhir. Penulis mengucapkan terima kasih atas waktu, perhatian, serta masukan, kritik dan saran yang telah diberikan. Arahan dan evaluasi yang disampaikan dengan penuh ketelitian dan tanggung jawab sangat membantu penulis dalam memperbaiki serta menyempurnakan skripsi ini. Semoga segala kebaikan ibu akan selalu membawa keberkahan bagi bapak dan keluarga.
5. Ibu Lia Lismeri, S.T., M.T selaku dosen penguji tugas akhir. Penulis mengucapkan terima kasih atas waktu, perhatian, serta masukan, kritik dan saran yang telah diberikan. Arahan dan evaluasi yang disampaikan dengan penuh ketelitian dan tanggung jawab sangat membantu penulis dalam memperbaiki serta menyempurnakan skripsi ini. Semoga segala kebaikan ibu akan selalu membawa keberkahan bagi bapak dan keluarga.
6. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Kimia yang sudah memberikan ilmu dan wawasan yang bermanfaat dalam proses pembelajaran dan bekal masa depan yang akan selalu bermanfaat.
7. Ucapan terima kasih penulis persembahkan kepada kakak dan adik tercinta Nurma Yunida dan Ahmad Fadillah atas segala doa, perhatian, dukungan dan semangat yang senantiasa diberikan selama perkuliahan ini. Kehadiran kakak dan adik menjadi sumber motivasi dan kekuatan bagi penulis untuk terus bertahan dan menyelesaikan setiap Langkah dengan penuh kesanggupan. Terima kasih atas nasihat, pengertian serta dukungan moral yang selalu menguatkan penulis dalam berbagai kondisi, baik saat merasa Lelah maupun ketika menghadapi

- kesulitan. Setiap bentuk perhatian yang diberikan, sekecil apa pun, memiliki arti besar dalam perjalanan penulis hingga sampai pada tahap ini.
8. Mutiara Fischa Alyshia sebagai partner penyusunan Tugas Akhir. Penulis mengucapkan terima kasih telah menjadi rekan berdiskusi, berbagi pemikiran, saling memberikan dukungan, serta selalu bersama dan melengkapi terima kasih atas ketersedian untuk saling berbagi waktu, tenaga, dan ide serta semangat dan pengertian yang diberikan di tengah berbagai tantangan yang dihadapi. Semoga segala usaha, kebersamaan, dan kontribusi yang telah diberikan menjadi amal kebaikan dan membawa manfaat di masa yang akan datang. Penulis berharap kerja sama dan silahturami yang telah terjalin dapat terus terjaga dengan baik.
  9. Keluarga Cemara “Rahma, Dyta, Thia, Nabilla, Sahara, Eghi, Zaky, Thirta, Aldi, Gusti, dan Andyka” sahabat seperjuangan di Angkatan 2021 Teknik Kimia. Penulis ucapkan terima kasih selalu menemani penulis serta memberikan bantuan, dukungan, semangat, dan saran selama proses penelitian hingga penyusunan Tugas Akhir yang senantiasa hadir dalam berbagai keadaan, baik saat penulis merasa lelah maupun saat berbagi kebahagiaan. Meskipun setelah ini menjalani kehidupan masing-masing yang berbeda, dan kesibukan yang berbeda terima kasih telah menjadi rumah kedua buat saya dalam menjalani kehidupan di Teknik Kimia. Semoga pertemanan ini silaturahmi yang telah terjalin selalu terjaga selamanya.
  10. Semua pihak dan kakak-kakak Teknik Kimia yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini serta teman-teman Teknik Kimia angkatan 21 yang telah memberikan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
  11. Fathan Gaffi Abiputra dan Muhammad Azkha Rafandra ponakan aunty, terima kasih keceriaan, canda, dan kehadirannya telah menjadi penghibur serta penyemangat di tengah proses penyusunan skripsi ini. Tawa dan keceriaan yang diberikan mampu mengurangi lelah dan penat penulis, sehingga membantu menjaga semangat untuk terus menyelesaikan skripsi ini.
  12. Terakhir, saya berterima kasih kepada sosok gadis yang selama ini diam-diam berjuang tanpa henti, perempuan sederhana yang memiliki impian besar.

Terimakasi kepada penulis yaitu saya sendiri, Dwinta Mahran Angraini, anak perempuan kedua dan harapan orang tuanya. Terima kasih telah bertahan sejauh ini, dan terus menjalani tantangan semesta hadirkan. Saya bangga setiap Langkah kecil yang saya ambil, atas pencapaian yang saya dapatkan sampai saat ini. Berusaha keras untuk menyakinkan dan menguatkan diri sendiri bahwa kamu bisa menyelesaikan studi ini sampai selesai. Berbahagialah selalu dengan dirimu. Jangan sia-siakan usaha doa-doa yang selalu kamu langitkan. Allah sudah merencanakan dan memberikan porsi terbaik untuk perjalan hidupmu.

Penulis menyadari bahwa laporan masih jauh dari kata sempurna, sehingga saran dan masukan membangun diperlukan oleh penulis agar laporan sempurna di kemudian hari. Akhir kata, penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan berguna.

Bandar Lampung, 26 Janauari 2026

Penulis,

**DWINTA MAHRAN ANGRAINI**

## DAFTAR ISI

COVER .....	i
ABSTRAK .....	ii
ABSTRACT .....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN .....	iv <u>i</u>
RIWAYAT HIDUP .....	vii
PERSEMBAHAN .....	viii
MOTTO.....	x
SANWACANA.....	xi
DAFTAR ISI .....	xiv
DAFTAR TABEL .....	xviii
DAFTAR GAMBAR .....	xxi
BAB I .....	1
PENDAHULUAN.....	1
11.1Latar Belakang .....	1
11.2Kegunaan Produk .....	2
11.3Ketersediaan Bahan Baku .....	3
11.4Analisa Pasar .....	4
11.5Kapasitas Pabrik .....	7
11.6Penetapan Kapasitas Perancangan .....	9
11.7Penentuan Lokasi Pabrik .....	11
11.7.1 .....	Fakto
r Primer .....	11
11.7.2 .....	Fakto
r sekunder .....	13
BAB II.....	15
DESKRIPSI PROSES .....	15
2.1 Proses-proses pembuatan Vinil asetat .....	15
2.2 Tinjauan Ekonomi .....	17

2.3 Tinjauan Termodinamika .....	23
2.4 Tinjauan Kinetika .....	28
2.5 Pemilihan Proses .....	31
2.6 Uraian Singkat.....	34
BAB III.....	38
SPESIFIKASI BAHAN.....	38
3.1 Bahan Baku Pembuatan Vinil Asetat .....	38
3.2 Produk yang dihasilkan .....	39
3.3 Kesehatan dan Keselamatan Para Pekerja.....	40
BAB IV .....	43
NERACA MASSA DAN PANAS .....	43
4.1 Neraca Massa .....	43
4.2 Neraca Energi .....	60
BAB V.....	80
SPESIFIKASI ALAT .....	80
5.1 Tangki Etilen (ST-101).....	80
5.2 Tangki Asam asetat (ST-102).....	81
5.3 Tangki Vinil asetat (ST-301).....	82
5.4 Compressor (CM-101).....	83
5.5 Compressor (CM-102).....	83
5.6 Cooler (CO-101).....	84
5.7 Vaporizer (VP-101).....	85
5.8 Heater (HE-102).....	86
5.9 Vaporizer (VP-102).....	87
5.10 Cooler (CO-102).....	88
5.11 Reactor (RE-201).....	89
5.12 Condensor Parsial (CP-201).....	90
5.13 <i>Distillation Column</i> (DC-301).....	91
5.14 <i>Condensor</i> (CD-301).....	92
5.15 <i>Accumulator</i> (AC-301).....	93

5.16 Reboiler (RB-301).....	94
5.17 <i>Distillation Column</i> (DC-302).....	95
5.18 <i>Condensor</i> (CD-302).....	96
5.19 <i>Accumulator</i> (AC-302).....	97
5.20 Reboiler (RB-302).....	98
5.21 <i>Distillation Column</i> (DC-303).....	99
5.22 <i>Condensor</i> (CD-303).....	100
5.23 <i>Accumulator</i> (AC-303).....	101
5.24 Reboiler (RB-303).....	102
BAB VI.....	103
UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH .....	103
6.1 Sistem Utilitas .....	103
6.1.1 Unit Penyediaan Air dan Pengolahan Air .....	103
6.1.2 Unit Penyediaan Steam.....	116
6.1.3 Unit Penyediaan Udara Tekan.....	118
6.2 Pengolahan Limbah.....	118
6.3 Laboratorium .....	119
6.4 Instrumentasi dan Pengendalian Proses .....	122
6.5 Sistem Pengolahan Limbah .....	124
BAB VII .....	129
TATA LETAK DAN LOKASI PABRIK .....	129
7.1 Lokasi Pabrik.....	129
7.2 Tata Letak Pabrik .....	132
7.3 Estimasi Area Pabrik .....	134
7.4 Tata Letak Peralatan Proses .....	135
BAB VIII.....	139
SISTEM MANAJEMEN DAN OPERASI PERUSAHAAN.....	139
8.1 Bentuk Perusahaan .....	139
8.2 Struktur Organisme Perusahaan .....	141
8.3 Tugas dan Wewenang.....	144

8.4 Status Karyawan dan Sistem Penggajian .....	151
8.5 Pembagian Jam Kerja Karyawan.....	153
8.6 Jumlah Tenaga Kerja.....	155
8.7 Kesejahteraan Karyawan.....	157
8.8 Manajemen Produksi.....	162
8.9 HAZOP ( <i>Hazard and Operability Study</i> ).....	165
<b>BAB IX INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI.....</b>	<b>166</b>
9.1 Investasi.....	166
9.2 Evaluasi Ekonomi.....	170
9.3. Angsuran Pinjaman .....	173
9.4 Discounted Cash Flow (DCF) .....	173
<b>BAB X.....</b>	<b>175</b>
<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>175</b>
10.1 Kesimpulan.....	175
10.2 Saran.....	176
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>177</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Penggunaan Vinil asetat untuk PT industri tekstil .....	5
Tabel 1. 2 Penggunaan Vinil asetat untuk industri perekat.....	6
Tabel 1. 3 Penggunaan Vinil asetat untuk industri cat .....	7
Tabel 1. 4 Data impor <i>vinyl acetate</i> Indonesia .....	8
Tabel 1. 5 Kapasitas Pabrik yang telah ada.....	9
Tabel 2. 1 Harga bahan baku dan produk.....	17
Tabel 2. 2 Harga $\Delta H_{fo}$ dan $\Delta G_{fo}$ masing-masing komponen.....	23
Tabel 2. 3 Harga $\Delta H_{fo}$ dan $\Delta G_{fo}$ masing-masing komponen.....	25
Tabel 2. 4 Data kinetika untuk Vinil asetat .....	30
Tabel 2. 5 Pemilihan proses pembuatan Vinil asetat.....	32
Tabel 4. 1 Neraca massa MS-101 .....	44
Tabel 4. 2 Neraca massa VP-101.....	45
Tabel 4. 3 Neraca massa VP-102.....	46
Tabel 4. 4 Neraca massa MP-101 .....	46
Tabel 4. 5 Neraca massa RE-201 .....	48
Tabel 4. 6 Neraca massa CP-201.....	49
Tabel 4. 7 Neraca massa DC-301 .....	50
Tabel 4. 8 Neraca massa CD-301 .....	51
Tabel 4. 9 Neraca massa AC-301 .....	52
Tabel 4. 10 Neraca massa RB-301 .....	53
Tabel 4. 11 Neraca massa DC-302 .....	54
Tabel 4. 12 Neraca massa CD-302 .....	55
Tabel 4. 13 Neraca massa AC-302 .....	55
Tabel 4. 14 Neraca massa RB-302 .....	56
Tabel 4. 15 Neraca massa DC-303 .....	57
Tabel 4. 16 Neraca massa CD-303 .....	58
Tabel 4. 17 Neraca massa AC-303 .....	59
Tabel 4. 18 Neraca massa RB-303 .....	60
Tabel 4. 19 <i>Heat capacity of gas compounds</i> .....	63
Tabel 4. 20 <i>Heat capacity of liquid compounds</i> .....	63
Tabel 4. 21 <i>Enthalpy of vaporization</i> .....	64
Tabel 4. 22 Berat molekul tiap komponen .....	64
Tabel 4. 23 Neraca energi CM-101 .....	65
Tabel 4. 24 Neraca energi MS-101.....	66
Tabel 4. 25 Neraca energi CM-102 .....	67
Tabel 4. 26 Neraca energi CO-101 .....	68

