



**PRA DESAIN PABRIK *VINYL ACETATE MONOMER*
DARI ETILENA, ASAM SETAT, DAN OKSIGEN DENGAN KAPASITAS
50.000 TON/TAHUN: STUDI *WATER TREATMENT PROCESS***

Skripsi

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar

Sarjana Teknik Program Studi Teknik Kimia

Oleh

Candra Adi Bintang

NIM. 5213415036

TEKNIK KIMIA

JURUSAN TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2019

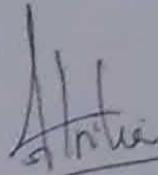
PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Candra Adi Bintang
NIM : 5213415036
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Prarancangan Pabrik Vinil Asetat Monomer dari Etilena, Asam
Asetat dan Oksigen dengan Kapasitas 50.000 Ton/Tahun

Skripsi ini telah disetujui untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi program studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 08 Agustus 2019

Pembimbing



Dr. Astrilia Damayanti, S.T., M.T.

NIP. 197309082006042001

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul "Pra Desain Pabrik *Vinyl Acetate Monomer* dari Etilena, Asam Asetat dan Oksigen dengan Kapasitas 50.000 Ton/Tahun: Studi *Water Treatment Process*" telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 16 bulan Agustus tahun 2019.

Oleh:

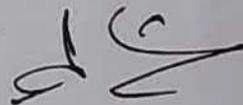
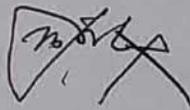
Nama : Candra Adi Bintang

NIM : 5213415036

Program Studi : Teknik Kimia

Ketua Panitia

Sekretaris



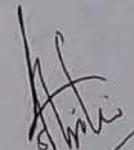
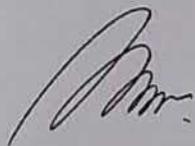
Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T.
NIP. 197405191999032001

Dr. Megawati, S.T., M.T.
NIP. 197211062006042001

Penguji 1,

Penguji 2,

Pembimbing,



Bayu Triwibowo, S.T., M.T.
NIP. 198811222014041001

Dhoni Hartanto, S.T., M.T., M.Sc.
NIP. 198711112015041003

Dr. Astrilia Damayanti, S.T., M.T.
NIP. 197309082006042001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang



Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.
NIP. 196911301994031001

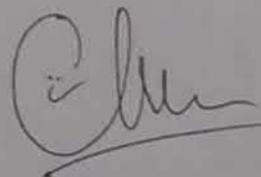
PERNYATAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 21 Agustus 2019

Yang membuat pernyataan,



Candra Adi Bintang
NIM. 5213415036

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“Sebaik-baiknya seorang manusia adalah manusia yang bermanfaat, sebaik-baiknya sebuah bangsa adalah bangsa yang mandiri.”

PERSEMBAHAN

1. Allah SWT.
2. Kedua Orang Tua.
3. Dosen-dosenku.
4. Kawan-kawanku
5. Almamaterku.

ABSTRAK

PRA DESAIN PABRIK VINYL ACETATE MONOMER DARI ETILENA, ASAM SETAT, DAN OKSIGEN DENGAN KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN: STUDI WATER TREATMENT PROCESS

Pabrik *Vinyl Acetate Monomer* ini dirancang dengan kapasitas 50.000 ton/tahun. Bahan baku yang dibutuhkan adalah etilena sebesar 17.318 ton/tahun, asam asetat 35.595 ton/tahun, oksigen 9.302 ton/tahun dan katalis paladium 1,15 ton/tahun. Produk yang dihasilkan berupa Vinil Asetat Monomer dengan kemurnian 99,9%. Lokasi pabrik direncanakan di *Krakatau Industrial Estate Cilegon* (KIEC), Kota Cilegon. Pabrik Vinil Asetat Monomer ini beroperasi 24 jam selama 330 hari per tahun. Peralatan proses yang digunakan antara lain tangki penyimpanan, pompa, *heat exchanger*, *compressor*, reaktor, separator, absorber, menara distilasi, akumulator, stripper, dekanter dan *expansion valve*. Unit pendukung proses didirikan untuk menunjang proses produksi yang terdiri dari unit penyediaan air, *steam*, tenaga listrik, penyediaan bahan bakar, serta unit pengolahan limbah. Agar mutu bahan baku dan kualitas produk tetap terkendali, maka keberadaan laboratorium sangat diperlukan. Bentuk perusahaan adalah Perseroan Terbatas (PT) dengan struktur organisasi *line and staff*. Sistem kerja karyawan berdasarkan pembagian jam kerja yang terdiri dari karyawan *shiff* dan *non shift*. Hasil analisa kelayakan diperoleh hasil ROI sebesar 39,37%, BEP sebesar 35,60%, SDP sebesar 23,64%, dan POT dalam waktu 2,17 tahun. Dari analisa ekonomi yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa pendirian pabrik Vinil Asetat Monomer dengan kapasitas 50.000 ton/tahun layak dipertimbangkan untuk direalisasikan pembangunannya.

Kata Kunci: *vinyl acetate monomer, water treatment, utility*

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan judul “Prarancang Pabrik *Vinyl Acetate Monomer* dari Etilena, Asam Asetat, dan Oksigen dengan Kapasitas 50.000 Ton/Tahun: Studi *Water Treatment Process*”.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis memperoleh banyak bantuan baik berupa moral maupun spiritual dari berbagai pihak, oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang.
2. Ibu Dr. Astrilia Damayanti, S.T.,M.T., selaku dosen pembimbing yang selalu memberi bimbingan, motivasi dan arahan yang membangun dalam penyusunan skripsi.
3. Bapak Dhoni Hartanto, S.T., M.T., M.Sc., dan Bapak Bayu Triwibowo, S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan pengarahan dalam penyempurnaan penyusunan skripsi.
4. Kedua Orang tua dan keluarga atas dukungan doa, materi, dan semangat yang senantiasa diberikan tanpa kenal lelah.
5. Teman-teman Teknik Kimia Angkatan 2015 serta semua pihak yang telah memberikan semangat dan dukungan sehingga kami dapat menyelesaikan Skripsi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun, guna menjadikan skripsi ini lebih baik.

Semarang, 16 Agustus 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN COVER.....	i
PENGESAHAN PEMBIMBING.....	ii
PENGESAHAN PENGUJI.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	19
BAB III METODE PENELITIAN.....	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	44
BAB V KESIMPULAN	61
DAFTAR PUSTAKA	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Pendirian Pabrik

Perkembangan industri kimia di Indonesia saat ini terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan ekonomi, baik industri *intermediate* maupun bahan jadi yang siap dipasarkan. Untuk memenuhi kebutuhan akan bahan kimia, saat ini Indonesia masih melakukan impor baik bahan baku maupun bahan penunjang dari luar negeri. Bahan baku yang dibutuhkan dalam industri kimia sebenarnya telah dimiliki oleh Indonesia yang mempunyai kekayaan alam berlimpah. Namun pemanfaatannya dirasa masih belum optimal sehingga belum mampu untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri.

Salah satu industri kimia yang cukup menarik adalah pembuatan Vinil Asetat Monomer. Dalam kurun waktu 15 tahun terakhir impor Vinil Asetat Monomer meningkat 150% dari 20000 ton pada 2001 hingga 50000 ton pada 2016 (Badan Pusat Statistik, 2018). Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa tingkat konsumsi Vinil Asetat Monomer di Indonesia cukup besar, akan tetapi pemenuhan kebutuhan Vinil Asetat Monomer ini masih didatangkan dari negara lain dengan cara impor. Untuk menghilangkan ketergantungan terhadap impor sehingga menciptakan kemandirian industri kimia di Indonesia, maka diperlukan usaha untuk memproduksi Vinil Asetat dengan cara pendirian pabrik baru. Sesuai dengan hal tersebut, pendirian pabrik Vinil Asetat akan membantu untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri.

Vinyl Acetate Monomer (VAM) atau Vinil Asetat adalah senyawa organik dengan rumus $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{CH}=\text{CH}_2$. Cairan tak berwarna ini adalah

prekursor untuk polivinil asetat, polimer industri yang penting. Monomer Vinil Asetat adalah cairan tak berwarna dengan titik nyala rendah, serta memiliki bau yang khas. Monomer vinil asetat larut dalam kebanyakan pelarut organik termasuk pelarut terklorinasi, tetapi tidak larut dalam air. Monomer vinil asetat mudah terpolimerisasi dengan ester akrilat untuk menghasilkan polimer, hal ini dapat dihambat dengan hydroquinone (Celanese, 2011).

Sering pula digunakan sebagai polimer yaitu polivinil asetat yang digunakan sebagai bahan baku produksi cat, lem, pelapis kertas dan agen finishing untuk industri tekstil. Sedangkan polimer polivinil alkohol digunakan sebagai agen pengental dan koloid pelindung. Dapat juga digunakan sebagai ko-polimer seperti vinil asetat/etilena, etilena/vinil asetat maupun etilena/vinil alkohol (Celanese, 2011).

Bahan baku yang digunakan untuk membuat vinil asetat adalah etilena, asam asetat dan oksigen. Etilena diperoleh dari PT. Chandra Asri Petrochemical yang berlokasi di Cilegon. Asam asetat diperoleh dari Celanese pabrik Singapura. Oksigen diperoleh dari PT Air Liquid yang berada di Cilegon.

Meningkatnya permintaan vinil asetat di Indonesia membuat pembangunan pabrik vinil asetat perlu didirikan dengan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut:

- 1) Masih terbatasnya ketersediaan vinil asetat di Indonesia, sedangkan kebutuhan akan vinil asetat belum terpenuhi dari dalam negeri.

- 2) Memacu berdirinya pabrik-pabrik yang menggunakan vinil asetat sebagai bahan baku seperti industri cat, adhesive, lem, fil, tinta, tekstil dan industri kertas.
- 3) Berkontribusi pada pertumbuhan ekonomi dalam negeri khususnya bagi kota didirikannya pabrik.
- 4) Menciptakan lapangan pekerjaan baru bagi masyarakat sehingga dapat mengurangi angka pengangguran.

1.2. Pemilihan Lokasi Pabrik

Penentuan lokasi pabrik merupakan hal yang sangat penting dalam perencanaan pabrik karena dapat mempengaruhi aktivitas pabrik baik menyangkut produksi maupun distribusi dan diharapkan memberikan keuntungan untuk jangka panjang. Lokasi suatu pabrik akan memberikan dampak tersendiri pada kondisi daerah di sekitarnya, demikian juga dengan lingkungan seperti pemakaian udara dan air di sekitar lingkungan ditambah dengan limbah hasil proses produksi dari pabrik itu sendiri. Pemilihan lokasi yang tepat harus memberikan suatu perhitungan biaya produksi dan distribusi yang minimal serta pertimbangan sosiologi, yaitu pertimbangan dalam mempelajari sikap dan sifat masyarakat di sekitar lokasi pabrik (Peters, Timmerhaus, & West, 2003). Beberapa pertimbangan untuk menentukan lokasi pabrik agar secara teknis maupun ekonomis dapat menguntungkan, antara lain: sumber bahan baku, utilitas, sumber daya manusia, transportasi dan pemasaran, iklim dan cuaca, kebijakan pemerintah, keadaan masyarakat, serta ketersediaan lahan.

Terdapat dua pilihan alternatif lokasi pabrik, yaitu di **Kawasan Krakatau Industrial Estate Cilegon (KIEC), Banten** dan di daerah **Kemiri, Kebakkramat, Kabupaten Karanganyar, Jawa Tengah**. Kawasan Krakatau Industrial Estate Cilegon dipilih berdasarkan letak bahan baku pokok Etilena, sedangkan daerah Kemiri, Kebakkramat, Kabupaten Karanganyar dipilih berdasarkan letak bahan baku pokok asam asetat.

Berikut adalah perbandingan pemilihan lokasi pabrik vinil asetat berdasarkan metode kualitatif dengan pemeringkatan faktor.

Tabel 1.1. Perbandingan Pemilihan Lokasi Pabrik Vinil Asetat

Faktor	Kawasan Krakatau Industrial Estate Cilegon, Banten	Kemiri, Kebakkramat, Kabupaten Karanganyar, Jawa Tengah
Bahan baku	Dekat dengan bahan baku etilena yaitu didapatkan dari PT Chandra Asri Petrochemical Center dan oksigen didapatkan dari PT Air Liquide Indonesia, Cilegon.	Dekat dengan bahan baku asam asetat yaitu didapatkan dari PT Indo Acidatama dan oksigen didapatkan dari PT Samator Gas Industry dan PT Suraharta Oxygen
Transportasi	Sarana transportasi didukung dengan adanya Jalan Tol Tangerang-Merak dan Pelabuhan Merak, Banten.	Sarana transportasi hanya didukung oleh Jalan Tol Solo-Kertosono
Pasar utama	Dekat dengan pasar.	Jauh dari pasar sehingga memerlukan biaya lebih untuk distribusi produk
Tenaga kerja	Sangat mudah didapat karena lokasi merupakan daerah kawasan industri.	Relatif mudah didapat
Utilitas	Didukung Pertamina, PLN dan air melimpah.	Didukung Pertamina, PLN dan air melimpah
Ketersediaan lahan	Lahan kosong sangat luas	Lahan kosong sangat luas
Kebijakan pemerintah	Mendapatkan dukungan penuh	Didukung dengan persetujuan
Kondisi iklim dan cuaca	Kondisi iklim dan cuaca stabil	Kondisi iklim dan cuaca stabil

Kemudian dilakukan pemeringkatan faktor dengan menetapkan bobot dan skor tiap faktor. Bobot tiap faktor ditentukan berdasarkan besarnya pengaruh faktor tersebut terhadap keberlangsungan pabrik. Selanjutnya mengalikan skor dengan bobot dan menentukan total untuk setiap lokasi. Pilihan lokasi dengan total poin terbanyak maka akan dijadikan sebagai lokasi didirikannya pabrik vinil asetat. Berikut adalah pemeringkatan faktor dengan bobot dan skor.

Tabel 1.2. Pemeringkatan Faktor Lokasi Pendirian Vinil Asetat

Faktor	Bobot	Skor		Skor terimbang	
		Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 1	Lokasi 2
Bahan baku	0.20	80	80	16.00	16.00
Transportasi	0.15	75	70	11.25	10.50
Pasar Utama	0.20	85	60	17.00	12.00
Tenaga Kerja	0.05	75	70	3.75	3.50
Utilitas	0.15	80	80	12.00	12.00
Ketersediaan Lahan	0.10	85	75	8.50	7.50
Kebijakan Pemerintah	0.05	75	75	3.75	3.75
Kondisi Cuaca dan Iklim	0.10	70	70	7.00	7.00
TOTAL	1.00			79.25	72.25

Keterangan:

≥ 85 : Sangat baik

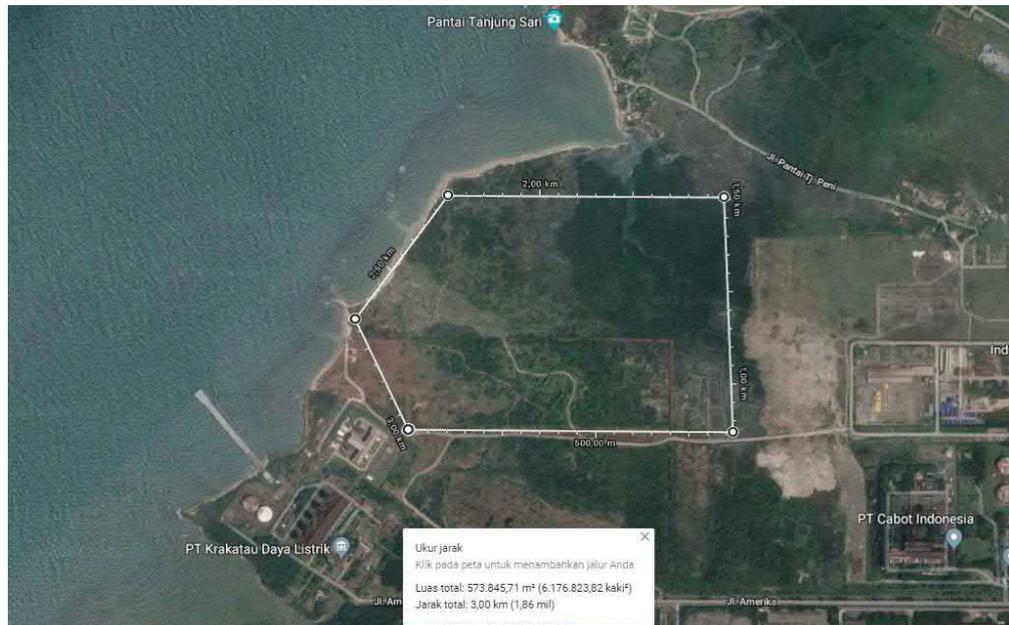
75 – 84 : Baik

65 – 74 : Cukup

≤ 64 : Kurang

Dari perhitungan pemeringkatan berbagai faktor, pabrik vinil asetat direncanakan akan didirikan di kawasan **Krakatau Industrial Estate Cilegon (KIEC)**, **Banten** dengan luas ketersediaan lahan berkisar 573.845 m².

Pemilihan ini dimaksudkan untuk mendapatkan keuntungan secara teknis maupun ekonomis dengan pertimbangan beberapa faktor.



Gambar 1.1. Lokasi Pabrik Vinil Asetat

Adapun faktor-faktor pertimbangan yang menjadi landasan penentuan lokasi adalah sebagai berikut:

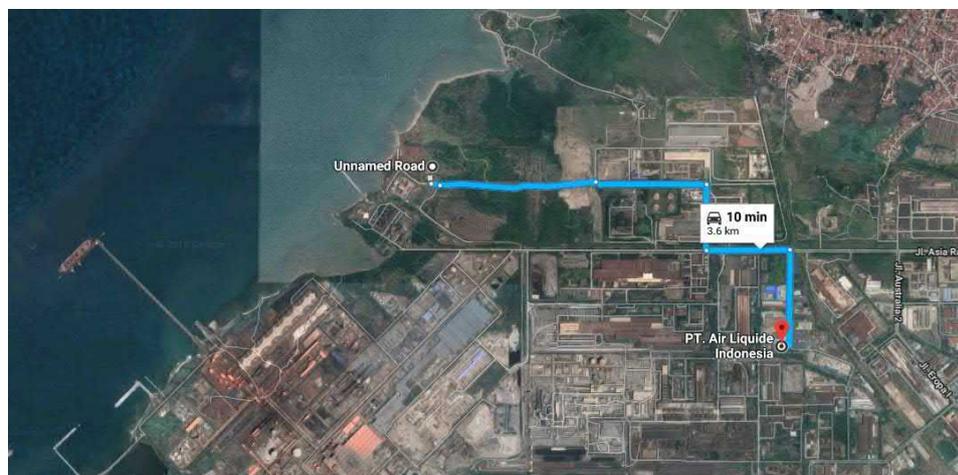
1.2.1. Sumber Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku menjadi pertimbangan untuk mendirikan suatu pabrik. Jumlah dan jarak jangkauan bahan baku dapat mempengaruhi baik dari segi kualitas maupun ekonomi. Pemilihan lokasi pabrik yang berdekatan dengan bahan baku memberikan keuntungan tersendiri, hal ini dikarenakan dapat mengurangi waktu dan jarak yang dibutuhkan dalam pendistribusian bahan baku sehingga biaya transportasi dapat diminimalisir. Pemilihan lokasi pabrik di kawasan industri Krakatau Cilegon sangat strategis karena dekat dengan bahan baku.

Bahan baku pabrik vinyl asetat yaitu Etilena disuplai dari PT Chandra Asri Petrochemical Center yang terletak di desa sugih dengan kapasitas 860.000 ton/tahun, Cilegon. Oksigen diperoleh dari PT Air Liquide Indonesia, Cilegon dengan 580.350 ton/tahun. Sedangkan kebutuhan asam asetat diperoleh dari Celanese Singapore Pte Ltd, Singapura dengan kapasitas 600.000 ton/tahun.