Tabel 4. 27 Neraca energi VP-101 .....	69
Tabel 4. 28 Neraca energi HE-102 .....	70
Tabel 4. 29 Neraca energi VP-102 .....	71
Tabel 4. 30 Neraca energi CO-102 .....	72
Tabel 4. 31 Neraca energi RE-201 .....	73
Tabel 4. 32 Neraca energi CP-201.....	74
Tabel 4. 33 Neraca energi DC-301 .....	76
Tabel 4. 34 Neraca energi DC-302 .....	78
Tabel 4. 35 Neraca energi DC-303 .....	79
Tabel 5. 1 <i>Specification sheet ethylene storage tank</i> .....	80
Tabel 5. 2 <i>Specification sheet acetic acid storage tank</i> .....	81
Tabel 5. 3 <i>Specification sheet vinyl acetate storage tank</i> .....	82
Tabel 5. 4 <i>Specification sheet compressor</i> .....	83
Tabel 5. 5 <i>Specification sheet compressor</i> .....	83
Tabel 5. 6 <i>Specification sheet cooler</i> .....	84
Tabel 5. 7 <i>Specification sheet vaporizer</i> .....	85
Tabel 5. 8 <i>Specification sheet Heater</i> .....	86
Tabel 5. 9 <i>Specification sheet</i> .....	87
Tabel 5. 10 <i>Specification sheet cooler</i> .....	88
Tabel 5. 11 <i>Specification sheet reactor</i> .....	89
Tabel 5. 12 <i>Specification sheet condensor parsial</i> .....	90
Tabel 5. 13 <i>Specification sheet distillation column</i> .....	91
Tabel 5. 14 <i>Specification sheet condensor</i> .....	92
Tabel 5. 15 <i>Specification sheet accumulator</i> .....	93
Tabel 5. 16 <i>Specification sheet reboiler</i> .....	94
Tabel 5. 17 <i>Specification sheet distillation column</i> .....	95
Tabel 5. 18 <i>Specification sheet condensor</i> .....	96
Tabel 5. 19 <i>Specification sheet accumulator</i> .....	97
Tabel 5. 20 <i>Specification sheet reboiler</i> .....	98
Tabel 5. 21 <i>Specification sheet distillation column</i> .....	99
Tabel 5. 22 <i>Specification sheet condensor</i> .....	100
Tabel 5. 23 <i>Specification sheet accumulator</i> .....	101
Tabel 5. 24 <i>Specification sheet reboiler</i> .....	102
Tabel 6. 1 Kebutuhan air umum.....	104
Tabel 6. 2 Kebutuhan air pendingin .....	105
Tabel 6. 3 Kebutuhan air umpan boiler .....	108
Tabel 6. 4 Kebutuhan air pabrik .....	110
Tabel 6. 5 Spesifikasi limbah cair .....	119
Tabel 6. 6 Tingkatan kebutuhan informasi dan sistem pengendalian.....	124

Tabel 6. 7 Pengendalian variabel utama proses.....	124
Tabel 6. 8 Spesifikasi Limbah.....	126
Tabel 7. 1 Perincian luas area Pabrik Vinil asetat .....	134
Tabel 8. 1 Daftar gaji karyawan .....	152
Tabel 8. 2 Jadwal kerja masing-masing regu .....	154
Tabel 8. 3 Jumlah operator berdasarkan jenis alat.....	156
Tabel 8. 4 Penggolongan jumlah tenaga kerja.....	156
Tabel 9. 1 <i>Fixed Capital Investment</i> .....	167
Tabel 9. 2 <i>Manufacturing Cost</i> .....	168
Tabel 9. 3 Biaya Administratif .....	169
Tabel 9. 5 <i>Acceptable Pay Out Time</i> untuk Tingkat Resiko Pabrik.....	172
Tabel 9. 6 Hasil evaluasi atau uji kelayakan ekonomi pabrik vinil asetat.....	174

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Block flow diagram</i> proses oksidasi.....	37
Gambar 4. 1 MS-101 .....	43
Gambar 4. 2 VP-101.....	44
Gambar 4. 3 VP-102.....	45
Gambar 4. 4 MP-101 .....	46
Gambar 4. 5 RE-201.....	47
Gambar 4. 6 CP-201 .....	48
Gambar 4. 7 DC-301 .....	49
Gambar 4. 8 CD-301 .....	50
Gambar 4. 9 AC-301 .....	51
Gambar 4. 10 RB-301 .....	52
Gambar 4. 11 DC-302 .....	53
Gambar 4. 12 CD-302 .....	54
Gambar 4. 13 AC-302 .....	55
Gambar 4. 14 RB-302 .....	56
Gambar 4. 15 DC-303 .....	57
Gambar 4. 16 CD-303 .....	58
Gambar 4. 17 AC-303 .....	59
Gambar 4. 18 RB-303 .....	59
Gambar 4. 19 Jalur proses untuk menghitung entalpi reaksi.....	62
Gambar 4. 20 CM-101.....	65
Gambar 4. 21 MS-101 .....	66
Gambar 4. 22 CM-102.....	67
Gambar 4. 23 CO-101 .....	68
Gambar 4. 24 VP-101.....	69
Gambar 4. 25 HE-102.....	70
Gambar 4. 26 VP-102.....	71
Gambar 4. 27 CO-102 .....	72
Gambar 4. 28 RE-201.....	73
Gambar 4. 29 CP-201 .....	74
Gambar 4. 30 DC-301 .....	75
Gambar 4. 31 DC-302 .....	77
Gambar 4. 32 DC-303 .....	78
Gambar 6. 1 <i>Cooling tower</i> .....	107
Gambar 6. 2 Diagram <i>cooling water system</i> .....	108
Gambar 6. 3 <i>Daerator</i> .....	110
Gambar 6. 4 Diagram alir pengolahan air .....	111

Gambar 7. 1 Peta lokasi pabrik .....	135
Gambar 7. 2 Tata letak pabrik Vinil asetat.....	138
Gambar 7. 3 Tata letak unit proses .....	138
Gambar 8. 1 Struktur organisasi perusahaan .....	143
Gambar 9. 1 Grafik analisa ekonomi.....	173
Gambar 9. 2 Kurva <i>cummulative cash flow</i> terhadap umur pabrik .....	174

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Pengembangan sektor industri di Indonesia, khususnya di bidang industri kimia harus ditingkatkan karena Indonesia masih sangat bergantung pada impor bahan kimia daripada memproduksi sendiri untuk memenuhi kebutuhan domestik atau ekspor. Tingginya angka impor bahan kimia ini menyebabkan pengeluaran negara yang semakin membesar. Oleh sebab itu, diperlukan upaya untuk memenuhi kebutuhan produk kimia di dalam negeri sekaligus mengurangi ketergantungan pada impor. Selain itu, tujuan dari pendirian industri kimia di Indonesia adalah untuk mendukung peningkatan ekspor, salah satunya melalui pengembangan industri vinil asetat.

Vinil asetat adalah senyawa kimia dengan formula molekul  $C_4H_6O_2$  yang berfungsi sebagai bahan antara (*intermediate*) yang penting dalam berbagai proses industri. Senyawa ini menjadi bahan baku utama dalam pembuatan produk seperti polivinil asetat, polivinil alkohol, dan polivinil asetat kopolimer. Produk berbasis polimer dari vinil asetat memiliki aplikasi luas, termasuk dalam industri cat, lem, perekat, film, pelapis, tinta, pelapis kertas dan tekstil. Adapun kopolimer vinil asetat, seperti kombinasi dengan *acrylonitrile*, yang sering digunakan dalam pembuatan serat akrilik untuk kebutuhan industri tekstil.

Sekitar 47% dari total produksi VAM digunakan untuk membuat polivinil asetat (PVA), yang berperan penting dalam cat, perekat, dan berbagai jenis pelapis lainnya. Sebanyak 30% VAM diolah menjadi polivinil alkohol (PVOH), yang dimanfaatkan dalam pembuatan film pengemasan serta laminasi kaca. Sisa volume VAM digunakan dalam produksi polimer Etilena Vinil Asetat (EVA), resin penghalang Etilena Vinil Alkohol (EVOH), dan Polivinil Butirat (PVB). Selain

itu, EVA dan EVOH membuka peluang baru dalam pengembangan kopolimer untuk perekat khusus serta film kemasan (ICIS, 2021).

Kebutuhan vinil asetat terus meningkat seiring dengan pertumbuhan industri yang menggunakan sebagai bahan baku utama. Pertumbuhan sektor konstruksi, otomotif, dan tekstil akan mendorong permintaan produk-produk berbasis polimer yang pada akhirnya meningkatkan kebutuhan vinil asetat. Selain itu, perkembangan teknologi manufaktur yang lebih efisien dan ramah lingkungan membuka peluang untuk mendirikan pabrik vinil asetat dengan kapasitas besar untuk memenuhi permintaan domestik dan ekspor. Pendirian pabrik vinil asetat di Indonesia memiliki potensi strategis untuk mengurangi ketergantungan pada impor. Dengan ketersediaan sumber daya alam yang melimpah, seperti etilen dan asam asetat yang merupakan bahan baku utama dalam proses produksi vinil asetat, Indonesia memiliki peluang besar untuk meningkatkan kemandirian industri kimia dan memperkuat daya saing di pasar global.

## 1.2 Kegunaan Produk

Vinil asetat pertama kali ditemukan oleh Fritz Klatte pada tahun 1912 sebagai produk sampingan dari reaksi antara asam asetat dan asetilena. Penggunaan vinil asetat sebagai bahan penting dalam industri mulai berkembang pada tahun 1925 dan semakin populer setelah tahun 1950. Pada tahun 1967, proses etilen fase uap mulai dikembangkan sebagai salah satu metode produksi vinil asetat. Dalam proses ini, etilen dioksidasi menggunakan katalis palladium (Pd/Au) untuk menghasilkan asam asetat, dengan tingkat pengotor yang sangat rendah, yaitu kurang dari 1%. Metode ini menjadi dominan, dan pada tahun 1981, sekitar 92% produksi vinil asetat di Amerika Serikat menggunakan proses ini. Di beberapa negara seperti Jepang, Jerman Barat, dan Inggris, proses ini dimodifikasi dengan menggunakan berbagai katalis lain, termasuk palladium atau garamnya, serta garam rhodium, emas, platinum, ruthenium, vanadium, dan iridium, untuk meningkatkan efisiensi reaksi.

Vinil asetat ( $C_4H_6O_2$ ) menjadi komponen utama dalam pembuatan polivinil asetat, kopolimer polivinil asetat, dan polivinil alkohol. Berbagai produk polimer berbasis vinil asetat banyak dimanfaatkan dalam industri cat, perekat, pelapis, lem, film, tinta, tekstil, dan kertas. Selain itu, kopolimer vinil asetat, seperti yang dikombinasikan dengan akrilonitril, berperan dalam pembuatan serat akrilik. Serat tersebut kemudian digunakan secara luas dalam industri tekstil.

### 1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku merupakan salah satu aspek utama dalam perancangan pabrik karena berpengaruh langsung terhadap kelangsungan dan kontinuitas operasi produksi. Bahan baku harus tersedia dalam jumlah yang cukup dan secara terus-menerus agar proses dapat dijalankan sesuai dengan kapasitas yang direncanakan. Pada proses produksi vinil asetat, bahan baku utama yang digunakan meliputi etilen, asam asetat, dan oksigen. Ketersediaan masing-masing bahan baku tersebut dijelaskan sebagai berikut.

a. Etilen

Kebutuhan etilen sebagai bahan baku utama pada proses pembuatan vinil asetat dipenuhi dari PT Chandra Asri Petrochemical Tbk yang berlokasi di Cilegon, Banten. Perusahaan ini mengoperasikan unit *naphtha cracker* dengan kapasitas produksi etilen sekitar 860.000 ton/tahun, sehingga kapasitas tersebut mencukupi untuk memenuhi kebutuhan etilen pada pabrik yang direncanakan. Selain itu, ketersediaan etilen di dalam negeri juga didukung oleh PT Lotte Chemical Indonesia di Cilegon, Banten, yang mulai beroperasi secara komersial pada tahun 2025 dengan kapasitas produksi etilen sebesar 1.000.000 ton/tahun.

b. Asam asetat

Kebutuhan asam asetat pada proses produksi vinil asetat dipenuhi dari PT Indo Acidatama Chemical Industry yang berlokasi di Karanganyar, Jawa Tengah. Perusahaan ini memiliki kapasitas produksi asam asetat sebesar 56.600 ton/tahun dan merupakan produsen asam asetat komersial di dalam

negeri. Namun, karena kapasitas produksi tersebut terbatas dan juga digunakan untuk memenuhi kebutuhan industri kimia lainnya, maka untuk menjamin kontinuitas pasokan bahan baku diperlukan sumber asam asetat tambahan sebagai cadangan. Salah satu alternatif pasokan luar negeri adalah BP PETRONAS Acetlys Sdn. Bhd. yang berlokasi di Kertih, Terengganu, Malaysia, dengan kapasitas produksi sekitar 500.000 ton/tahun.

c. Oksigen

Oksigen yang digunakan dalam proses produksi vinil asetat diperoleh dari udara bebas yang tersedia dalam jumlah melimpah di alam. Udara mengandung sekitar 21% oksigen secara volumetrik (fraksi mol), sehingga kebutuhan oksigen untuk proses reaksi dapat dipenuhi tanpa ketergantungan pada pemasok bahan kimia tertentu. Dengan ketersediaan udara yang kontinu, pasokan oksigen tidak menjadi kendala dalam pengoperasian pabrik yang direncanakan.

#### 1.4 Analisa Pasar

Berikut beberapa penggunaan Vinil asetat di Indonesia diantaranya yakni sebagai berikut :

a. Industri Tekstil

Vinil asetat pada industri tekstil digunakan sebagai pelapis kain untuk meningkatkan ketahanan terhadap air dan meningkatkan kekuatan kain. Penggunaan dalam perekatan kain berbasis serat sintesis dapat membantu meningkatkan daya tahan warna pada kain serta mengurangi luntur akibat pencucian dan untuk memberikan efek *stiffness* (kekakuan) atau kelembutan pada kain berbahan serat alami maupun sintesis. Selain itu, vinil asetat juga digunakan sebagai bahan pengikat dalam produksi serat dan memberikan kekuatan pada benang.

**Tabel 1. 1** Penggunaan Vinil asetat untuk PT industri tekstil

No	Nama Perusahaan	Lokasi
1	PT Agung Winyawan Santosa Tekstil	Jawa Tengah
2	PT Alena Tekstil Industri	Bandung, Jawa Barat
3	PT Andria Fesyen Indonesia Tekstil	Tangerang, Banten
4	PT Aneka Industri Tekstil	Sumedang, Jawa Barat
5	CV Anugerah Kreatif Tekstil	Bandung, Jawa Barat
6	PT Anugrah Trimulia Tekstil	Bandung, Jawa Barat
7	PT Bima Sakti Tekstil	Purbalingga, Jawa Tengah
8	PT Cahaya Tekstil Indonesia	Bandung, Jawa Barat
9	PT Busana Utama Tekstil	Pekalongan, Jawa Tengah
10	PT Sri Rejeki Isman Tbk (Sritex)	Sukoharjo, Jawa Tengah
11	PT Pan Brothers Tbk	Tangerang, Jawa Barat
12	PT Asia Pacific Fibers Tbk	Karawang, Jawa Barat
13	PT Tifico Fiber Indonesia Tbk	Tangerang, Banten
14	PT Kahatex	Bandung, Jawa Barat
15	PT Delta Dunia Sandang Tekstil	Semarang, Jawa Tengah
16	CV Eka Jaya Tekstil	Bojonegoro, Jawa Timur
17	PT Fhg Tekstil Indonesia	Demak, Jawa Tengah
18	PT Inovasi Rajut Tekstil	Bandung, Jawa Barat
19	PT Golden Tekstil Indonesia	Kendal, Jawa Tengah
20	PT Snapindo	Jakarta Selatan
21	PT Sparta Prima	Tangerang, Banten

Sumber: Kementerian Perindustrian, 2025

b. Perekat

Vinil asetat digunakan sebagai perekat dalam proses pembuatan lem. Vinil asetat meningkatkan daya rekat lem terhadap berbagai permukaan seperti kayu, kertas, kain, dan plastik. Vinil asetat juga digunakan untuk perekat kemasan dan label botol.

**Tabel 1. 2** Penggunaan Vinil asetat untuk industri perekat

No	Nama Perusahaan	Lokasi
1	PT Advanced Specialty Chemicals Indonesia	Jawa Timur
2	PT Aica Indria	Jakarta
3	PT Aica Mugi Indonesia	Aceh
4	PT Alfa Polimer Indonesia	Jawa Barat
5	PT Alteco Chemical Indoensia	Riau
6	CV Anugrah Abadi Polimer	Jawa Tengah
7	PT Arjuna Utama Kimia	Jawa Timur
9	PT Asia Chemical Industry	Banten
10	PT Assems Indo	Jawa Barat
11	PT Ekadharma International Tbk	Banten
12	PT Kingco Indonesia Jaya	Jawa Timur
13	PT Trimegah Jaya Perkasa	Banten
15	PT Darta Polimerindo Teknologi	Bandung, Jawa Barat
16	PT Sparta Prima	Banten
17	Henkel Indonesia	Tangerang, Banten

Sumber: Kementerian Perindustrian, 2025

c. Cat

Vinil asetat dalam industri cat digunakan sebagai bahan dasar emulsi cat berbasis air untuk meningkatkan daya rekat pada berbagai permukaan seperti kayu, tembok dan logam. Selain itu, vinil asetat juga digunakan untuk meningkatkan elastisitas lapisan cat agar tidak mudah retak atau terkelupas. Cat yang mengandung vinil asetat cenderung lebih cepat mengering karena sifat polimer yang membentuk film pelapis lebih efisien.

**Tabel 1. 3 Penggunaan Vinil asetat untuk industri cat**

No	Nama Perusahaan	Lokasi
1	PT Propan Raya	Banten
2	PT Avian Tbk	Jawa Timur
3	PT Mowilex Indonesia	Jakarta Barat
4	PT Indaco Warna Dunia	Jawa Tengah
5	PT Abadi Coating Solusi	Banten
6	PT Adhi Gana Nusantara	Jawa Barat
7	CV Adicipta Karya Gemilang	Jawa Tengah
8	PT Adisejahtera Anugerah Abadi	Jawa Timur
9	CV Agung Graph International	Jakarta
10	PT Alfaink Indonesia	Jawa Timur
11	PT Alfatama Inticipta	Jawa Tengah
12	PT Alfatama Inticipta	Banten
13	PT Anugrah Kencana Pratama	Banten
14	PT Artindo Pratama Sejahtera	Bandung, Jawa Barat
15	PT Asian Paints Indonesia	Banten
16	PT Atlantic Ocean Paint	Jawa Timur
17	PT Ayootech Indonesia Industry	Jawa Barat
18	PT Beon Yeong Global Chemical	Jawa Barat

Sumber: Kementerian Perindustrian, 2025

## 1.5 Kapasitas Pabrik

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS), kebutuhan impor *vinyl acetate* di Indonesia pada tahun 2020-2024 dapat dilihat pada tabel 1.4 berikut ini.

**Tabel 1. 4** Data impor *vinyl acetate* Indonesia

Data Ke-	Tahun	Kebutuhan Ton/tahun	Pertumbuhan (%)
1	2020	20.014,276	0
2	2021	24.359,120	21,708
3	2022	24.085,969	-1,121
4	2023	23.408,247	-2,813
5	2024	26.353,760	12,583
	Jumlah	118.221,372	30,356
	Rata-rata	23.644,274	6,071

Sumber: BPS *online*, 2025

Berdasarkan data pada Tabel 1.4 Data kebutuhan vinil asetat selama periode 2020–2024 menunjukkan kecenderungan meningkat dengan laju pertumbuhan rata-rata sebesar 6,071% per tahun. Pada tahun 2024, kebutuhan vinil asetat mencapai 26.353,760 ton per tahun dan masih dipenuhi melalui impor. Oleh karena itu, pendirian pabrik vinil asetat di dalam negeri diperlukan untuk memenuhi kebutuhan nasional dan mengurangi ketergantungan terhadap impor.

Pabrik vinil asetat ini direncanakan mulai dibangun pada tahun 2027 dan beroperasi secara komersial pada tahun 2029. Penentuan kapasitas produksi pabrik didasarkan pada proyeksi konsumsi vinil asetat nasional pada tahun desain 2035, yang dihitung menggunakan metode *compound interest* berdasarkan data impor vinil asetat selama lima tahun terakhir (Timmerhaus et al., 1991).

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

Dimana:

$F$  = Jumlah produk pada akhir tahun perhitungan (ton/tahun)

$i$  = Pertumbuhan rata-rata impor per tahun (%)

$P$  = Jumlah data impor tahun pertama

$n$  = Selisih tahun yang diperhitungkan

$$F = 26.353,760 (1+ 6,071\%)^{11} = 50.399,060$$

Sehingga untuk kebutuhan Vinil asetat di Indonesia pada tahun 2035 yaitu 50.399,060.

### 1.6 Penetapan Kapasitas Perancangan

Penentuan kapasitas pabrik vinil asetat dilakukan dengan mempertimbangkan kapasitas pabrik sejenis yang telah beroperasi di dunia sebagai acuan dalam menentukan kapasitas yang optimal. Hingga saat ini, Indonesia belum memiliki pabrik vinil asetat, sehingga kebutuhan dalam negeri masih sepenuhnya dipenuhi melalui impor. Sementara itu, permintaan vinil asetat, khususnya dari industri kertas dan industri kimia, menunjukkan peningkatan setiap tahun. Adapun data perusahaan yang memproduksi vinil asetat di luar negeri adalah sebagai berikut:

**Tabel 1. 5 Kapasitas Pabrik yang telah ada**

<b>Nama Pabrik</b>	<b>Negara</b>	<b>Kapasitas (Ton/Tahun)</b>
Dairen Chemical	Mailiao, Taiwan	650.000
Sinopec Sichuan Vinylon	Chongqing, China	500.000
Sinopec Great Wall	Ningdong, China	450.000
Celanese	Texas Amerika Serikat	450.000
Lotte BP Chemical	Ulsan, Korea Selatan	410.000
Dairen Chemical	Jurong, Singapore	350.000
Celanese	Frankfurt, Jerman	305.000
Celanese	Nanjing, China	300.000
Wacker-Chemie	Burghausen, Jerman	200.000
BP Chemicals	Hull, Inggris	250.000
Anhui Wanwei	Anhui, China	170.000
Shanxi Sanwei Group	Shanxi, China	70.000
Azot Severodonetsk	Severodonetsk, Ukraina	35.000
Orgsyntez	Nevinnomyssk, Rusia	12.000

(ICIS, 2021)

Berdasarkan Tabel 1.5 kapasitas pabrik vinil asetat di dunia berada pada rentang 12.000 hingga 650.000 ton/tahun. Data tersebut menunjukkan bahwa kapasitas pabrik vinil asetat bervariasi dan dapat dijadikan acuan dalam penentuan kapasitas pabrik yang akan dirancang. Hingga saat ini, Indonesia belum memiliki pabrik vinil asetat sehingga kebutuhan dalam negeri masih sepenuhnya dipenuhi melalui impor. Kondisi ini berpotensi memberatkan neraca perdagangan nasional, terutama akibat fluktuasi nilai tukar rupiah terhadap dolar Amerika Serikat. Di sisi lain, permintaan vinil asetat dari industri kertas dan industri kimia menunjukkan tren peningkatan setiap tahun, yang dapat dianalisis berdasarkan data impor vinil asetat.

Berdasarkan analisis data impor menggunakan metode proyeksi pertumbuhan, estimasi kebutuhan vinil asetat pada tahun desain 2035 diperkirakan sebesar 50.399,060 ton/tahun. Dengan mempertimbangkan pemenuhan kebutuhan dalam negeri sebesar 70% dari total kebutuhan tersebut, maka kapasitas produksi pabrik vinil asetat yang direncanakan adalah sebesar 35.279,340 ton/tahun, yang kemudian dibulatkan menjadi 36.000 ton/tahun. Dengan demikian, kapasitas rancangan produksi pabrik vinil asetat pada tahun desain 2035 ditetapkan sebesar 36.000 ton/tahun.

Sesuai pertimbangan diatas dan berbagai persaingan yang nantinya akan terus berkembang, maka kapasitas produksi vinil asetat tahun 2035 direncanakan yakni 36.000 ton/tahun. Sehingga dengan berdirinya pabrik vinil asetat dengan kapasitas 36.000 ton/tahun dapat:

- Memenuhi kebutuhan vinil asetat di dalam negeri dan meningkatkan pendapatan negara di sektor industri.
- Mendorong perkembangan industri kimia di Indonesia agar mampu bersaing di pasar global yang kompetitif.
- Menciptakan lapangan kerja baru untuk mengurangi tingkat pengangguran dan mendorong pertumbuhan ekonomi masyarakat.

## 1.7 Penentuan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik berpengaruh terhadap efisiensi operasional, biaya produksi, dan keberlanjutan pabrik. Pabrik vinil asetat direncanakan berlokasi di Warnasari, Kecamatan Citangkil, Kota Cilegon, Banten. Penentuan lokasi dilakukan dengan mempertimbangkan faktor primer dan sekunder, di mana faktor primer meliputi ketersediaan bahan baku, pemasaran produk, utilitas, dan transportasi, sedangkan faktor sekunder berfungsi sebagai faktor pendukung operasi pabrik.