Gambar 1.2. Jarak Tempuh Lokasi Pabrik dengan PT Chandra Asri Petrochemical Center



Gambar 1.3. Jarak Tempuh Lokasi Pabrik dengan PT Air Liquide Indonesia

1.2.2. Utilitas

Utilitas yang dibutuhkan adalah keperluan tenaga listrik, air, dan bahan bakar. Karena daerah Cilegon merupakan kawasan industri maka untuk keperluan utilitas dapat dipenuhi dengan mudah. Air yang dibutuhkan diperoleh dari Waduk Krenceng yang lokasinya tidak jauh dari pabrik untuk proses, sarana utilitas, dan kebutuhan domestik. Waduk ini mempunyai luas 112 ha dengan volume $\pm 5,4$ juta m^3 . Air waduk ini biasa digunakan untuk kebutuhan domestik dan juga kawasan industri di sekitarnya dengan kondisi kualitas air yaitu suhu berkisar antara 27-31°C, kecerahan antara 0,16-0,25m, pH antara 7,58-8,37, DO antara 6,6-12,5 mg/l, Nitrat antara 1,1-9,4 mg/l, fosfat antara 0,12-0,35 mg/l dan kandungan khlorofil-a perairan berkisar antara 22,45-391,13 $\mu g/l$ (Dwi & Syamiazi, 2015). Untuk kebutuhan energi listrik dapat disuplai menggunakan generator *diesel* pada unit utilitas. Apabila tidak memenuhi atau terjadi kendala pada unit, suplai energi dapat didukung oleh PT Krakatau Daya Listrik dengan total kapasitas mencapai 520 mega watt. Sedangkan untuk kebutuhan bahan bakar diperoleh dari PT Pertamina depot Banten.

1.2.3. Ketersediaan Tenaga Kerja

Kebutuhan tenaga kerja dapat dipenuhi dengan mudah, karena di daerah kawasan industri merupakan salah satu tujuan para tenaga kerja dengan berbagai keterampilan dalam mencari lapangan pekerjaan. Hal ini juga sekaligus dapat mengurangi jumlah pengangguran yang ada. Di Provinsi Banten sendiri angka pengangguran mengalami kenaikan terhitung dari

Februari 2017 hingga Februari 2018 mencapai 7,12% penduduk. Dengan didirikannya pabrik ini diharapkan dapat mendukung program pemerataan penduduk dari pemerintah.

Tabel 1.3. Jumlah Pengangguran Menurut Pendidikan di Provinsi Banten

Pendidikan Tertinggi yang Ditamatkan	Jumlah Pengangguran menurut Pendidikan di Provinsi Banten Agustus 2016 – Februari 2018			
	Agustus 2016 (%)	Februari 2017 (%)	Agustus 2017 (%)	Februari 2018 (%)
	SD ke bawah	32,19	24,48	21,72
SMP	18,66	24,07	22,08	24,61
SMA	17,64	25,34	27,91	25,00
SMK	23,64	19,34	20,26	18,55
Diploma I/II/III	2,00	1,61	1,32	1,55
Universitas	5,86	5,16	6,71	5,58
Jumlah	100,00	100,00	100,00	100,00

Sumber: (Badan Pusat Statistik, 2018)

Tabel 1.4. Jumlah Informasi Pencari Kerja Dirinci Menurut Dinas Tenaga Kerja Kabupaten/Kota

Kabupaten/ Kota	Informasi Pencari Kerja Dirinci Menurut Dinas Tenaga Kerja Kabupaten/Kota (Jiwa)						
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Kab Pandeglang	14040	21457	25938	15826	15826	15826	111055
Kab Lebak	14510	14569	14150	14546	14355	14546	124080
Kab Tangerang	57619	49750	49716	49826	58704	49826	130888
Kab Serang	8695	14281	18035	15450	16450	15450	262516
Kota Tangerang	13887	15968	15388	17639	29638	17639	230742
Kota Cilegon	11678	13245	12654	14884	11531	14884	84987
Kota Serang	20101	-	20101	21253	21057	21253	126132
Kota Tangerang Selatan	8273	10002	12250	16770	16285	16770	110038
Provinsi Banten	148803	139272	168238	166194	183846	166194	1180438

Sumber: (Badan Pusat Statistik, 2018)

1.2.4. Sarana Transportasi

Transportasi daerah Cilegon cukup mudah karena adanya fasilitas Jalan Tol Tangerang-Merak dan dilalui jalur rel kereta api sehingga tidak terlalu sulit untuk transportasi jalur darat. Selain itu juga cukup dekat dengan Pelabuhan Merak, Banten sehingga dapat menjangkau transportasi jalur air dan pendistribusian antar pulau hingga luar negeri. Letak Cilegon dengan kawasan industri Merak dan Tangerang juga memudahkan dalam distribusi produk.

1.2.5. Pasar Utama

Produk vinil asetat ditujukan untuk memenuhi kebutuhan permintaan dalam negeri. Mengingat masih terbatasnya produsen vinil asetat sedangkan produk banyak digunakan dalam industri polimer, cat, bahan adhesive, pelapis, lem, fim, tinta, tekstil dan industri kertas di Indonesia. Daerah kawasan industri Cilegon merupakan lokasi yang cukup strategis karena memiliki pelabuhan yang berskala internasional dan berada dalam jalur transportasi utama. Lokasi pemasaran akan sangat mempengaruhi harga produk dan biaya transportasi yang dibutuhkan untuk pendistribusian produk kepada konsumen. Oleh karena itu lokasi pabrik yang sangat berdekatan dengan pasar utama merupakan pertimbangan yang sangat penting. Letak pabrik cukup dekat dengan berbagai kawasan industri terutama di daerah Jawa Barat dan Jabodetabek sehingga produk akan dapat dengan mudah dipasarkan. Berikut adalah beberapa perusahaan yang diketahui menggunakan vinil asetat sebagai salah satu bahan baku dalam produknya.

Tabel 1.5. Daftar Perusahaan yang Menggunakan Vinil Asetat

No	Nama Perusahaan	Alamat
1.	PT. Avantchem	Jl. Jend Sudirman Kav.1, Wisma 46 BNI, Jakarta Selatan, DKI Jakarta
2.	PT. Clariant Indonesia	Jl. Kalisabi No. 1, Gatot Subroto Km.4, Kec. Cibodas, Tangerang, Banten
3.	PT. Dynea Indria	Jl. Rawa Terate I/3, Pulogadung Industrial Estate, Jakarta Timur, DKI Jakarta
4.	PT. Henkel Indonesien	Jl. Raya Jakarta-Bogor Km 31.2 Cimanggis, Depok, Jawa Barat
5.	PT. Ori Polytec Composites	Akasia Ii Blok A9-3 Delta Silicon Lippo Cikarang, Bekasi, Jawa Barat
6.	PT. Yoshida Megajaya Kimindo	Jl. Industri Ii No.5 Cimareme, Padalarang, Bandung Barat, Jawa Barat
7.	PT. Aster Decorindo Abadi	Jl. Raya Curug Km2, Desa Kadu, Kec. Curug, Tangerang, Banten
8.	PT. Chemifin Jaya Utama	Jl. Bungur Besar 37 Ab Kemayoran, Jakarta Pusat, DKI Jakarta
9.	PT. Eternal Buana Chemical Industries	Jl. Raya Sserang Km 14 Dukuh Cikupa, Tangerang, Banten
10.	PT. Flexi Components	Kawasan Industri Jababeka I Blok J 7a Ds. Harjamekar, Cikarang Utara, Bekasi, Jawa Barat.

Sumber: (Kementerian Perindustrian, 2018)

1.2.6. Kondisi Iklim dan Cuaca

Posisi Indonesia di daerah tropis menyebabkan iklim di Indonesia memiliki dua musim yaitu musim penghujan dan musim kemarau. Iklim yang terlalu panas mengakibatkan diperlukannya peralatan pendingin yang lebih banyak, sedangkan iklim yang terlalu dingin mengakibatkan bertambahnya biaya konstruksi pabrik karena diperlukan perlindungan khusus pada alat-alat proses.

Secara geografis Kota Cilegon terletak antara 105°54'05" - 106°05'11" bujur timur dan 5°52'24" - 6°04'07" lintang selatan. Kota Cilegon memiliki iklim tropis dengan temperatur berkisar antara 21,9-33,5°C dan curah hujan rata-rata 100 mm perbulan (RKPD Kota Cilegon, 2016).

Lokasi pabrik di kawasan industri Cilegon merupakan daerah yang stabil, baik ditinjau dari meteorologi maupun geografisnya. Kota Cilegon mempunyai iklim tropis dengan curah hujan maksimum terjadi pada bulan Desember-Februari dan minimum pada bulan Juli-September dengan tingkat kelembaban 70-85% (BMKG, 2018).

Tabel 1.6. Suhu Udara Menurut Bulan di Kota Cilegon Tahun 2017

Bulan	Suhu Udara Menurut Bulan di Kota Cilegon Tahun 2017		
	Suhu Udara Maksimum (°C)	Suhu Udara Minimum (°C)	Suhu Udara Rata-rata (°C)
Januari	31,4	24	27,20
Februari	31,10	24	26,90
Maret	32,20	23,90	27,30
April	32,50	24,10	27,40
Mei	32,70	24,10	27,80
Juni	32,20	23,80	27,40
Juli	32,30	23,60	27,30
Agustus	32,70	23,30	27,50
September	33,10	23,50	27,70
Oktober	33,40	24,10	28,10
November	33	24,20	27,80
Desember	31,80	24,20	27,50

Sumber: (Badan Pusat Statistik, 2018)

1.2.7. Kebijakan Pemerintah

Cilegon termasuk kawasan industri yang telah ditetapkan oleh pemerintah menurut Peraturan Daerah Kota Cilegon No. 03 Tahun 2011 Tentang Rrencana Tata Ruang Wilayah Kota Cilegon tahun 2010-2030, sehingga semua hal yang menyangkut kebijakan pemerintah baik perihal perizinan lingkungan masyarakat serta faktor sosial sangat mendukung (Pemerintah Kota Cilegon, 2011). Kebijakan peraturan pemerintah Nomor 29

tahun 2012 tanggal tentang pendirian kawasan industri di setiap provinsi mendukung didirikannya Kawasan Industri Cilegon, Banten. Sehingga pendirian pabrik vinil asetat di Kawasan Krakatau Industrial Estate Cilegon (KIEC) akan mendapatkan dukungan oleh pemerintah setempat.

1.2.8. Ketersediaan Lahan

Krakatau Industrial Estate Cilegon (KIEC) terletak di kawasan industri, dikelilingi daerah perbukitan dan laut. Kontur tanah yang datar mencakup 550 hektar dan sudah terpakai 245 hektar oleh 70 perusahaan baik nasional maupun multinasional. Didesain dan dikembangkan dengan berdasarkan peraturan dari *Master Plan* Pembangunan Daerah Industri di Banten. Kawasan KIEC memiliki kondisi dan luas tanah yang sesuai untuk bangunan ataupun pabrik.