### 1.7.1 Faktor Primer

#### a. Sumber bahan baku

Etilen merupakan bahan baku utama dalam proses produksi vinil asetat. Apabila pabrik didirikan di kawasan industri Cilegon, etilen dapat diperoleh dari PT Chandra Asri Petrochemical Tbk dan PT Lotte Chemical Indonesia yang berlokasi di Cilegon dengan jarak sekitar 8–11 km dari lokasi pabrik yang direncanakan di Warnasari, Kecamatan Citangkil. Distribusi etilen pada jarak tersebut memungkinkan penggunaan jalur pipa, sehingga proses pengiriman lebih efisien, aman, dan menjamin kontinuitas pasokan bahan baku.

Sebagai perbandingan, apabila pabrik didirikan di Jawa Tengah yang dekat dengan sumber asam asetat, etilen harus didistribusikan dari Cilegon melalui jalur darat atau laut dengan jarak ratusan kilometer. Kondisi ini kurang efisien dan berisiko karena sifat etilen yang mudah terbakar dan bertekanan. Asam asetat dipasok dari PT Indo Acidatama Chemical Industry di Karanganyar, Jawa Tengah, dengan jarak distribusi sekitar 645 km apabila pabrik berlokasi di Cilegon, sedangkan jarak distribusi menjadi jauh lebih dekat apabila pabrik didirikan di Jawa Tengah. Namun demikian, keuntungan kedekatan terhadap sumber asam asetat tersebut tidak sebanding dengan kendala distribusi etilen sebagai bahan baku utama.

b. Pemasaran Produk

Pemasaran vinil asetat melibatkan distribusi produk ke berbagai sektor industri yang membutuhkannya sebagai bahan baku, seperti industri cat, tekstil, otomotif, perekat, dan kemasan. Adapun industri lain yang membutuhkan bahan baku vinil asetat, seperti PT Rudolf Polymers Indonesia yang terletak di Bogor Jawa Barat, PT Aristek Highpolymer yang terletak di Bekasi, Jawa Barat dan PT Dover Chemical yang terletak di Merak, Banten yang merupakan produsen *polyvinyl acetate*. Dengan populasi yang cukup besar dan berkembang pesatnya sektor industri, Cilegon menjadi peluang besar untuk memenuhi kebutuhan vinil asetat di pasar domestik. Selain itu, kedekatannya dengan pasar ekspor, terutama melalui Pelabuhan Merak, memungkinkan pabrik untuk memasarkan produknya secara global dengan lebih efisien.

c. Utilitas

Utilitas merupakan sarana penunjang yang berperan penting dalam menunjang kelancaran proses produksi di pabrik. Ketersediaan utilitas seperti air, bahan bakar, dan listrik harus terpenuhi secara memadai agar operasi pabrik dapat berjalan stabil. Kawasan industri Cilegon memiliki infrastruktur utilitas yang mendukung industri kimia. Pasokan listrik dipenuhi oleh PT PLN (Persero) dengan jarak sekitar 5,4 km dari lokasi pabrik yang direncanakan. Kebutuhan air utama diperoleh dari Sungai Cidanau, Banten dengan jarak sekitar 27,3 km dan terlebih dahulu melalui proses *treatment* sebelum digunakan. Selain itu, untuk menjamin kontinuitas pasokan air, pabrik juga memanfaatkan pasokan air dari PT Krakatau Tirta Industri yang berlokasi di kawasan industri Cilegon dengan jarak sekitar 3,9 km sebagai sumber air cadangan apabila pasokan dari sungai mengalami fluktuasi debit atau gangguan kualitas air. Kebutuhan bahan bakar dipasok dari Depot Pertamina Banten yang berada di wilayah sekitar Cilegon.

d. Fasilitas transportasi

Cilegon memiliki akses transportasi yang sangat baik, baik untuk pengiriman bahan baku maupun distribusi produk jadi. Jalur transportasi udara memiliki peran dalam pengadaan alat yang berukuran kecil dan mobilisasi karyawan. Dengan adanya Pelabuhan Merak yang merupakan salah satu pelabuhan utama di Indonesia, pabrik vinil asetat di Cilegon dapat memanfaatkan jalur laut untuk ekspor dan impor bahan baku dengan biaya yang lebih efisien. Selain itu, jalan tol Jakarta Merak yang menghubungkan Cilegon dengan Jakarta dan kota-kota lainnya mempermudah distribusi produk ke pasar domestik.

### **1.7.2 Faktor sekunder**

a. Segi Sosial

Keberadaan pabrik vinil asetat di Cilegon berpotensi memberikan dampak positif terhadap kondisi sosial dan ekonomi masyarakat sekitar. Pabrik ini membuka peluang kerja bagi tenaga kerja lokal maupun luar daerah pada berbagai bidang, mulai dari operasional pabrik hingga sektor pendukung lainnya. Kebutuhan tenaga kerja mencakup berbagai jenjang pendidikan, mulai dari SMA/SMK hingga S3, sehingga dapat meningkatkan penyerapan tenaga kerja dan kesejahteraan masyarakat. Selain itu, keberadaan pabrik juga mendorong pengembangan sumber daya manusia melalui pelatihan keterampilan serta pemberdayaan masyarakat di sekitar kawasan industri.

b. Segi Lingkungan

Pendirian pabrik vinil asetat di kawasan industri Cilegon harus memperhatikan dampak terhadap lingkungan, seperti emisi gas buang, pengelolaan limbah cair, serta pemanfaatan sumber daya alam. Sebagai kawasan industri, Cilegon memiliki regulasi lingkungan yang ketat terkait pengendalian pencemaran dan pengelolaan limbah industri. Oleh karena itu, pabrik yang direncanakan wajib menerapkan teknologi ramah lingkungan, sistem pengolahan limbah yang

efektif, serta mematuhi seluruh peraturan pemerintah yang berlaku guna menjaga kualitas lingkungan dan keberlanjutan sumber daya alam.

## BAB II

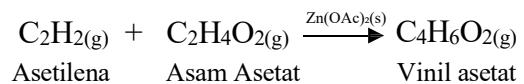
### DESKRIPSI PROSES

#### 2.1 Proses-proses pembuatan Vinil asetat

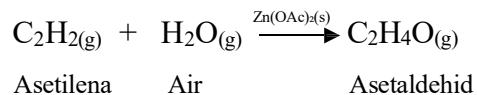
Proses produksi vinil asetat sangat banyak, tetapi yang biasa digunakan dalam industri skala besar ada 2, yaitu proses proses asetilen dan proses oksidasi asam asetat dan etilen (Dimian, 2008).

##### A. Proses Asetilena dan asam asetat

Proses ini menggunakan bahan baku asetilena dan asam asetat, reaksi utama yang terjadi sesuai dengan persamaan reaksi berikut:



Adapun reaksi samping yang terbentuk sesuai dengan persamaan reaksi berikut:



Proses pembuatan vinil asetat ini dilakukan pada suhu 170-250°C dan tekanan 115-122 kPa. Reaksi berlangsung pada fase gas yang dijalankan dalam reaktor *fixed bed* (kontinyu) dengan menggunakan katalis seng asetat  $\text{Zn(OAc)}_2$  yang diimpregnasi pada karbon aktif. Metode ini memiliki tingkat konversi 60-70% dan selektivitas mencapai 93% asetilena dan 99% asam asetat. Namun, proses ini kini jarang digunakan dan kurang populer, terutama karena alasan keamanan dan tingginya biaya asetilena (Dimian, 2008).

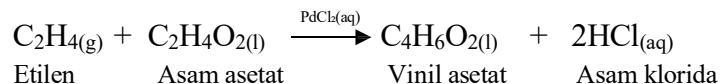
##### B. Proses Oksidasi Asam Asetat dan Etilen

Saat ini pembuatan vinil asetat paling umum di industri adalah reaksi oksidasi. Reaksi ini dilakukan pada fase cair dan fase gas.

- Fase Cair

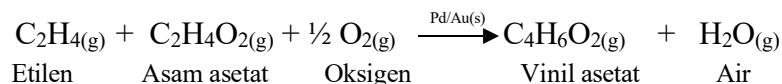
Vinil asetat dapat diproduksi melalui reaksi yang menggunakan bahan baku dalam bentuk cair, yakni asam asetat, etilen cair, dan oksigen, yang

berlangsung di dalam reaktor. Reaksi ini dilakukan pada tekanan 3-4 MPa dan suhu 110-130°C. Namun, proses ini kini telah ditinggalkan dan digantikan dengan metode fase gas karena masalah korosi yang signifikan dan sulit diatasi, sehingga akan menyebabkan kerugian besar (Roscher, 2002). Reaksi utama ini berlangsung sesuai dengan persamaan berikut:

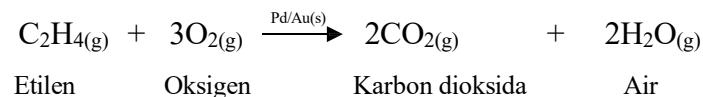


- **Fase Gas**

Proses paling umum digunakan di industri untuk produksi vinil asetat adalah reaksi oksidasi antara etilen dan asam asetat. Reaksi ini menggunakan bahan baku dalam bentuk gas dan menghasilkan vinil asetat dengan air sebagai produk samping. Reaksi utama ini berlangsung sesuai dengan persamaan berikut:



Adapun reaksi samping yang terbentuk sesuai dengan persamaan berikut:



Reaksi pada fase gas terjadi pada 150-160°C dan tekanan 0,5-1,0 MPa, dengan menggunakan katalis heterogen yang mengandung paladium, yang memiliki umur katalis 1-2 tahun. Dengan katalis Paladium, selektivitas dapat mencapai 94% berdasarkan etilen, 98-99% berdasarkan asam asetat dan 70% berdasarkan oksigen. Konversi per lintasan (*single-pass conversion*) pada campuran reaksi menunjukkan bahwa etilena hanya bereaksi sebagian dengan konversi sekitar 8–10%, asam asetat memiliki konversi per lintasan sebesar 15–30%, sedangkan oksigen mengalami konversi yang relatif tinggi yaitu sekitar 60–70%. (Dimian, 2008 & Han, 2004).

## 2.2 Tinjauan Ekonomi

Tinjauan ekonomi bertujuan untuk mengetahui potensial ekonomi berdasarkan pertimbangan ekonomi kasar pembelian bahan baku dan penjualan produk.

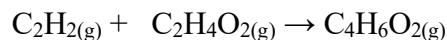
**Tabel 2. 1** Harga bahan baku dan produk

<b>Komponen</b>	<b>Harga</b>	<b>Harga</b>	<b>BM</b>	<b>CAS</b>
	<b>Per Kg (US \$)</b>	<b>Per Kg (Rp)</b>	<b>(kg/kmol)</b>	
Asetilen	1,83	30.260	26	74-86-2
Asam asetat	0,45	7.441	60	64-19-7
Etilen	0,7	11.575	28	74-85-1
Vinil asetat	1,2	19.843	86	108-05-4
Katalis Pd	6,3	100.806		

(Sumber: Business analytiq)

Kurs 1 US \$ 25 Agustus 2025 = Rp. 16.250

### 1. Pembuatan vinil asetat pada Proses Asetilen



$$\text{Kapasitas Produksi} = 36.000 \text{ ton/tahun}$$

$$\text{Waktu Produksi} = 330 \text{ hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Vinil asetat} &= 36.000 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}} \times 1.000 \frac{\text{kg}}{\text{ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \\ &= 4.545,4545 \text{ kg/jam} \\ &= 52,8541 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

Maka,

$$\text{Konversi} = 70\%$$

$$\text{Selektivitas asetilen} = 93\%$$

$$\text{Perbandingan asetilen : asam asetat} = 4 : 1$$

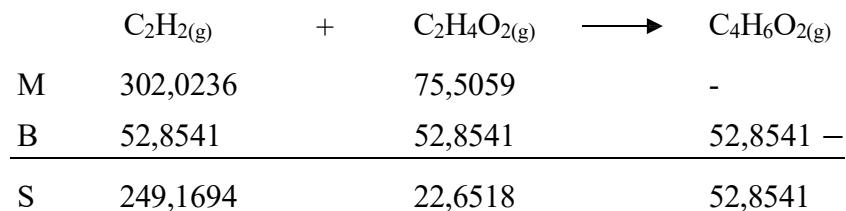
Menghitung jumlah total produk yang terbentuk berdasarkan selektivitas.