1.3. Kapasitas Perancangan Pabrik

Untuk menentukan kapasitas produksi pabrik vinil asetat monomer yang akan didirikan, terdapat beberapa faktor yang menjadi pertimbangan, seperti jumlah konsumsi produk, kebutuhan impor, pasoka bahan baku yang akan digunakan dan kapasitas pabrik yang sudah ada. Untuk menyusun kapasitas perencanaan pabrik vinil asetat monomer dilakukan dengan menghitung data impor.

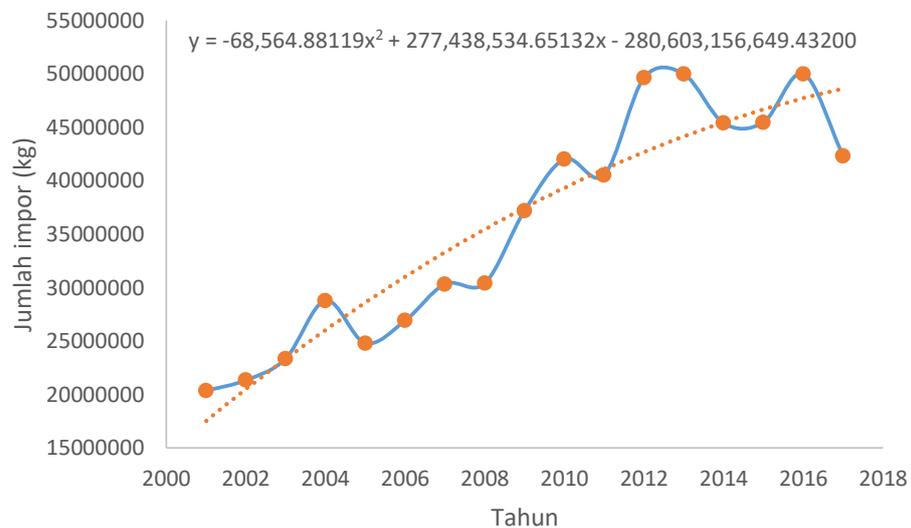
1.3.1. Kebutuhan VAM di Dalam Negeri

Berdasarkan data yang disadur dari Badan Pusat Statistik Indonesia, kebutuhan vinil asetat di Indonesia cukup besar. Data tersebut merupakan data impor vinil asetat dari tahun 2001 sampai tahun 2017, yang disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 1.7. Data Impor Vinil Asetat Monomer

Tahun	Impor vinil asetat (ton)
2001	20322,157
2002	21314,158
2003	23341,340
2004	28775,030
2005	24784,807
2006	26889,462
2007	30315,766
2008	30382,311
2009	37193,841
2010	42003,992
2011	40518,389
2012	49625,975
2013	49968,079
2014	45375,027
2015	45465,405
2016	49990,118
2017	42328,394

Sumber: (Badan Pusat Statistik, 2018)



Gambar 1.4. Data Impor Vinil Asetat Tahun 2001-2017

Dari gambar 1.4. maka diperoleh persamaan polinomial yaitu:

$$y = -68.564,88119x^2 + 277.438.534,65132x - 280.603.156.649,432 \quad (1.1)$$

Dengan y = jumlah impor Vinil Asetat

x = tahun ke- n

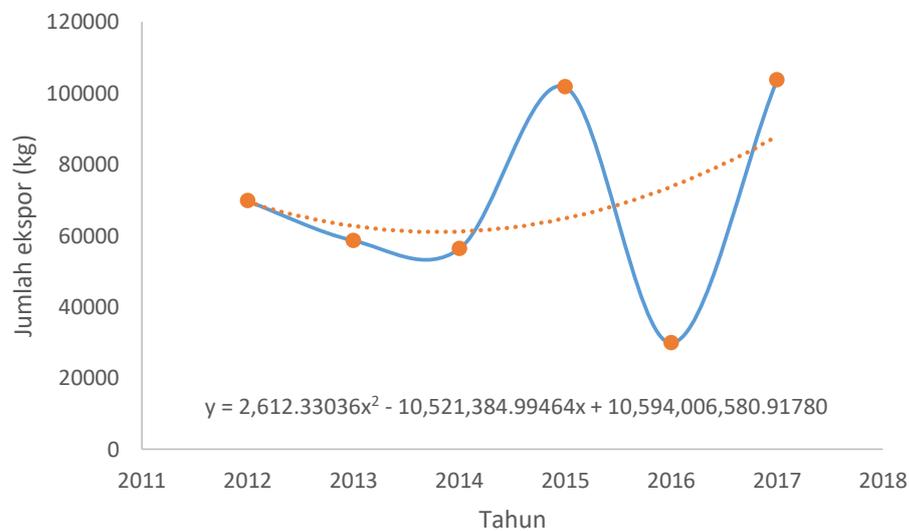
Dari persamaan tersebut dapat diperoleh perkiraan kebutuhan vinil asetat pada tahun 2025 yaitu sebesar 51010 ton/tahun.

Selain data impor vinil asetat, data ekspor juga diperlukan untuk memperkirakan peluang kapasitas rancangan produksi vinil asetat. Berikut ini adalah data ekspor vinil asetat di Indonesia,

Tabel 1.8. Data Ekspor Vinil Asetat Monomer

Tahun	Ekspor vinil asetat (ton)
2012	69,659
2013	58,587
2014	56,292
2015	101,690
2016	29,86
2017	103,674

Sumber: (Badan Pusat Statistik, 2018)



Gambar 1.5. Data Ekspor Vinil Asetat Tahun 2011-2017

Dari gambar 1.5. maka diperoleh persamaan linear yaitu:

$$y = 2.612,33036x^2 - 10.521.384,99464x + 10.594.006.580,9178 \quad (1.2)$$

Dengan y = jumlah ekspor Vinil Asetat

x = tahun ke- n

Dari persamaan tersebut dapat diperoleh perkiraan ekspor vinil asetat pada tahun 2025 yaitu sebesar 389 ton/tahun.

Dengan mempertimbangkan kebutuhan impor dan ekspor vinil asetat di Indonesia maka dapat ditentukan kapasitas pabrik vinil asetat yang akan didirikan pada tahun 2025 adalah sebagai berikut,

Peluang kapasitas produksi vinil asetat = Kebutuhan Impor – Kebutuhan

$$\text{Ekspor} \quad (1.3)$$

$$= 51010 \text{ ton} - 389 \text{ ton}$$

$$= 50621 \text{ ton}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas maka peluang kapasitas produksi vinil asetat adalah 50.000 ton. Diharapkan kapasitas produksi ini akan mengurangi angka impor vinil asetat di Indonesia.

1.3.2. Kapasitas Pabrik yang Sudah Ada

Data-data kapasitas pabrik yang telah beroperasi penghasil vinil asetat di dunia dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1.9. Daftar pabrik Vinil Asetat Monomer di Dunia

Nama Pabrik	Kapasitas (ton/tahun)
Azot Severodonetsk, Severodonetsk, Ukraina	12000
BP Chemicals, Hull, UK	250000
Celanese, Frankfurt, Germany	307000
Orgsyntez, Nevinnomyssk, Russia	12000
Stavrolen, Budyenovsk, Russia	50000
Celanese, Nanjing, China	300000
Lotte BP Chemical, Ulsan, South Korea	210000
Shanxi Sanwei Group, Shanxi, China	70000
Anhui Wanwei, Anhui, China	170000

Sumber: (ICIS, 2018)

Sekitar 80% dari total pabrik vinil asetat monomer di dunia menggunakan proses dengan reaksi antara etilena, asam asetat, dan oksigen pada fase gas (Dimian & Bildea, 2008)

1.3.3. Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku pembuatan vinil asetat adalah Oksigen, Etilena dan Asam Asetat, dimana ketersediaan Oksigen dan Etilena di Indonesia cukup banyak, sedangkan Asam Asetat masih harus impor dikarenakan produksi dalam negeri belum mampu untuk memenuhi kebutuhan. Industri-industri yang memproduksi bahan baku kebutuhan pabrik Vinil Asetat dapat dilihat pada tabel berikut,

Tabel 1.10. Daftar Pabrik Produksi Asam Asetat di Dunia

Nama pabrik	Kapasitas (ton/tahun)
MSK, Serbia	100000
Shaanxi Yanchang, China	250000
Wacker, Germany	100000
Celanese, Singapore	600000
Celanese, Nanjing, China	300000

Sumber: (Tecnon OrbiChem, 2012)

Sedangkan bahan baku etilena diperoleh dari PT. Chandra Asri Petrochemical yang berada cukup dekat dengan lokasi rancang pabrik dan memproduksi 860000 ton etilena/tahun. Untuk bahan baku oksigen diperoleh dari PT. Air Liquide Indonesia kapasitas 580.350 ton/tahun yang berada sangat dekat dengan lokasi pabrik. Untuk katalis paladium diperoleh dengan cara impor dari Taian Health Chemical co., Ltd yang berlokasi di Shandong, China.

Tabel 1.11. Kebutuhan Penggunaan Bahan Baku

Senyawa	Kapasitas Penyedia (ton)	Kebutuhan (ton)	Persentase (%)
Etilena	860.000	17318	2,01
Asam Asetat	600.000	35595	5,93
Oksigen	580.350	9302	1,6

(Celanese, 2011; Chandra Asri Petrochemicals, 2017)

1.3.4. Justifikasi Kapasitas

Justifikasi kapasitas merupakan pertimbangan yang dilakukan untuk menentukan peluang kapasitas didirikannya suatu pabrik dengan mengetahui harga beli bahan baku dan harga jual produk. Apabila perbandingan harga jual produk dengan harga beli bahan baku lebih dari 2,5 maka pabrik tersebut layak didirikan. Perhitungan justifikasi kapasitas adalah sebagai berikut:

Tabel 1.12 Justifikasi Kapasitas Pabrik

Komponen	Kebutuhan (ton mol)	Kebutuh an (ton)	Harga (\$)
Etilena	618,5	17318	80 (S&P Global, 2018)
Asam Asetat	593,26	35595	450 (ICIS, 2018)
Oksigen	290,7	9302	60 (Indiamart, 2018)
Vinil Asetat	581,395	50000	980 (ICIS, 2018)

$$\text{Justifikasi kapasitas} = \frac{\text{Harga jual produk}}{\text{Harga beli bahan baku}} \quad (1.4)$$

$$= \frac{\$49000000}{\$17961310}$$

$$= 2,728$$

Dari perhitungan diperoleh hasil 2,728 sehingga hasil tersebut memenuhi persyaratan lebih dari 2,5 yang mana sudah memenuhi salah satu syarat justifikasi kapasitas. Selain itu, ketersediaan bahan baku selama setahun produksi vinil asetat harus diperhatikan agar pabrik yang dirancang dapat berjalan. Berdasarkan data pada poin 1.3.3 ketersediaan bahan baku mencukupi untuk proses produksi selama satu tahun. Maka pabrik yang didirikan di Kawasan Industrial Estate Cilegon, Banten dengan kapasitas 50000 ton/tahun pada 2025 layak didirikan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Produk

2.1.1. Kegunaan Produk

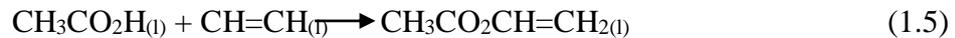
Kegunaan dari bahan *intermediate* monomer vinil asetat yaitu banyak digunakan untuk kebutuhan bahan baku industri emulsi polivinil asetat dan resin. Kegunaan lain dari monomer vinil asetat yaitu sebagai bahan baku dalam pembuatan cat, *coatings*, perekat (termasuk logam, porselen, kayu dan kertas), dan tekstil (Kirk & Othmer, 2001).