$$n_{\text{total produk}} = n_{\text{utama}} + n_{\text{samping}}$$

$$n_{\text{utama}} = 52,8541 \text{ kmol/jam}$$

$$\begin{aligned}
 n_{\text{utama}} &= yP \times n_{\text{total produk}} \\
 52,8541 &= 0,93 \times n_{\text{total produk}} \\
 n_{\text{total produk}} &= \frac{52,8541}{0,93} \\
 &= 56,8324 \text{ kmol/jam} \\
 n_{\text{samping}} &= (56,8324 - 52,8541) \text{ kmol/jam} \\
 &= 3,9783 \text{ kmol/jam}
 \end{aligned}$$

Reaksi Utama:



- Asetilen

$$\begin{aligned}
 BM &= 26 \text{ kg/kmol} \\
 \text{Mol asetilen terkonsumsi} &= 56,8324 \text{ kmol/jam} \\
 \text{Massa asetilen} &= 56,8324 \text{ kmol/jam} \times 26 \text{ kg/kmol} \\
 &= 1.477,6421 \text{ kg/jam} = 1.477 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Dengan tingkat kemurnian 99,6%, maka massa asetilen:

$$\begin{aligned}
 \text{Massa asetilen} &= \frac{1.477 \text{ kg/jam}}{0,996} \\
 \text{Massa asetilen} &= 1.472 \text{ kg/jam} \\
 &= 1.472 \text{ kg/jam} \times 7.920 \text{ kg/tahun} \\
 &= 11.656.114 \text{ kg/tahun}
 \end{aligned}$$

Sehingga harga untuk bahan baku asetilen:

$$\begin{aligned}
 \text{Harga asetilen} &= \text{Massa senyawa} \times \text{harga produk} \\
 &= 11.656.114 \text{ kg/tahun} \times \$1,83 \\
 &= \$21.330.689/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

- Asam asetat

$$\begin{aligned}
 \text{BM} &= 60 \text{ kg/kmol} \\
 \text{Mol asam asetat terkonsumsi} &= 52,8541 \text{ kmol/jam} \\
 \text{Massa asam asetat} &= 52,8541 \text{ kmol/jam} \times 60 \text{ kg/kmol} \\
 &= 3.171,2474 \text{ kg/jam} = 3.171 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Dengan tingkat kemurnian 99,8%, maka massa asam asetat:

$$\begin{aligned}
 \text{Massa asam asetat} &= \frac{3.171 \text{ kg/jam}}{0,998} \\
 &= 3.164 \text{ kg/jam} \\
 &= 3.164 \text{ kg/jam} \times 7.920 \text{ kg/tahun} \\
 &= 25.066.046 \text{ kg/tahun}
 \end{aligned}$$

Sehingga harga untuk bahan baku asam asetat:

$$\begin{aligned}
 \text{Harga asam asetat} &= \text{Massa senyawa} \times \text{harga produk} \\
 &= 25.066.046 \text{ kg/tahun} \times \$0,45 \\
 &= \$11.279.720/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

Sehingga total dari harga bahan baku adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{Total bahan baku} &= (21.330.689 + \$11.279.720)/\text{tahun} \\
 &= \$32.610.410/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

- Vinil asetat

Produk vinil asetat yang dihasilkan yaitu

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas Produksi} &= 36.000 \text{ ton/tahun} \\
 &= 36.000.000 \text{ kg/tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Harga produksi vinil asetat} &= \text{Kapasitas produksi} \times \text{harga produk} \\
 &= 36.000.000 \text{ kg/tahun} \times \$1,2 \\
 &= \$43.200.000
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka keuntungan} &= \text{Harga jual produk} - \text{harga bahan baku} \\
 &= \$43.200.000 - \$32.610.410/\text{tahun} \\
 &= \$10.589.590/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

**2. Pembuatan vinil asetat pada proses oksidasi, asam asetat, dan etilen**

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas Produksi} &= 36.000 \text{ ton/tahun} \\
 \text{Waktu produksi} &= 330 \text{ hari} \\
 \text{Massa vinil asetat} &= 30.000 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}} \times 1.000 \frac{\text{kg}}{\text{ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \\
 &= 4.545,4545 \text{ kg/jam} \\
 &= 52,8541 \text{ kmol/jam}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\text{Konversi} = 10\% \text{ per lintasan}$$

$$\text{Selektivitas} = 94\%$$

Menghitung jumlah total produk yang terbentuk berdasarkan selektivitas.

$$n_{\text{total produk}} = n_{\text{utama}} + n_{\text{samping}}$$

$$n_{\text{utama}} = 52,8541 \text{ kmol/jam}$$

$$n_{\text{utama}} = yP \times n_{\text{total produk}}$$

$$52,8541 = 0,94 \times n_{\text{total produk}}$$

$$n_{\text{total produk}} = \frac{52,8541}{0,94}$$

$$= 56,2278 \text{ kmol/jam}$$

$$n_{\text{samping}} = (56,2278 - 52,8541) \text{ kmol/jam}$$

$$= 3,3737 \text{ kmol/jam}$$

Reaksi Utama:

$\text{C}_2\text{H}_{4(g)}$	+	$\text{C}_2\text{H}_{4\text{O}2(g)}$	+	$\frac{1}{2} \text{O}_{2(g)}$	$\rightarrow$	$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_{2(g)}$	+	$\text{H}_2\text{O}_{(g)}$
M 528,0127		263,7421		50,5544		-		-
R 52,8541		52,8541		26,4271		52,8541		52,8541
S 475,1586		210,8876		24,1273		52,8541		52,8541

Reaksi samping:

$C_2H_4$	+	$3O_2$	$\rightarrow$	$2CO_2$	$2H_2O$
M 475,1586		24,1273			
R 3,3737		10,1210		6,7473	6,7473 -
S 471,7849		14,0063		6,7473	6,7473

- Etilen

$$\begin{aligned}
 BM &= 28 \text{ kg/kmol} \\
 \text{Mol etilen terkonsumsi} &= 56,2278 \text{ kmol/jam} \\
 \text{Massa etilen} &= 56,2278 \text{ kmol/jam} \times 28 \text{ kg/kmol} \\
 &= 1.574,3781 \text{ kg/jam} = 1.574 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Dengan tingkat kemurnian 99,9%, maka massa etilen:

$$\begin{aligned}
 \text{Massa etilen} &= \frac{1.574 \text{ kg/jam}}{0,999} \\
 \text{Massa etilen} &= 1.573 \text{ kg/jam} \\
 &= 1.573 \text{ kg/jam} \times 7.920 \text{ kg/tahun} \\
 &= 12.456.606 \text{ kg/tahun}
 \end{aligned}$$

Sehingga harga untuk bahan baku etilen:

$$\begin{aligned}
 \text{Harga etilen} &= \text{Massa senyawa} \times \text{harga produk} \\
 &= 12.456.606 \text{ kg/tahun} \times \$0,45 \\
 &= \$8.719.624/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

- Asam asetat

$$\begin{aligned}
 BM &= 60 \text{ kg/kmol} \\
 \text{Mol asam asetat terkonsumsi} &= 52,8541 \text{ kmol/jam} \\
 \text{Massa asam asetat} &= 52,8541 \text{ kmol/jam} \times 60 \text{ kg/kmol} \\
 &= 3.171,2474 \text{ kg/jam} = 3.171 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Dengan tingkat kemurnian 99,8%, maka massa asam asetat:

$$\begin{aligned}
 \text{Massa asam asetat} &= \frac{3.171 \text{ kg/jam}}{0,998} \\
 &= 3.164 \text{ kg/jam} \\
 &= 3.164 \text{ kg/jam} \times 7.920 \text{ kg/tahun} \\
 &= 25.066.046 \text{ kg/tahun}
 \end{aligned}$$

Sehingga harga untuk bahan baku asam asetat:

$$\begin{aligned}
 \text{Harga asam asetat} &= \text{Massa senyawa} \times \text{harga produk} \\
 &= 25.066.046 \text{ kg/tahun} \times \$0,45 \\
 &= \$11.279.720/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

Sehingga total dari harga bahan baku adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{Total Bahan Baku} &= \$8.719.624/\text{tahun} + \$11.435.852/\text{tahun} \\
 &= \$19.999.345/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

- Vinil asetat

Produk vinil asetat yang dihasilkan yaitu

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas Produksi} &= 36.000 \text{ ton/tahun} \\
 &= 36.000.000 \text{ kg/tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Harga Produksi vinil asetat} &= \text{Kapasitas produksi} \times \text{harga produk} \\
 &= 36.000.000 \text{ kg/tahun} \times \$1,2 \\
 &= \$43.200.000
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka keuntungan} &= \text{Harga jual produk} - \text{harga bahan baku} \\
 &= (\$43.200.000 - \$19.999.345)/\text{tahun} \\
 &= \$23.200.655/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

### 2.3 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan secara termodinamika ditunjukan untuk mengetahui sifat reaksi tersebut, melepaskan panas (eksotermis) atau membutuhkan panas (endotermis) dan arah reaksi (*reversible/irreversible*). Untuk menentukan reaksi eksotermis/endotermis panas reaksi dapat dihitung dengan perhitungan panas pembentukan standar ( $\Delta H_f^\circ$ ) pada  $P = 1$  dan  $T=298$  K serta energi Gibbs ( $\Delta G^\circ$ ).

#### 1. Pembuatan vinil asetat pada Proses Asetilen

**Tabel 2. 2** Harga  $\Delta H_f^\circ$  dan  $\Delta G_f^\circ$  masing-masing komponen

Komponen	$\Delta H_f^\circ$ , kJ/mol	$\Delta G_f^\circ$ , kJ/mol
Asetilen ( $C_2H_2$ )	226,73	209,2
Asam asetat ( $C_2H_4O_2$ )	-434,84	-376,69
Vinil asetat ( $C_4H_6O_2$ )	-315,7	-228,97

(yaws,1999)

Berikut adalah reaksi yang terjadi dalam pembentukan vinil asetat



Perhitungan untuk menentukan nilai panas reaksi ( $\Delta H_{298}$ ) pada suhu 150°C dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

- Menghitung nilai entalpi reaksi ( $\Delta H_{298}$ )

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{298} &= \Delta H_f^\circ_{produk} - \Delta H_f^\circ_{reaktan} && \text{(Smith, 2009)} \\
 &= \left( \Delta H_f^\circ_{VAM} \right) - \left( \Delta H_f^\circ_{C_2H_2} + \Delta H_f^\circ_{CH_3COOH} \right) \\
 &= (-315,7) - (226,73 - 434,84) \\
 &= (-315,7) - (-208,11) \\
 &= -107,62 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Karena  $\Delta H_f^\circ$  reaksi 1 bernilai negatif maka reaksi bersifat eksotermis.

- Menghitung nilai *Gibbs free energy* ( $\Delta G^\circ$ )

$$\begin{aligned}
 \Delta G_{298} &= \Delta G^o_{\text{produk}} - \Delta G^o_{\text{reaktan}} && \text{(Smith, 2009)} \\
 &= (\Delta G^o_{\text{VAM}}) - (\Delta G^o_{\text{C}_2\text{H}_2} + \Delta G^o_{\text{CH}_3\text{COOH}}) \\
 &= (-228,70) - (209,20 - 376,69) \\
 &= (-228,70) - (-167,49) \\
 &= -61,21 \text{ kJ/mol} = -6051 \text{ J/mol}
 \end{aligned}$$

Karena  $\Delta G_{298}$  reaksi 1 bernilai negatif maka nilai K lebih dari 1 sehingga reaksi bersifat spontan ke arah produk

$$\Delta G_{298} = -RT \ln K$$

Dimana:

$\Delta G_{298}$  = Energi bebas Gibbs standar (kJ/mol)

R = Tetapan gas ideal, (0,008314 kJ/mol.K)

T = Temperatur, K

K = Konstanta kesetimbangan

$$\ln K_{298} = -\frac{\Delta G_{298}}{RT}$$

$$\ln K_{298} = \frac{-(61,21)}{-(8,314 \times 10^{-3})(298)}$$

$$\ln K_{298} = 24,70$$

$$\ln K_{298} = e^{24,70}$$

$$\ln \frac{K_{473}}{K_{298}} = \frac{\Delta H_{298}}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\ln K_{473} - \ln K_{298} = \left( \frac{-107,62}{-0,008314} \right) \left( \frac{1}{473} - \frac{1}{298} \right) = -16,07$$

$$\ln K_{473} - 24,70 = -16,07$$

$$\ln K_{473} = -16,07 + 24,70$$

$$\ln K_{473} = 8,63$$

$$K_{473} = e^{8,63}$$

$$K_{473} = 5597,08$$

$$\Delta G_{473} = -RT \ln K_{473}$$

$$\Delta G_{473} = -(8,314 \times 10^{-3} \text{ kJ/(mol/K)} \times 473 \text{ K} \times 8,63)$$

$$\Delta G_{473} = -33,93 \text{ kJ/mol}$$

Sehingga dapat disimpulkan reaksi berlangsung secara spontan ( $\Delta H_{473}^o$  bernilai negatif), maka reaksi berlangsung searah (*irreversible*).