2.1.2. Perbandingan Proses Pembuatan Vinil Asetat Monomer

Vinil asetat monomer dapat dibuat dengan berbagai macam cara, diantaranya :

- 1) Reaksi asam asetat dengan asetilena pada fase cair

Reaksi:



$$\Delta H = -117 \text{ kJ/mol}$$

Proses ini sudah lama tidak digunakan karena asetilena mahal sehingga dianggap kurang ekonomis (Ullmann, 2011).

- 2) Reaksi asam asetat dengan asetilena pada fase gas

Reaksi asam asetat dengan asetilena pada fase gas seperti dijelaskan pada persamaan (1.5) akan tetapi reaksi ini terjadi dengan katalis zinc asetat pada *activated charcoal* pada suhu 160°-210° dan tekanan 40 kPa.

Asetilena panas dicampur dengan uap asam asetat kemudian diumpankan ke dalam reaktor pipa / *fixed bed*. Hasil reaksi di *quenching* dan produk lain dipisahkan. Aliran keluar reaktor berupa vinil asetat, asam asetat, asetilena, asetaldehid, crotonaldehid, aseton, metil asetat, ethylidene diasetat dan asetat anhidrat. Masing-masing komponen dipisahkan pada menara distilasi.

Proses ini digunakan sampai tahun 1968, setelah itu proses ini jarang digunakan sampai hanya 20% kapasitas vinil asetat dunia yang diproduksi dengan proses ini. Hal ini dapat terjadi karena mahalnya harga asetilena dan biaya memisahkan produk samping yang cukup besar. (Roscher, Aktiengesellschaft, & Frankfurt, 2011)

3) Reaksi asam asetat dengan etilena dan oksigen pada fase cair

Pembentukan vinil asetat dari etilena dan asam asetat dengan adanya paladium klorida dan alkali asetat dalam asam asetat glasial dengan reaksi:



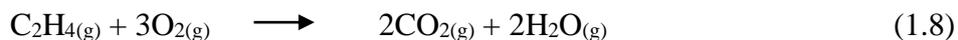
Reaksi terjadi pada tekanan 3-4 MPa dan suhu 110-130°C. Proses ini sekarang tak lagi digunakan karena risiko yang besar terhadap korosi (Roscher et al., 2011).

4) Reaksi asam asetat dengan etilena dan oksigen pada fase gas

Reaksi utama adalah reaksi oksidasi antara etilena dan asam asetat yang menghasilkan vinil asetat dan air, dengan persamaan reaksi sebagai berikut,



Selain itu terjadi reaksi samping antara etilena dan oksigen menghasilkan karbon dioksida dan air dengan persamaan reaksi,



Reaksi terjadi pada fase gas pada suhu 150-180°C dan tekanan 0,8-1,0 MPa dengan katalis heterogen yang mengandung paladium dengan masa pakai 1-2 tahun. Reaksi ini tidak membentuk asam asetat, produk samping berupa air dan karbondioksida (Dimian & Bildea, 2008). Residu dipisahkan dengan menggunakan metode distilasi. Melalui proses ini diperoleh kemurnian vinil asetat monomer yang tinggi.

Setelah tahun 1968 proses ini paling banyak digunakan, sekitar 80% kapasitas vinil asetat monomer dunia dihasilkan dengan proses ini. Hal ini dikarenakan bahan baku etilena lebih murah sehingga proses ini dinilai lebih ekonomis (Ullmann, 2011).

Berdasarkan uraian proses, dapat disimpulkan perbandingan proses-proses pembuatan vinil asetat disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Perbandingan Proses Pembuatan Vinil Asetat Monomer

Reaksi	Fase	Reaktor	Kondisi Operasi	Katalis	Keterangan
Asetilena dengan asam asetat	Cair		Suhu 60-100°C	Garam merkuri	Reaksi berjalan lambat
Asetilena dengan asam asetat	Gas	Fixed bed	Suhu 160-210°C dan tekanan 40 kPa	Zinc Asetat	Hasil samping terlalu banyak
Etilena dengan asam asetat dan oksigen	Cair		3-4 MPa dan suhu 110-130°C	Paladium klorida	Resiko korosi tinggi
Etilena dengan asam	Gas	Plug Flow	0,8-1 MPa dan suhu	Paladium	Kemurnian produk tinggi

asetat dan oksigen	150-180°C
--------------------	-----------

Dalam proses pembuatan vinil asetat dipilih proses dengan reaksi antara Etilena, asam asetat, dan oksigen pada fase gas. Proses ini dipilih dengan alasan:

1. Tekanan operasi tidak terlalu tinggi antara 0,8-1,0 MPa dan suhu operasi antara 150-160°C
2. Kemurnian produk yang dihasilkan cukup tinggi (99,9%)
3. Produk samping berupa air dan CO₂

2.2. Tinjauan Termodinamika

Reaksi kimia dapat berjalan secara eksotermis dan endotermis maupun secara searah maupun bolak-balik. Untuk menentukan sifat serta arah reaksi maka perlu dilakukan perhitungan panas pembentukan standar (ΔH°_f) dan energi bebas Gibbs (ΔG°_f) pada tekanan 1 atm dan suhu 298,15 K. (ΔH°_f) merupakan perubahan entalpi dari 1 mol senyawa dari elemen-elemennya dalam keadaan standar. Sedangkan (ΔG°_f) merupakan perubahan energi bebas Gibbs yang menyertai pembentukan 1 mol zat tersebut dari unsur penyusunnya pada keadaan standar. Data (ΔH°_f) dan (ΔG°_f) dapat dilihat pada Tabel berikut,

Tabel 1.14. Harga Pembentukan Masing-masing Komponen

Komponen	(ΔH°_f) (kJ/mol)	(ΔG°_f) (kJ/mol)
Etilena	52,5	68,5
Asam Asetat	-432,3	-382,9
Oksigen	0	0
Vinil Asetat	-315,17	-228,6
Karbon Dioksida	-393,5	-394,4
Air	-241,8	-228,5

(Sumber: Yaws, 2008)

Reaksi 1:

Sesuai dengan dengan persamaan (1.7) maka,

$$\text{Total harga } (\Delta H^{\circ}_f)_{298\text{ K}} : \Sigma(\Delta H^{\circ}_f)_{\text{produk}} - \Sigma(\Delta H^{\circ}_f)_{\text{reaktan}} \quad (1.9)$$

$$: [(-315,17) + (-241,8)] - [(-432,3) + (52,5)]$$

$$: -556,97 + 379,8$$

$$: -177,17 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{Total harga } (\Delta G^{\circ}_f)_{298\text{ K}} : \Sigma(\Delta G^{\circ}_f)_{\text{produk}} - \Sigma(\Delta G^{\circ}_f)_{\text{reaktan}} \quad (1.10)$$

$$: [(-228,6) + (-228,5)] - [(-382,9) + (68,5)]$$

$$: -457,1 + 314,4$$

$$: -142,7 \text{ kJ/mol}$$

Dari perhitungan diperoleh nilai $(\Delta H^{\circ}_f)_{298\text{ K}}$ negatif untuk reaksi tersebut, dengan demikian reaksi berjalan secara eksotermis (melepas panas), sedangkan $(\Delta G^{\circ}_f)_{298\text{ K}}$ bernilai negatif menunjukkan bahwa reaksi berjalan secara spontan (Smith, Van Ness, & Abbott, 2004). Untuk mengetahui reaksi berjalan searah atau bolak-balik maka dapat diketahui dari harga konstanta keseimbangan menurut persamaan *Van't Hoff* yang ditunjukkan pada persamaan 1.9:

$$\frac{d \ln K_o}{dT} = \frac{\Delta G}{RT^2} \quad (1.11)$$

(Smith et al., 2004)

Keterangan: Ko = Konstanta kesetimbangan
 T = Suhu (K)
 ΔG = Perubahan Energi Gibbs (J/mol)
 R = Tetapan gas ideal (8.314) (J/K mol)

$$(\Delta G^{\circ}_f)_{298\text{ K}} = - RT \ln K_o$$

$$\ln K_o = \frac{\Delta G}{-RT}$$

$$\ln K_o = \frac{-142,7 \text{ kJ}}{-8,314 \times 298,15 \text{ K}}$$

$$\ln K_o = 57,5677$$

$$K_o = 5,685 \cdot 10^{24}$$

Dari persamaan:

$$\ln \frac{K}{K_o} = -\frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right) \quad (1.12)$$

(Smith et al., 2004)

Keterangan: K = Konstanta kesetimbangan
 T = Suhu (K)
 ΔH = Panas pembentukan standar pada 298,15 K (J/mol)

Jika persamaan 1.12 dijalankan pada suhu 180°C (453,15 K) maka konstanta kesetimbangan reaksinya menjadi:

$$\ln \frac{K}{5,685 \times 10^{24}} = \frac{177170}{8,314} \left(\frac{1}{453,15} - \frac{1}{298,15} \right) \quad (1.13)$$

$$K_{453,15 \text{ K}} = 1,372 \times 10^{14}$$

Jika dilihat dari harga K, reaksi pembentukan vinil asetat bersifat searah. Hal ini dapat terjadi karena harga $K = k_1/k_2$ sangat besar yang menunjukkan bahwa nilai k_2 jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan harga k_1 sehingga harga k_2 dapat diabaikan dan dianggap berjalan satu arah (Smith et al., 2004).