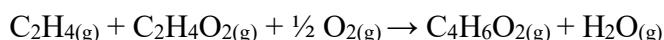
2. Pembuatan Vinil asetat pada Proses Oksidasi Asam Asetat dan Etilen

**Tabel 2. 3** Harga  $\Delta H_f^o$  dan  $\Delta G_f^o$  masing-masing komponen

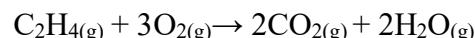
Komponen	$\Delta H_f^o$ , kJ/mol	$\Delta G_f^o$ , kJ/mol
Etilen ( $C_2H_4$ )	52,30	68,12
Asam asetat ( $C_2H_4O_2$ )	-434,84	-376,69
Vinil asetat ( $C_4H_6O_2$ )	-315,70	-228,70
Karbon dioksida ( $CO_2$ )	-393,51	-394,38
Air ( $H_2O$ )	-241,80	-228,60
Oksigen ( $O_2$ )	0	0

(yaws,1999)

Berikut adalah reaksi yang terjadi dalam pembentukan vinil asetat  
Reaksi Utama:



Reaksi Samping:



Perhitungan untuk menentukan nilai panas reaksi ( $\Delta H_{r1}^o$ ) dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

a) Reaksi 1 Pembentukan vinil asetat

- Menghitung nilai entalpi reaksi ( $\Delta H_{r1}^o$ )

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{r1}^o &= \Delta H_{f \text{ produk}}^o - \Delta H_{f \text{ reaktan}}^o && (\text{Smith, 2009}) \\
 &= (\Delta H_{f_{C_4H_6O_2}}^o + \Delta H_{f_{H_2O}}^o) - (\Delta H_{f_{C_2H_4}}^o + \Delta H_{f_{CH_3COOH}}^o + \Delta H_{f_{O_2}}^o) \\
 &= (-228,70 - 241,80) - (52,30 - 434,84 + 0) \\
 &= (-557,5) - (-382,54) \\
 &= -174,96 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Karena  $\Delta H_f^\circ$  reaksi 1 bernilai negatif maka reaksi bersifat eksotermis.

- Menghitung nilai *Gibbs free energy* ( $\Delta G^\circ$ )

$$\begin{aligned}
 \Delta G_{r_1}^\circ &= \Delta G_{f\text{ produk}}^\circ - \Delta G_{f\text{ reaktan}}^\circ && (\text{Smith, 2009}) \\
 &= (\Delta G_{f_{C_4H_6O_2}}^\circ + \Delta G_{f_{H_2O}}^\circ) - (\Delta G_{f_{C_2H_4}}^\circ + \Delta G_{f_{CH_3COOH}}^\circ + \Delta G_{f_{O_2}}^\circ) \\
 &= (-228,70 - 228,60) - (68,12 - 376,69 + 0) \\
 &= (-457,3) - (-308,57) \\
 &= -148,73 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Karena  $\Delta G_{r_1}^\circ$  reaksi 1 bernilai negatif maka nilai K lebih dari 1 sehingga reaksi bersifat spontan ke arah produk

$$\Delta G_{r_1}^\circ = -RT \ln K$$

Dimana:

$\Delta G_{r_1}^\circ$  = Energi bebas Gibbs standar (kJ/mol)

R = Tetapan gas ideal, (0,008314 kJ/mol.K)

T = Temperatur, K

K = Konstanta kesetimbangan

$$\ln K_{298} = -\frac{\Delta G_{r_1}^\circ}{RT}$$

$$\ln K_{298} = \frac{-(148,73)}{-(8,314 \times 10^{-3})(298)}$$

$$\ln K_{298} = 60,02$$

$$\ln K_{298} = e^{60,02}$$

$$\ln \frac{K_{423}}{K_{298}} = \frac{\Delta H^\circ}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\ln K_{423} - \ln K_{298} = \left( \frac{-174,96}{-0,008314} \right) \left( \frac{1}{423} - \frac{1}{298} \right) = -20,87$$

$$\ln K_{423} - 60,02 = -20,87$$

$$\ln K_{423} = -20,87 + 60,02$$

$$\ln K_{423} = 39,15$$

$$K_{423} = e^{39,15}$$

$$\begin{aligned}
 K_{423} &= 1,006 \times 10^{17} \\
 \Delta G_{423} &= -RT \ln K_{423} \\
 \Delta G_{423} &= - (8,314 \times 10^{-3} \text{ kJ/(mol/K)} \times 423 \text{ K} \times 39,15) \\
 \Delta G_{423} &= -137,683 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Sehingga dapat disimpulkan reaksi berlangsung secara spontan ( $\Delta H_{423}$  bernilai negatif), maka reaksi berlangsung searah (*irreversible*).

b) Reaksi 2 Pembakaran Etilen

- Menghitung nilai entalpi reaksi ( $\Delta H_{r2}^o$ )

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{r2}^o &= \Delta H_{f\text{ produk}}^o - \Delta H_{f\text{ reaktan}}^o && \text{(Smith, 2009)} \\
 \Delta H_{r2}^o &= (\Delta H_{f\text{CO}_2}^o + \Delta H_{f\text{H}_2\text{O}}^o) - (\Delta H_{f\text{C}_2\text{H}_4}^o + \Delta H_{f\text{O}_2}^o) \\
 &= ((2 \times -393,51) + (2 \times -241,80)) - (52,30 + 0) \\
 &= (-787,02) - (52,3) \\
 &= -1.270,62 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Karena  $\Delta H_{r2}^o$  reaksi 2 bernilai negatif maka reaksi bersifat eksotermis.

- Menghitung nilai *Gibbs free energy* ( $\Delta G^o$ )

$$\begin{aligned}
 \Delta G_{r2}^o &= \Delta G_{f\text{ produk}}^o - \Delta G_{f\text{ reaktan}}^o && \text{(Smith, 2009)} \\
 &= ((2 \times \Delta G_{f\text{CO}_2}^o) - (2 \times \Delta G_{f\text{H}_2\text{O}}^o)) + (\Delta G_{f\text{C}_2\text{H}_4}^o + \Delta G_{f\text{O}_2}^o) \\
 &= ((2 \times -394,38) + (2 \times -228,60)) - (68,12 + 0) \\
 &= (-1.365,96) - (68,12) \\
 &= -1.434,08 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Karena  $\Delta G_{r2}^o$  reaksi 2 bernilai negatif maka nilai K lebih dari 1 sehingga reaksi bersifat spontan ke arah produk

$$\begin{aligned}
 \Delta G_{r2}^o &= -RT \ln K \\
 \ln K_{298} &= -\frac{\Delta G_{r2}^o}{RT} \\
 \ln K_{298} &= \frac{-(1314,08)}{-(8,314 \times 10^{-3})(298)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \ln K_{298} &= 530,39 \\
 \ln K_{298} &= e^{530,39} \\
 \ln \frac{K_{423}}{K_{298}} &= \frac{\Delta H^\circ}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \\
 \ln K_{423} - \ln K_{298} &= \left( \frac{-1314,08}{-0,008314} \right) \left( \frac{1}{423} - \frac{1}{298} \right) = -158,98 \\
 \ln K_{423} - 530,39 &= -121,5 \\
 \ln K_{423} &= -121,5 + 530,39 \\
 \ln K_{423} &= 408,89 \\
 K_{423} &= e^{408,89} \\
 K_{423} &= 3,79 \times 10^{177} \\
 \Delta G_{423} &= -RT \ln K_{423} \\
 \Delta G_{423} &= -(8,314 \times 10^{-3} \text{ kJ/(mol/K)} \times 423 \text{ K} \times 408,89) \\
 \Delta G_{423} &= -1.437,993 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Sehingga dapat disimpulkan reaksi berlangsung secara spontan ( $\Delta H G_{423}$  bernilai negatif), maka reaksi berlangsung searah (*irreversible*).

## 2.4 Tinjauan Kinetika

### 1. Pembuatan Vinil asetat pada Proses Asetilen

Dari literatur dengan judul “*Kinetics of the Vinyl Acetate Synthesis from Acetylene and Acetic Acid with a Zinc Acetate Catalyst*” karya A.E. Cornelissen et al, 1975. Untuk perbandingan mol antara asetilen ( $C_2H_2$ ) dengan asam asetat ( $C_2H_4O_2$ ) adalah 4:1 dengan kondisi operasi pada suhu 170°C-250°C dan tekanan atmosferis serta digunakan katalis zinc asetat yang didukung oleh karbon aktif. Diketahui laju reaksi mengikuti persamaan berikut ini.

$$r_{VAM} = \frac{kP_{C_2H_4}}{1 + k_1P_{C_2H_4O_2} + k_2P_{C_4H_6O_2}} \quad \dots \dots (1)$$

Dimana,

$$\begin{aligned}
 k &= k_\infty \exp \left( -\frac{E}{RT} \right) \\
 K_1 &= \exp \left( \frac{3,8 \times 10^3}{T} - 8,6 \right) \text{ atm}^{-1}
 \end{aligned}$$

$$K_2 = \exp\left(-\frac{8,4 \times 10^3}{T} + 20,4\right) \text{ atm}^{-1}$$

dimana,

$$k_\infty = 5,08 \times 10^3 \text{ (kg}_{\text{cat}}\text{.sec.atm})^{-1}$$

$$E = 20,3 \times 10^3 \text{ (kcal/kmol)}$$

$$T = \text{Suhu absolut (K)}$$

$$r = \text{Laju reaksi pembentukan (kmol VA/kg.cat.sec)}$$

2. Pembuatan Vinil Asetat pada Proses Oksidasi dari Asam Asetat dan Etilen
- Tinjauan kinetika dimaksudkan untuk mengetahui kecepatan reaksi pembentukan vinil asetat dari asam asetat dan etilena menggunakan katalis palladium merupakan reaksi heterogen, dengan reaktan berada pada fase gas dan katalis pada fase padat. Persamaan laju reaksi untuk sintesis vinil asetat dapat dituliskan sebagai berikut:

$$r_{VAM} = k_1 \frac{P_{C_2H_4}^{\alpha 1} P_{O_2}^{\beta 1}}{P_{C_2H_4}^1 P_{O_2}^1} \quad \dots \dots (2)$$

(Dimian, 2008)

Keterangan :

$k_1$  = Kinetika reaksi pembentukan Vinil asetat

$P_{C_2H_4}$  = Tekanan parsial dari etilen

$P_{O_2}$  = Tekanan parsial dari oksigen

Nilai  $k_1$  sebagai reaksi utama pembentukan Vinil asetat diperoleh dengan persamaan berikut:

$$k_1 = A_1 \exp \frac{-E_1}{RT} \quad \dots \dots (3)$$

(Dimian, 2008)

Selain reaksi utama pembentukan vinil asetat, terjadi juga reaksi samping antara etilena dan oksigen, dengan persamaan laju reaksinya ditunjukkan sebagai berikut.



(Dimian, 2008)

Keterangan :

$k_2$  = Kinetika reaksi pembentukan karbon dioksida

$P_{C_2H_4}$  = Tekanan parsial dari etilen

$P_{O_2}$  = Tekanan parsial dari oksigen

Nilai  $k_2$  sebagai reaksi samping diperoleh dengan persamaan berikut:

$$k_2 = A_2 \exp \frac{-E_2}{RT} \quad \dots\dots(5)$$

(Dimian, 2008)

Nilai parameter kinetik untuk reaksi pembentukan vinil asetat diperoleh dari literatur dengan judul “*Chemical Process Design*” karya A.C Dimian dan C.S Bildea pada tahun 2008. Nilai-nilai tersebut pada suhu 423 K dapat dilihat pada Tabel 2.4 di bawah ini.