Reaksi 2:

Sesuai dengan persamaan 1.8 maka,

$$\text{Total harga } (\Delta H^{\circ}_f)_{298 \text{ K}} : \Sigma(\Delta H^{\circ}_f)_{\text{produk}} - \Sigma(\Delta H^{\circ}_f)_{\text{reaktan}} \quad (1.14)$$

$$: [2(-393,5) + 2(-241,8)] - [(52,5)]$$

$$: -1270,6 - 52,5$$

$$: -1323,1 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{Total harga } (\Delta G^{\circ}_f)_{298 \text{ K}} : \Sigma(\Delta G^{\circ}_f)_{\text{produk}} - \Sigma(\Delta G^{\circ}_f)_{\text{reaktan}} \quad (1.15)$$

$$: [2(-394,4) + 2(-228,5)] - [(68,5)]$$

$$: -1245,8 - 68,5$$

$$: -1314,3 \text{ kJ/mol}$$

Dari perhitungan diperoleh nilai $(\Delta H^{\circ}_f)_{298 \text{ K}}$ negatif untuk reaksi tersebut, dengan demikian reaksi samping berjalan secara eksotermis (melepas panas), sedangkan $(\Delta G^{\circ}_f)_{298 \text{ K}}$ bernilai negatif menunjukkan bahwa reaksi samping berjalan secara spontan (Smith et al., 2004). Untuk mengetahui reaksi samping berjalan searah atau bolak-balik maka dapat diketahui dari harga konstanta keseimbangan menurut persamaan *Van't Hoff* yang ditunjukkan pada persamaan 1.9, maka

$$(\Delta G^{\circ}_f)_{298 \text{ K}} = -RT \ln K_o$$

$$\ln K_o = \frac{\Delta G}{-RT}$$

$$\ln K_o = \frac{-1314,3 \text{ kJ}}{-8,314 \times 298,15 \text{ K}}$$

$$\ln K_o = 530,2121$$

$$K_o = 1,8544 \times 10^{230}$$

Dari persamaan 1.12, jika reaksi dijalankan pada suhu 180°C (453,15 K) maka konstanta kesetimbangan reaksinya menjadi:

$$\ln \frac{K}{1,8544 \times 10^{230}} = \frac{1323100}{8,314} \left(\frac{1}{453,15} - \frac{1}{298,15} \right) \quad (1.16)$$

$$K_{453,15 K} = 9,94967 \times 10^{150}$$

Jika dilihat dari harga K, reaksi samping bersifat searah. Hal ini dapat terjadi karena harga $K = k_1/k_2$ sangat besar yang menunjukkan bahwa nilai k_2 jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan harga k_1 sehingga harga k_2 dapat diabaikan dan dianggap berjalan satu arah (Smith et al., 2004).

2.3. Tinjauan Kinetika

Kinetika suatu reaksi sangat berpengaruh terhadap kondisi operasi seperti suhu, tekanan dan alat yang digunakan sehingga perlu adanya kajian untuk menentukan konstanta kecepatan reaksi (k), yaitu kecepatan suatu zat atau senyawa untuk bereaksi menjadi produk. Pada campuran reaksi antara etilena, asam asetat dan oksigen pada fase gas terjadi dua reaksi pembentukan, yaitu reaksi utama pembentukan vinil asetat monomer dan reaksi samping berupa pembakaran gas etilena dengan oksigen.

Proses reaksi pembentukan vinil asetat dari etilena, asam asetat dan oksigen dengan katalis paladium (Pd) dirumuskan sebagai berikut,

$$k = A \times \exp \frac{E}{RT} \quad (1.17)$$

Keterangan:

- K = Konstanta kecepatan reaksi pembentuka vinil asetat (L/min mol)
- A = Konstanta frekuensi tumbukan

- E = Energi aktivasi (kJ/mol)
 R = Konstanta gas universal (kJ/molK) (8.314)
 T = Suhu reaksi operasi (K)

(Dimian & Bildea, 2008)

Dari persamaan di atas, harga A, E dan R konstan. Sehingga harga konstanta kecepatan reaksi (k) hanya dipengaruhi oleh suhu (T), dimana dengan semakin bertambahnya suhu maka kecepatan reaksinya semakin besar. Akan tetapi pembentukan vinil asetat merupakan reaksi eksotermis sehingga melepaskan panas. Panas reaksi akan dilepaskan pada proses reaksi yang menyebabkan suhu naik dengan cepat.

Reaksi pembuatan vinil asetat dari etilen, asam asetat dan oksigen ini mengikuti persamaan kinetika reaksi orde dua dengan persamaan kecepatan reaksi:

$$-r_a = k (C_A)(C_B)(C_C)^{1/2} \quad (1.18)$$

Dengan:

- ra = Kecepatan reaksi
 C_A = Konsentrasi asam asetat
 C_B = Konsentrasi etilena
 C_C = Konsentrasi oksigen
 k = Konstanta kecepatan reaksi

Reaksi pembentukan vinil asetat dari asam asetat dan Etilena dengan katalis paladium merupakan reaksi heterogen dalam fase gas (pereaktan) dan fase padat (katalis). Persamaan kecepatan reaksi pembentukan vinil asetat monomer dapat dirumuskan sebagai berikut,

$$\gamma_{VA} = k_1 \cdot P_{Et}^\alpha \cdot P_{Ox}^\beta \quad (1.19)$$

Keterangan:

- γ_{VA} = Kecepatan reaksi pembentukan vinil asetat (10^{-3} s^{-1})
 k_1 = Konstanta laju reaksi (10^{-2} s^{-1})
 P_{Et}^α = Tekanan Parsial dari Etilena (kPa)

$$P_{Ox}^{\beta} = \text{Tekanan Parsial dari Oksigen (kPa)}$$

Sedangkan nilai k dapat didefinisikan dengan,

$$k_1 = A_1 \cdot \exp\left(-\frac{E_1}{RT}\right) \quad (1.20)$$

Keterangan:

- k_1 = Konstanta laju reaksi (10^{-2} s^{-1})
- A_1 = Konstanta Frekuensi Tumbukan ($2,65 \cdot 10^4$)
- E_1 = Energi Aktivasi (15.000 J/mol)
- R = Konstanta gas universal (kJ/molK) (8.314)
- T = Suhu reaksi operasi (K)

Nilai α , β dan konstanta laju reaksi utama dapat dilihat pada tabel 1.14.

Tabel 1.15. Parameter Kinetika Sintesis Vinil Asetat dengan Katalis Pd/Au

Reaksi	Suhu (K)	α	β	Konstanta laju reaksi (s^{-1})
Utama (1)	393	0,38	0,2	$2,45 \times 10^{-2}$
	413	0,35	0,2	$4,03 \times 10^{-2}$
	433	0,35	0,21	$4,7 \times 10^{-2}$

Sumber: (Han, Kumar, Sivadinarayana, & Goodman, 2004)

Pada reaksi samping, kecepatan reaksinya hampir sama yaitu,

$$r_{CO_2} = k_2 \cdot P_{Et}^{\alpha} \cdot P_{Ox}^{\beta} \quad (1.21)$$

Keterangan:

- r_{CO_2} = Kecepatan reaksi pembentukan vinil asetat (10^{-3} s^{-1})
- k_2 = Konstanta laju reaksi (10^{-2} s^{-1})
- P_{Et}^{α} = Tekanan Parsial dari Etilena (kPa)
- P_{Ox}^{β} = Tekanan Parsial dari Oksigen (kPa)

Sedangkan nilai k dapat didefinisikan dengan,

$$k_2 = A_2 \cdot \exp\left(-\frac{E_2}{RT}\right) \quad (1.22)$$

- k_2 = Konstanta laju reaksi (10^{-2} s^{-1})
- A_2 = Konstanta Frekuensi Tumbukan ($7,5 \cdot 10^4$)
- E_2 = Energi Aktivasi (21.000 J/mol)
- R = Konstanta gas universal (kJ/molK) (8.314)
- T = Suhu reaksi operasi (K)

Nilai dari α , β dan konstanta laju reaksi samping dapat dilihat pada tabel 1.15.

Tabel 1.16. Parameter Kinetika Reaksi Samping dengan/tanpa Asam Asetat

Reaksi	Suhu (K)	α	β	Konstanta laju reaksi (s^{-1})
Samping (2)	413	-0,15	1,22	$1,66 \times 10^{-3}$
Tanpa Asam Asetat	433	-0,17	1,18	$1,66 \times 10^{-3}$
	453	-0,19	1,16	$1,78 \times 10^{-3}$
Dengan Asam Asetat	413	-0,27	0,88	$0,38 \times 10^{-3}$
	433	-0,31	0,82	$0,42 \times 10^{-3}$
	453	-0,27	0,89	$0,71 \times 10^{-3}$

Sumber: (Han, Wang, Kumar, Yan, & Goodman, 2005)

Data pada Tabel 1.15 dapat disimpulkan bahwa dengan adanya senyawa asam asetat pada reaksi pembakaran etilena dapat menekan laju reaksi, sehingga jalannya reaksi akan berlangsung dengan laju reaksi pada pembentukan vinil asetat monomer lebih dominan.

2.4. Tinjauan Proses

Vinil asetat adalah senyawa kimia dengan rumus molekul $C_4H_6O_2$ berupa cairan jernih tak berwarna, beraroma manis, berbau tajam, dan sedikit larut dalam air. Vinil asetat dapat dihasilkan dari reaksi oksidasi antara etilena, asam asetat dan oksigen dengan katalis palladium. Pada teknologi sebelumnya, reaksi dilakukan dalam fasa cair pada suhu 110-130°C dan tekanan 30-40 bar dengan menggunakan katalis redoks $PdCl_2/CuCl_2$, akan tetapi untuk reaksi ini terdapat kendala yaitu karena sifatnya yang korosif. Proses pembuatan vinil asetat dalam fasa gas merupakan proses yang paling banyak digunakan pada saat ini. Etilena direaksikan secara eksotermik dengan asam asetat dan oksigen dalam reaktor *Plug Flow* berkatalis, menghasilkan vinil asetat dan air dijelaskan pada persamaan reaksi (1.7) dan (1.8). Pada saat reaksi

kemungkinan terjadi panas berlebih di reaktor akibat proses eksotermik dapat ditanggulangi dengan penambahan pendingin reaktor atau dengan memasukkan sejumlah senyawa inert (Dimian & Bildea, 2008). Berdasarkan data kinetika yang diberikan pada Tabel 1.14 dan Tabel 1.15 spesifikasi reaktor diperkirakan terdiri dari 4900 *tube internal*, diameter 37 mm, dan panjang 7,5m

Reaksi terjadi pada fase gas berlangsung pada 150-160°C dan tekanan 0,8-1,0 MPa dengan katalis Pd/Au. Tidak terbentuk asam asetat, produk samping berupa air dan karbondioksida (Dimian & Bildea, 2008). Tidak ada asetaldehid yang terbentuk meskipun asam asetat sebagai bahan baku yang mengandung air di dalamnya. Residu dipisahkan dengan menggunakan metode distilasi. Yield yang diperoleh adalah 94% berdasarkan etilena dan 98-99% berdasarkan asam asetat (Dimian & Bildea, 2008).