**Tabel 2. 4** Data Kinetika untuk Vinil Asetat

<i>Power law-Kinetics</i>				<i>Kinetic Constans</i> (mol/L catalyst.s)
<i>Reactions</i>	$C_2H_4$	$O_2$	$E$ (J/mol)	$A_1$
Utama	0,36	0,20	15.000	$7,95 \times 10^{-5}$
Samping	-0,31	0,82	21.000	$2,25 \times 10^{-4}$

(Dimian, 2008)

Berdasarkan data diatas, dapat diperoleh nilai kinetika reaksi pada produksi vinil asetat sebagai berikut:

- Reaksi Utama

$$k_1 = A_1 \exp \frac{-E_1}{RT}$$

$$k_1 = 7,95 \times 10^{-5} \left( \frac{-15.000}{(8.34)(423)} \right)$$

$$k_1 = 1,12 \times 10^{-6}$$

- Reaksi Samping

$$k_1 = A_1 \exp \frac{-E_2}{RT}$$

$$k_1 = 2,25 \times 10^{-4} \left( \frac{-21.000}{(8.34)(423)} \right)$$

$$k_1 = 2,00 \times 10^{-4}$$

## 2.5 Pemilihan Proses

Proses produksi vinil asetat dibandingkan untuk mendapatkan proses yang paling baik dilakukan dalam perancangan pabrik sebagai berikut:

**Tabel 2. 5** Pemilihan Proses Pembuatan Vinil Asetat

Tinjauan	Proses Asetilen	Proses Oksidasi Asam Asetat dan Etilen
Bahan baku	-Asam Asetat (lokal) -Asetilen (lokal)	-Asam Asetat (lokal) -Etilena (lokal)
Fase	Gas	Gas
Produk samping	-Asetaldehida	-Air -Karbon dioksida
Tekanan	1,15-1,22 bar	5-10 bar
Suhu	170-250°C	150-160°C
Konversi	60-70%	10%
Selektivitas	93%	94%
Katalis	Zinc Asetat ( $Zn(OAc)_2$ )	Paladium emas (Pd/Au)
Reaktor	<i>Fixed Bed</i>	<i>Fixed Bed Multitube</i>
$\Delta H_f^o$	$\Delta H_{473} = -107,62 \text{ kJ/mol}$	$\Delta H_{423} = -174,96 \text{ kJ/mol}$
$\Delta G_f^o$	$\Delta G_{473} = -33,93 \text{ kJ/mol}$	$\Delta G_{423} = -137,683 \text{ kJ/mol}$
Keuntungan	\$10.589.590/tahun	\$23.200.655/tahun

Berdasarkan Tabel 2.5 di atas data perbandingan antara proses asetilen dan proses oksidasi asam asetat dan etilen dapat dilihat bahwa, proses oksidasi asam asetat dan etilen merupakan pilihan yang lebih baik dibandingkan proses asetilen karena memiliki beberapa kelebihan. Bahan baku etilen dan asam asetat lebih mudah diperoleh secara lokal. Karena  $CO_2$  dan air tidak memerlukan pengolahan lanjutan,

sehingga menghemat kebutuhan peralatan tambahan untuk pemurnian dan penanganan limbah. Selektivitas yang lebih tinggi pada proses oksidasi etilen (94%) dibandingkan proses asetilen (93%) menguntungkan karena fraksi etilen yang bereaksi lebih banyak menghasilkan produk utama, sehingga pembentukan produk samping lebih sedikit dan kehilangan bahan baku dapat diminimalkan.

Proses oksidasi juga lebih hemat energi karena bekerja pada suhu yang lebih rendah (150–160°C), sedangkan proses asetilen membutuhkan suhu hingga 170–250°C. Reaktor yang digunakan adalah *fixed bed multitube*, karena panas yang dihasilkan dari reaksi eksotermik dapat langsung diserap oleh media pendingin di sekitar tabung. Desain *multitube* memiliki distribusi panas yang lebih merata dan kinerja termal yang lebih baik dengan pengaturan laju aliran gas yang lebih mudah, karena aliran tersebar merata di banyak jalur kecil. Selain itu, desain *multitube* memfasilitasi kontrol suhu yang lebih baik di sepanjang panjang reaktor, yang penting untuk menjaga aktivitas katalis dan efisiensi reaksi.. Ditinjau dari aspek termodinamika, nilai  $\Delta H$  dan  $\Delta G$  yang lebih negatif menunjukkan reaksi yang lebih eksotermik dan spontan.

Tekanan yang digunakan pada proses oksidasi lebih besar 5-10 bar sehingga akan meningkatkan laju reaksi. Akan tetapi tekanan yang besar membutuhkan peralatan yang mahal dan keamanannya lebih beresiko jika tekannya *overpressure*. Untuk mengatasi hal ini, maka memerlukan alat *Pressure Relief Valve* (PRV) yang berfungsi melepaskan tekanan berlebih secara otomatis, didukung *rupture disc* sebagai cadangan darurat. *Pressure transmitter* dan *Pressure Control Valve* (PCV) memantau dan mengatur tekanan secara real-time melalui sistem kontrol terpusat. Sistem ini dilengkapi alarm dan *interlock* untuk *shutdown* otomatis saat terjadi lonjakan tekanan. Penggunaan reaktor *fixed bed multitube* juga dapat mengatasi potensi lonjakan tekanan karena gas umpan dialirkkan melalui banyak tabung kecil sehingga lonjakan tekanan di satu tabung tidak langsung memengaruhi seluruh sistem. Selain desain proses yang aman, keselamatan pekerja juga menjadi prioritas melalui penggunaan alat pelindung diri (APD), detektor gas, SOP ketat,

serta pelatihan rutin dan fasilitas penunjang keselamatan. Sinergi antara kendali teknis dan perlindungan personel ini memastikan operasional pabrik berjalan aman, stabil, dan sesuai standar industri kimia.

## 2.6 Uraian Singkat

Proses pembuatan vinil asetat menggunakan proses oksidasi dengan bahan baku etilen, asam asetat dan oksigen. Bahan baku diumpulkan bersama katalis palladium menuju reaktor *fixed bed multitube* pada tekanan 5 atm dan suhu 150°C. Secara garis besar proses pembuatan vinil asetat dibagi menjadi 3 tahap, yaitu:

1. Tahap persiapan bahan baku
2. Tahap reaksi di dalam reaktor
3. Tahap pemurnian produk

### 1. Tahap Persiapan Bahan Baku

Pada proses pembuatan vinil asetat menggunakan bahan baku utama berupa asam asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) dan etilen ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ), dengan tambahan oksigen ( $\text{O}_2$ ). Proses dimulai dengan mengubah asam asetat dari fase cair menjadi fase uap menggunakan alat vaporizer. Kemudian uap keluaran vaporizer didinginkan menggunakan cooler sampai suhu 150°C untuk menyesuaikan kondisi operasi di reaktor. Bahan baku etilen berupa cairan terkompresi dialirkan menuju vaporizer untuk diubah menjadi fase uap. Kemudian dialirkan melalui pipa menuju heater untuk dipanaskan sampai suhu 150°C untuk menyesuaikan kondisi operasi di reaktor. Pada bahan baku oksigen diambil dari udara dengan melalui proses pemisahan membran. Udara di ambil menggunakan kompresor, lalu dialirkan menuju membran *separation*. Pada proses pemisahan membran memerlukan suhu yang tinggi sebesar 600°C, sehingga perlu dipanaskan sebelum masuk membran *separation*. Oksigen keluaran membran memiliki kemurnian 99,9% dengan tekanan rendah sehingga perlu dikompresi hingga 5 atm. Suhu keluaran kompresor masih tinggi sehingga perlu di dinginkan sesuai kondisi operasi reaktor. Kemudian ketiga bahan baku tersebut

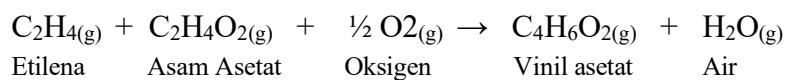
direaksikan ke dalam reaktor. Pada pencampuran gas ini, konsentrasi oksigen dikontrol dengan mengatur aliran oksigen masuk. Hal ini dilakukan agar konsentrasi oksigen yang masuk ke dalam reaktor tidak melebihi 8% mol campuran untuk menghindari risiko ledakan.

(AS9573877B2)

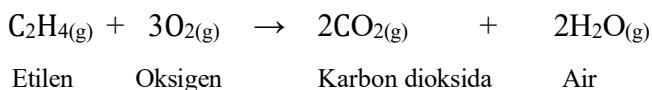
## 2. Tahap Reaksi di Dalam Reaktor

Reaksi yang terjadi dalam reaktor yaitu:

Reaksi Utama:



Reaksi Samping:



Reaktor ini beroperasi pada tekanan 5 atm dan suhu 150°C, dengan konversi 10%. Reaktor yang digunakan adalah reaktor *fixed bed multitube*, dengan menggunakan katalis palladium (Pd) berdiameter 5 mm. Terdapat dua reaksi yang terjadi dalam reaktor, reaksi utamanya adalah reaksi pembentukan vinil asetat dan reaksi samping yang merupakan reaksi pembakaran etilen. Produk keluaran reaktor adalah vinil asetat, air dan karbon dioksida. Selanjutnya, produk keluaran reaktor dialirkan menuju kondensor parsial untuk mengembunkan sebagian uap. Hal ini, menghasilkan dua fase yaitu fase gas (etilen, oksigen, dan karbon dioksida) dan fase cair (vinil asetat, asam asetat dan air).

Keluaran fase gas di *recycle* ke reaktor dan sebagian uap di *purge*. Fase cair dialirkan menuju kolom distilasi I untuk memisahkan vinil asetat dan asam asetat. Produk atas kolom distilasi I berupa vinil asetat dengan sedikit air dan asam asetat, kemudian produk bawahnya berupa asam asetat dengan sedikit air dan vinil asetat. Pada produk atas kolom distilasi I dialirkan menuju kolom II

untuk memisahkan vinil asetat dan air. Sedangkan produk bawah kolom distilasi I di *recycle* menuju vaporizer asam asetat.

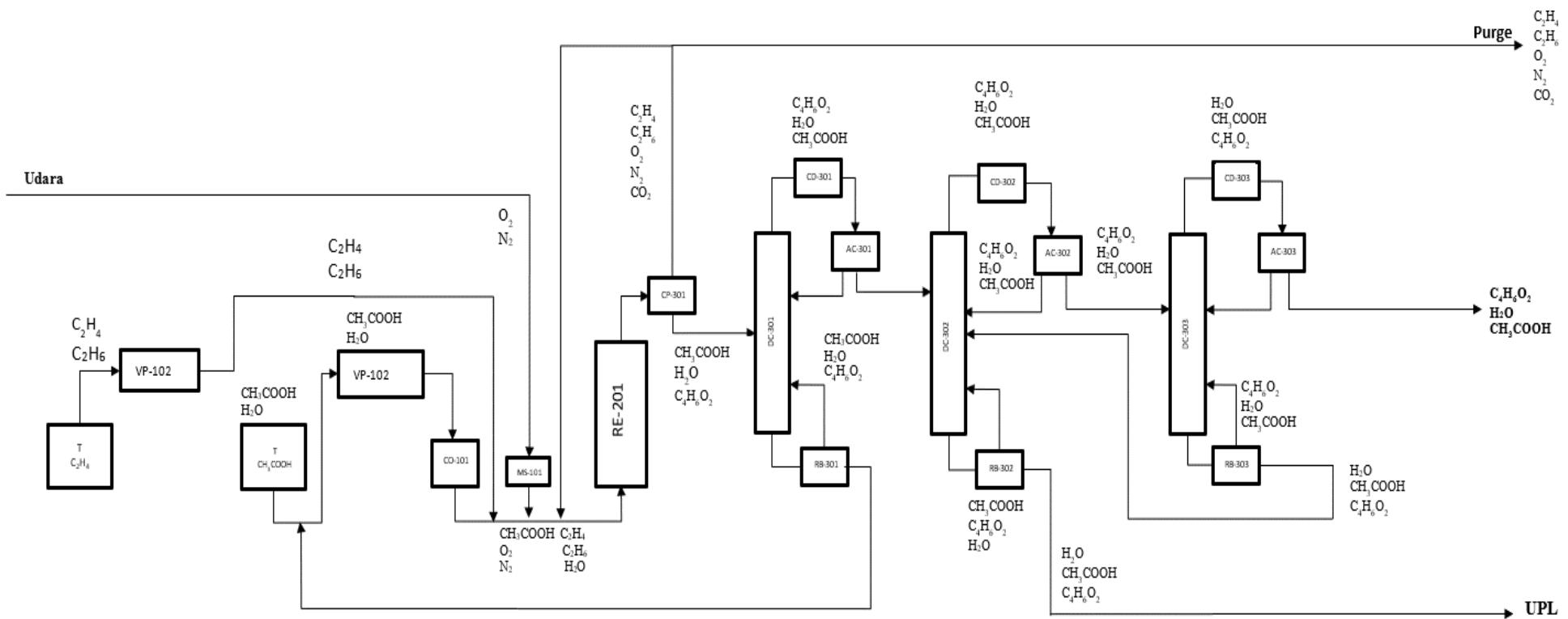
(AS9573877B2)

### **3. Tahap Pemurnian Produk**

Pada kolom distilasi II terjadi pemurnian vinil asetat dan air dengan produk distilat berupa vinil asetat dengan sedikit air dan asam asetat yang dialirkan menuju kolom distilasi III. Sedangkan produk bawah di alirkan menuju UPL. Unit pemurnian vinil asetat pada kolom distilasi III dengan produk vinil asetat berada di atas distilasi dengan kemurnian 96%. Selanjutnya *bottom* pada distilasi III berupa air, asam asetat dan sedikit vinil asetat *direcycle* ke kolom distilasi II.

(AS9573877B2)

## **Block Flow Diagram Proses Oksidasi Asam Asetat, Etilen dan Oksigen**



**Gambar 2.1** *Block flow diagram proses oksidasi*

### **BAB III**

### **SPESIFIKASI BAHAN**

#### **3.1 Bahan Baku Pembuatan Vinil Asetat**

##### **1. Etilen**

Rumus Molekul	: C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>
Berat Molekul	: 28,05 kg/kmol
Fase	: Gas
Warna	: Tidak berwarna
Titik leleh	: -169,15°C
Titik didih	: -110,73 °C
Temperatur kritis	: 9,19 °C
Tekanan	: 49,751 atm
Densitas larutan	: 577 (-110) kg/m <sup>3</sup> (°C)
Kemurnian	: ≥ 99,99 %
Sifat fisik	: Gas yang sangat mudah terbakar

(Dimian, 2008)

##### **2. Asam Asetat**

Rumus Molekul	: CH <sub>3</sub> COOH
Berat Molekul	: 60,05 kg/kmol
Fase	: Cair
Warna	: Tidak Berwarna
Titik leleh	: 16,78 °C
Titik didih	: 117,89 °C
Temperatur kritis	: 421,3 °C
Tekanan kritis	: 57,143 atm
Densitas larutan	: 1049,2 (20) kg/m <sup>3</sup> (°C)
Kemurnian	: 99,8%
Sifat fisik	: Cairan dan uap mudah menyala

(Dimian, 2008)

### 3. Oksigen

Rumus Molekul	: O <sub>2</sub>
Berat Molekul	: 31,99 kg/kmol
Fase	: Gas
Warna	: Tidak Berwarna
Titik leleh	: -218,79 °C
Titik didih	: -182,98 °C
Temperatur kritis	: -118,57 °C
Tekanan kritis	: 50,76 atm
Kemurnian	: 99,9%
Sifat fisik	: Dapat memperparah kebakaran, oksidator, mengandung gas bertekanan.

(Dimian, 2008)

### 3.2 Produk yang dihasilkan

#### 1. Vinil asetat

Rumus Molekul	: C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>
Berat Molekul	: 86,08 kg/mol
Nomor CAS	: 108-05-4
Fase	: Cair
Warna	: Tak berwarna hingga kekuningan
Titik Leleh	: -92,8 °C
Titik Didih	: 72,8 °C
Temperatur Kritis	: 256 °C
Tekanan Kritis	: 39,773 atm
Densitas Larutan	: 934 (20) kg/m <sup>3</sup> (°C)
Kemurnian	: ≥ 99,9%
Impuritis	: Air (maks 0,04%), Asam Asetat (maks 0,005%)
Sifat fisik	: Cairan dan uap sangat mudah terbakar.

(Dimian, 2008)

## 2. Air (H<sub>2</sub>O)

Rumus Molekul	: H <sub>2</sub> O
Berat Molekul	: 18,01 kg/mol
Fase	: Cair
Warna	: Tak berwarna hingga kekuningan
Titik Leleh	: 0 °C
Titik Didih	: 100 °C
Temperatur Kritis	: 400,99 °C
Tekanan Kritis	: 217,775 atm
Densitas Larutan	: 1.000 (15) kg/m <sup>3</sup> (°C)

(Dimian, 2008)

### 3.3 Kesehatan dan Keselamatan Para Pekerja

Vinil asetat adalah senyawa kimia berbentuk cairan tidak berwarna dengan bau khas yang sangat mudah menguap dan mudah terbakar. Senyawa ini tergolong sebagai bahan berbahaya yang dapat memberikan dampak negatif bagi kesehatan manusia maupun lingkungan. Paparan vinil asetat dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernapasan, sementara kontak langsung dengan kulit atau mata dapat menimbulkan iritasi lokal yang cukup serius. Apabila terjadi kecelakaan kerja yang melibatkan vinil asetat, langkah penanganan harus segera dilakukan. Jika vinil asetat terhirup, korban harus segera dibawa ke tempat dengan udara segar dan jika pernapasan berhenti, segera berikan pernapasan buatan secara mekanik atau bantuan oksigen. Jika terjadi kontak dengan kulit, segera lepas pakaian yang terkontaminasi dan bilas kulit dengan air mengalir atau mandi di bawah pancuran air. Jika terkena mata, segera bilas dengan air dalam jumlah banyak dan hubungi dokter mata untuk pemeriksaan lebih lanjut. Sementara itu, jika vinil asetat tertelan, segera beri minum air putih sebanyak mungkin, setidaknya dua gelas, untuk membantu mengencerkan bahan yang tertelan sebelum mendapatkan penanganan medis. Alat perlindungan diri yang harus digunakan untuk mengurangi resiko kecelakaan kerja yaitu:

- Kacamata pengaman.
- Masker respirator sesuai dengan standar NIOSH atau EN (N95, P100, atau respirator berbasis uap organik).
- Sarung tangan tahan bahan kimia (nitril, neoprene, atau PVC). Gunakan Teknik melepas sarung tangan tanpa menyentuh permukaan luar sarung tangan untuk menghindari kontak kulit dengan produk. Buang sarung tangan yang telah terkontaminasi, kemudian cuci dan keringkan tangan.
- Pakaian pelindung yang tahan api (bahan yang digunakan nomex, kevler, polyester tahan api, atau modakrilik).
- Sepatu pelindung.
- Perlindungan telinga.

Tindakan yang dilakukan apabila terjadi kebakaran segera padamkan api dengan menggunakan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), busa tahan alkohol, dan bahan kimia kering. perlu diwaspadai adanya bahaya khusus selama kebakaran, seperti pelepasan karbon oksida serta sifat bahan yang sangat mudah menyala. Petugas pemadam kebakaran disarankan untuk tidak memasuki zona berbahaya tanpa peralatan pelindung pernapasan yang sesuai. Selain itu, untuk menghindari kontak langsung dengan kulit, penting bagi petugas untuk menjaga jarak aman dan mengenakan pakaian pelindung yang sesuai. Jika memungkinkan, wadah bahan kimia harus dipindahkan dari area berbahaya dan didinginkan dengan semprotan air. Air pemadam kebakaran harus dicegah agar tidak mencemari air permukaan maupun sistem air tanah, karena dapat menyebabkan dampak lingkungan lebih lanjut.

Jika terjadi tumpahan atau kebocoran vinil asetat, langkah pertama yang harus diambil adalah melindungi diri dan melakukan tindakan tanggap darurat yang sesuai. Personel non-darurat disarankan untuk tidak menghirup uap atau aerosol yang mungkin terbentuk, serta menghindari kontak langsung dengan bahan tersebut. Segera hubungi tim tanggap darurat atau petugas K3. Gunakan tanda peringatan untuk mencegah orang memasuki zona berbahaya. Pastikan ventilasi ruangan cukup agar uap tidak terakumulasi dan membahayakan. Area

sekitar harus dijauhkan dari sumber panas dan api, termasuk mesin, listrik statis, dan peralatan yang dapat memicu api karena vinil asetat mudah terbakar. Untuk penanganan tumpahan gunakan bahan penyerap bahan non reaktif seperti pasir kering dan vermiculit. Hindari menggunakan bahan penyerap berbasis air karena dapat memperluas tumpahan. Dari sisi lingkungan, penting untuk memastikan bahwa vinil asetat tidak masuk ke dalam saluran pembuangan, karena dapat menimbulkan risiko ledakan dan pencemaran. Pencegahan terhadap kontaminasi lingkungan harus menjadi prioritas selama proses penanganan kebocoran atau tumpahan.

## **BAB X**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **10.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik Vinil Asetat dengan kapasitas 36.000 ton/tahun. Pabrik ini akan didirikan di tahun 2028 dan merupakan satu-satunya pabrik vinil asetat di Indonesia. Berdasarkan tinjauan dan perhitungan, kesimpulan dalam perancangan pabrik ini sebagai berikut.

1. Ditinjau dari segi pengadaan bahan baku, transportasi, pemasaran, dan lingkungan, maka pabrik Vinil asetat direncanakan berdiri di Daerah Warnasari, Kec. Citangkil, Kota Cilegon, Banten.
2. Teknologi proses yang digunakan dalam prarancangan pabrik Vinil asetat menggunakan proses oksidasi Etilen dan Asam asetat menggunakan katalis Pd-Au. Hasil produk dari unit pemurnian berupa Vinil asetat dengan kemurnian 99,7%.
3. Berdasarkan hasil analisis teknis dan ekonomi, maka pabrik Vinil asetat ini layak untuk didirikan dengan hasil perhitungan analisis ekonomi sebagai berikut :
  - a. *Percent Return on Investment* (ROI) sebelum pajak 22,67% dan setelah pajak yaitu 21,57 % sudah memenuhi standar.
  - b. *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak yaitu 2,827 tahun dan 3,300 tahun setelah pajak.
  - c. *Break Even Point* (BEP) sebesar 45,34%, dimana rentang BEP standar antara 30–60%. Nilai *Shut Down Point* (SDP) sebesar 20,91%, 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 25,02%, lebih besar dari suku bunga bank sekarang sehingga investor akan lebih memilih untuk berinvestasi ke pabrik ini daripada ke bank.

## 10.2 Saran

Aspek-aspek penting yang perlu dilakukan dalam perancangan suatu pabrik kimia adalah meningkatkan kelayakan pendirianya. Aspek yang perlu ditinjau lebih lanjut dalam proses ini meliputi:

- Optimalisasi penggunaan alat dan efektivitas kondisi operasi berlangsung untuk meningkatkan kelayakan pendirian pabrik dari segi ekonomi.
- Pabrik kimia dapat lebih mempertimbangkan orientasi lingkungan sehingga pabrik dapat dikategorikan sebagai pabrik ramah lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2020). *Statistik Perdagangan Luar Negeri 2020 Foreign Trade Statistics 2020 Impor/Import*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Badan Pusat Statistik. (2021). *Statistik Perdagangan Luar Negeri 2021 Foreign Trade Statistics 2021 Impor/Import*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Badan Pusat Statistika. (2022). *Statistik Perdagangan Luar Negeri 2022 Foreign Trade Statistics 2022 Impor/Import*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Badan Pusat Statistika. (2023). *Statistik Perdagangan Luar Negeri 2023 Foreign Trade Statistics 2023 Impor/Import*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Badan Pusat Statistika. (2024). *Statistik Perdagangan Luar Negeri 2024 Foreign Trade Statistics 2024 Impor/Import*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Brownell, Lloyd E and Edwin H. Young. 1959. *Process Equipment Design*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Coulson, Richardson, 1999, *Chemical Engineering*, volume 6, third edition, New York, Butterworth Heinemann.
- Dimian, Alexandre. C and Bildea, Costi. S, 2008, “*Chemical Process Design*”, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, Germany
- Geankolis, Christie J. 1978. *Transport Processes and Unit Operations. 3 rd Edition*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Kern, Donald Q. 1950. *Process Heat Transfer*. Singapore: McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Kirk, R. E. and D. F. Othmer. 1998. *Encyclopedia of Chemical Technology*. Volume

1. 4th Edition. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Ludwig, E.E., 1964. "Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants", Gulf Publishing Company Houston, Texas,.
- Perry, Green, 2008, *Perry's Chemical Engineers' handbook*, 8th edition, McGrawHill Companies, Inc., United State.
- Peter, M.S. and Timmerhous, K.D., 1991, "Plant Design and Economic for Chemical Engineers", 4<sup>th</sup> edition, McGraw-Hill Inc. New York.
- Sinnott, R. K. 2005. Coulson & Richardson's *Chemical Engineering Design*. Volume 6. 4th Edition. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Smith, J. M., Van Ness, H.C. & Abbott, M.M. (2001). *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics (6<sup>th</sup> ed)*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc
- Ullmann's, 2003. "Encyclopedia of Industrial Chemistry", 6th edition, Willey.
- Ulrich Gael D, 1984, *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*, Canada, John Willey & Sons, Inc.
- Walas, Stanley M., et al. 2012. *Chemical Process Equipment: Selection and Design*. 3 rd Edition. Oxford: Elsevier, Inc.
- Yaws, Carl L. 2009. *Transport Properties of Chemicals and Hydrocarbons: Viscosity, Thermal Conductivity, and Diffusivity of C1 to C100 organics and Ac to Zr Inorganics*. USA: William Andrew Inc.