Produk dari vinil asetat monomer yang dihasilkan harus sesuai dengan properti yang digunakan pada skala industri, yaitu dijelaskan pada Tabel 1.16.

Tabel 1.17. Properti VAM yang Digunakan Skala Industri

Properti	Nilai
Berat molekul	86,09
Kemurnian	≥99,9%
<i>Distillation range</i> (101,3 kPa)	72-73°C
Titik beku	-93°C
Kandungan air	Maks. 400ppm
Kandungan asam asetat	Maks. 50ppm
Kandungan asetaldehid	Maks. 100ppm
Kandungan inhibitor	3-5ppm
n_d^{20}	1,369
d_{20}^{20}	0,93

Viskositas pada 20°C	0,41cP
----------------------	--------

Sumber: (Dimian & Bildea, 2008)

2.5. Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

Spesifikasi terhadap bahan merupakan sangat penting dikarenakan untuk mengetahui sifat fisik dan sifat kimia bahan yang digunakan. Spesifikasi bahan meliputi spesifikasi bahan baku, produk utama dan produk samping.

2.5.1. Sifat Fisik dan Kimia Bahan Baku

a. Etilena

Sifat fisik:

- Berat molekul, gr/gmol : 28,05
- Titik didih normal, K : 162,42
- Titik lebur, K : 104
- Temperatur kritik, K : 282,34
- Tekanan kritik, bar : 50,41
- Volume kritik, cm³/mol : 131,1
- Densitas cair, kg/m³(°C) : 577 (-110)
- Panas penguapan, kJ/mol : 13,553

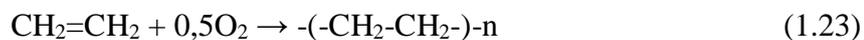
(Dimian & Bildea, 2008)

Sifat kimia:

Reaksi-reaksi etilena

➤ Polimerisasi

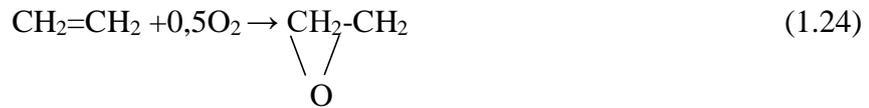
Etilena murni (>99,9%) bereaksi pada kondisi dan tekanan tertentu dengan bantuan katalis membentuk polyetilena.



Reaksi berlangsung eksotermik

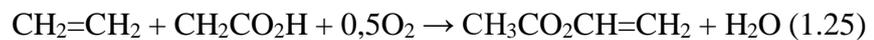
➤ Oksidasi

Oksidasi etilena membentuk etilena oksida dengan reaksi:



Reaksi berlangsung pada 250-300°C dan tekanan 1-2 MPa dengan katalis *metallic silver*.

Oksida etilena dengan bantuan asam asetat membentuk vinil asetat dengan katalis palladium pada karbon, alumina atau silika alumina pada suhu 175-200°C dan tekanan 0,4-1,0 MPa dengan reaksi sebagai berikut:



➤ Halogenasi

Halogenasi etilena membentuk etilena diklorida, etilena dibromida, etil klorida dan sebagainya.

Reaksi pembentukan etilena diklorida adalah sebagai berikut:



Untuk reaksi pembentukan etil klorida sebagai berikut:



Reaksi tersebut terjadi pada fase cair ($T = 30-90^\circ\text{C}$) dan pada fase gas ($T = 130-150^\circ\text{C}$) dengan tekanan 300-500 KPa dan katalis AlCl_3 atau FeCl_3

➤ Alkilasi

Reaksi antara etilena dan benzena menghasilkan etil benzena dengan katalis AlCl_3 , BF_3 , dan FeCl_3

➤ Hidrasi

Hidrasi etilena menghasilkan etanol dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



Reaksi berlangsung pada suhu 300°C dan tekanan 7 MPa dengan katalis $\text{H}_3\text{PO}_4\text{-SiO}_2$

(Kirk & Othmer, 2001)

b. Asam Asetat

Sifat fisik:

- Berat molekul, gr/grmol : 60,05
- Titik didih normal, K : 391,04
- Titik lebur, K : 289,93
- Temperatur kritik, K : 594,45
- Tekanan kritik, bar : 57,90
- Volume kritik, cm^3/mol : 171,0
- Densitas cair, $\text{kg}/\text{cm}^3(^\circ\text{C})$: 1049,2 (20)
- Panas penguapan, Kj/mol : 23,7

(Dimian & Bildea, 2008)

Sifat kimia:

Reaksi pada asam asetat adalah sebagai berikut:

- Esterifikasi

Reaksi esterifikasi atau olefin baik dengan menggunakan asam asetat dalam bentuk cair maupun gas berlangsung sesuai dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



➤ Dehidrasi

Reaksi dehidrasi sangat penting untuk sintesa selulosa asetat dengan rayon. Reaksi sebagai berikut:



➤ Klorinasi

Reaksi klorinasi merupakan reaksi asam asetat anhidrid dengan gas klorin menggunakan katalis asetil klorida pada titik didih campuran. Reaksi ini akan menghasilkan monoklor asam asetat sebagai hasil samping.

Reaksi sebagai berikut:



➤ Adisi

Asam asetat ditambahkan dengan asetilena membentuk vinil asetat berdasarkan reaksi sebagai berikut:



(Kirk & Othmer, 2001)

c. Oksigen

Sifat fisik:

➤ Berat molekul, gr/grmol : 32

- Titik didih normal, K : 90,15
- Titik lebur, K : 54,75
- Temperatur kritik, K : 154,59
- Tekanan kritik, bar : 50,43
- Densitas, kg/m³(°C) : 1429 (0)
- Panas penguapan, kJ/mol : 6,82

(Dimian & Bildea, 2008)

Sifat kimia:

Bereaksi hampir dengan semua zat, apabila reaksi melibatkan panas disebut reaksi pembakaran. Merupakan salah satu penyusun udara bersama nitrogen.

d. Palladium

Sifat fisik:

- Berat molekul, gr/grmol : 106,4
- Laju reaksi, g/l/s : 2×10^{-2}
- Diameter, cm : 0,4
- Densitas, kg/m³ : 1.000

(Dimian & Bildea, 2008)

Sifat kimia:

Katalis paladium tidak terlalu sensitif terhadap oksigen dan udara lembab bahkan asam dalam banyak reaksi dikatalisasi oleh paladium (Tsuji, 2004).

2.5.2. Sifat Fisik dan Kimia Produk

a. Vinil asetat

Sifat fisik:

- Berat molekul gr/grmol : 86,09
- Titik didih normal, K : 345,95
- Titik lebur, K : 180,35
- Temperatur kritik, K : 519,15
- Tekanan kritik, bar : 40,3
- Volume kritik, cm³/mol : 270
- Densitas cair, kg/m³(°C) : 934 (20)
- Panas penguapan, Kj/mol : 31,49

(Dimian & Bildea, 2008)

Sifat kimia:

Reaksi pada vinil asetat adalah sebagai berikut:

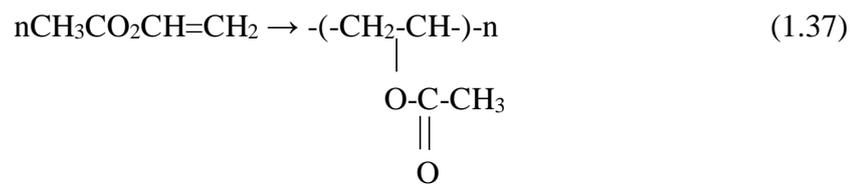
➤ Hidrolisa

Vinil asetat terhidrolisis dengan katalis asam atau basa membentuk vinil alkohol tidak stabil, kemudian membentuk asetaldehid dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



➤ Polimerisasi

Merupakan reaksi terpenting pada vinil asetat sebagai monomer, salah satunya adalah pembentukan polivinil asetat. Persamaan reaksi sebagai berikut:



➤ Halogenasi

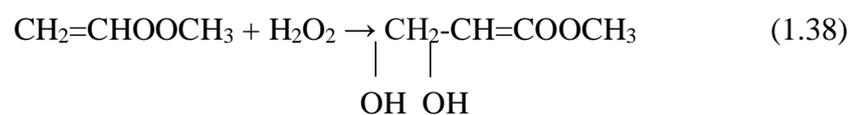
Penambahan klorida dan bromide pada vinil asetat akan membentuk 1,2 dikloro etil asetat yang dapat didistilasi tanpa terdekomposisi dalam kondisi vakum.

➤ Hidrogenasi

Asam asetat dan etilidena diasetat akan terbentuk jika hidrogen ditambahkan pada vinil asetat pada suhu 82°C dengan adanya 10% platinum sedangkan pada suhu 53°C dengan 5% platinum akan menghasilkan etil asetat.

➤ Hidroalkilasi katalitik

Hidrogen peroksida akan bereaksi dengan vinil asetat pada suhu 0°C dengan menggunakan katalis osanium tetra oksida menghasilkan glikoaldehid dengan yield 50% dengan reaksi sebagai berikut:



b. Karbon dioksida

Sifat fisik:

- Rumus molekul : CO₂
- Berat molekul, gr/grmol : 44,01
- Titik didih, °C : -56,6

➤ Titik leleh, °C : -78,5

(Poling et al., 2008)

Sifat kimia:

Stabil pada suhu normal, di dalam air akan membentuk asam karbonat. Bereaksi membentuk karbon monoksida pada suhu di atas 1700°C dengan reaksi sebagai berikut



Karbon doksida bereaksi dengan amonia pada stage pertama pada proses produksi urea menghasilkan ammonium karbonat dengan reaksi sebagai berikut:



(Kirk & Othmer, 2001)

c. Air

Sifat fisik:

- Berat molekul, gr/grmol : 18,015
- Titik didih normal, K : 373,15
- Titik leleh, K : 273,15
- Temperatur kritik, K : 674,14
- Tekanan kritik, bar : 220,64
- Volume kritik, cm³/mol : 55,95
- Densitas cair, kg/m³(°C) : 1000 (15)
- Panas penguapan, kJ/mol : 40,66

(Dimian & Bildea, 2008)

Sifat kimia:

Sifat pelarut suatu zat bergantung pada pereaksinya. Air akan bersifat basa jika bereaksi dengan asam lemah dan akan bersifat asam jika bereaksi dengan basa lemah

2.6. Proses Pembuatan Vinil Asetat Monomer

Pada proses pembuatan vinil asetat monomer, umpan yang digunakan adalah Asam Asetat (99,85% wt), Etilena, dan Oksigen yang masing-masing disimpan di dalam tangki TT-101, TT-102, dan TT-103. Asam asetat cair awal dicampur dengan asam asetat hasil *recycle* lalu diumpankan ke dalam *vaporizer* (VP-201) untuk diubah fase dari cair menjadi gas. Setelah itu ketiga bahan baku dicampur dengan arus *recycle* gas. Pada pencampuran gas ini, konsentrasi oksigen dikontrol dengan mengatur aliran oksigen masuk agar tidak melebihi 8% mol campuran (Roscher et al., 2011). Hal ini dilakukan untuk menghindari resiko ledakan selama proses reaksi. Reaksi mol reaktan harus menjamin *excess* Etilena terhadap asam asetat dengan perbandingan 2:1 hingga 3:1 (Dimian & Bildea, 2008). Setelah itu, campuran gas Etilena, asam asetat, dan oksigen dipanaskan dengan *heater* hingga suhu 150°C. Hal ini dilakukan untuk menyesuaikan dengan kondisi operasi pada reaktor (R-202). Reaktor yang digunakan adalah jenis reaktor *plug flow* dengan menggunakan katalis palladium (Dimian & Bildea, 2008). Reaktor ini beroperasi pada suhu 150°C dan tekanan 10 atm, dengan konversi per pass etilena sebesar 8-10%, asam asetat 15-35% dan oksigen mencapai 90% (Roscher et al., 2011). Reaksi yang terjadi di dalam reaktor dijelaskan melalui persamaan reaksi (1.7) dan (1.8). Produk keluaran reaktor adalah etilena, oksigen, karbondioksida, vinil asetat, asam asetat dan air.

Selanjutnya, produk keluaran reaktor dialirkan ke unit pemisahan untuk pemurnian produk.

Produk keluaran reaktor dialirkan dan didinginkan dengan *heat exchanger* hingga temperatur mencapai 127°C. Setelah didinginkan, produk akan terbagi atas dua fase, yaitu fase gas (Etilena, oksigen, dan karbondioksida) dan fase cair (vinil asetat, asam asetat, dan air). Campuran produk ini kemudian dialirkan ke separator (FG-301) untuk memisahkan fase gas dan fase cair. Produk atas dari FG-301 ini adalah Etilena, oksigen, karbondioksida, dan sedikit vinil asetat. Sedangkan produk bawahnya merupakan campuran vinil asetat, asam asetat, dan air.

Produk atas dari FG-301 selanjutnya diumpankan ke dalam absorber (T-302) untuk mengambil vinil asetat yang masih terikut dalam fase gas menggunakan air yang terdapat pada produk bawah distilasi (T-303). Selanjutnya, campuran gas ini dimasukkan ke dalam absorber (T-401) untuk mengambil sebagian jumlah gas karbondioksida menggunakan penjerap MEA agar tidak terjadi akumulasi di reaktor dan kemudian gas di-*recycle* kembali.

Produk bawah dari FG-301 dicampur dengan arus hasil absorber T-302 yang kemudian diumpankan ke menara distilasi (T-303). Produk atas merupakan vinil asetat, air dan sedikit asam asetat, sedangkan produk bawah merupakan asam asetat dengan sedikit campuran air. Asam asetat yang diperoleh sebagai produk bawah, di-*recycle* kembali dan dicampurkan dengan asam asetat umpan awal. Produk atas kolomdestilasi didinginkan dengan *condensor*. Kemudian dialirkan ke dalam *decanter* (FL-304) untuk dipisahkan dengan prinsip perbedaan massa jenis komponen. Produk atas keluaran *decanter* merupakan

vinil asetat 99,9%wt yang kemudian akan dialirkan ke tangki penyimpanan produk (TT-104). Produk bawah *decanter* (FL-304) merupakan air yang kemudian diolah untuk digunakan dalam unit utilitas.

BAB V

PENUTUP

5.1. Simpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari perancangan pabrik vinil asetat monomer yaitu :

1. Perancangan pabrik vinil asetat monomer dengan kapasitas 20.000 ton/tahun dengan mereaksikan etilena, asam asetat, dan oksigen pada fasa gas dengan katalis *palladium* pada suhu 150°C.
2. Bahan baku yang dibutuhkan yaitu Etilena sebesar 18.274,181ton/tahun.
3. Lokasi pabrik vinil asetat monomer didirikan di kawasan Krakatau Industrial Estate Cilegon (KIEC), Banten dengan luas ketersediaan lahan berkisar 573.8450 m². Bahan baku etilena disuplai dari PT Chandra Asri Petrochemical Center yang terletak di desa sugih dengan kapasitas 860.000 ton/tahun, Cilegon. Oksigen diperoleh dari PT Air Liquide Indonesia, Cilegon dengan 580.350 ton/tahun. Sedangkan kebutuhan asam asetat diperoleh dari Celanese Singapore Pte Ltd, Singapura dengan kapasitas 600.000 ton/tahun.
4. Reaksi pembentukan vinil asetat monomer berlangsung di dalam *reactor fix bed multitube* pada suhu 150 °C dengan konversi 10%.
5. Alat-alat utama yang digunakan meliputi Tangki Penyimpanan Bahan Baku, *Exchanger, Reactor, Absorber*, Menara Distilasi, dan Tangki Penyimpanan Produk. Sedangkan alat pendukungnya adalah Kompresor, Pompa, *Expansion Valve*, Reboiler dan Kondenser.
6. Utilitas yang diperlukan adalah air sebesar 2.196,399 m³/hari. Kebutuhan *steam* sebanyak 41.382 kg/jam, bahan bakar untuk boiler sebesar 8.960,2371

7. std.ft³/jam dan bahan bakar generator sebagai cadangan sebesar 4,6458 ft³/hari. Kebutuhan listrik sebesar 503,8664 kW yang diperoleh dari PLN dan digunakan generator jika suplai listrik dari PLN kurang. Untuk pengawasan kualitas bahan baku dan produk di lakukan dalam laboratorium.
8. Pabrik vinil asetat monomer ini layak untuk didirikan. Pabrik ini memiliki POS dan ROI cukup besar. Semakin besar POS dan ROI menandakan bahwa pabrik akan semakin menguntungkan. Apabila ditinjau dari POT waktu untuk kembali modal cukup rendah yaitu 2,17 tahun. Untuk nilai BEP sebesar 35,60% artinya pabrik harus memiliki tingkat produksi melebihi nilai BEP agar mendapatkan keuntungan. Nilai SDP adalah nilai dimana jika pabrik memproduksi kurang dari nilai SDP yaitu sebesar 23,64% maka operasi pabrik harus dihentikan. Dari nilai DCF-ROR menunjukkan pabrik ini bagus untuk investasi, dimana DCF-ROR sebesar 18,59% Jadi dari segi ekonomi pabrik tersebut layak untuk didirikan.

5.2. Saran

1. Dapat dilakukan analisis lebih lanjut mengenai sensitivitas terhadap jenis katalis lain yang lebih modern.
2. Dapat dilakukan pemodelan menggunakan *simulation software* maupun program lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2018). Data Ekspor-Impor Vinil Asetat di Indonesia. Retrieved October 12, 2018, from www.bps.go.id
- BMKG. (2018). Data Cuaca dan Iklim Kota Cilegon. Retrieved November 2, 2018, from www.bmkg.go.id
- Brownell, L. E. & Young, E. H. 1959. Process Equipment Design. John Wiley & Sons, Inc.
- Celanese. (2011). Product Description and Handling Guide - Vinyl Acetate, (108), 1–8.
- Chandra Asri Petrochemicals. (2017). Presentasi Paparan Publik.
- Dimian, A. C., & Bildea, C. S. (2008). *Chemical Process Design Computer-Aided Case Studies*. Wiley-VCH.
- Dwi, F., & Syamiazi, N. (2015). Kualitas Air Di Waduk Nadra Kerenceng Kota Cilegon Provinsi Banten, 2015(2).
- Han, Y., Kumar, D., Sivadinarayana, C., & Goodman, D. W. (2004). Kinetics of ethylene combustion in the synthesis of vinyl acetate over a Pd / SiO₂ catalyst, 224, 60–68.
- Han, Y., Wang, J., Kumar, D., Yan, Z., & Goodman, D. W. (2005). A kinetic study of vinyl acetate synthesis over Pd-based catalysts : kinetics of vinyl acetate synthesis over Pd – Au / SiO₂ and Pd / SiO₂ catalysts, 232, 467–475.
- ICIS. (2018). World Chemicals Market Data. Retrieved November 8, 2018, from www.icis.com
- Kementerian Perindustrian. (2018). Data Perusahaan yang Menggunakan Vinil Asetat. Retrieved November 2, 2018, from www.kemenperin.go.id
- Kern, D. Q. 1983. Process Heat Transfer. McGraw-Hill.
- Kirk, & Othmer. (2001). Encyclopedia of Chemical Technology [Vol 24] (2001, Wiley). Watcher.
- Ludwig, E. E. 1997. Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants (vol 2). Gulf Publishing Company.
- Luyben, M. L. & Tyreus, B. D. 1998. An industrial design/control study for the vinyl acetate monomer process. Computers Chemical Engineering 22, 7-8.

- Matzuyaki, Y. Yamada, H. Chowdhury, F. A. Higashii, T. Kazama, S. Onoda, M. 2013. Ab Initio Study of CO₂ Capture Mechanisms in Monoethanolamine Aqueous Solution: Reaction Pathways from Carbamate to Bicarbonate. *Energy Procedia* 37, 400-406.
- Pemerintah Kota Cilegon. (2011). Data Kota Cilegon. Retrieved November 2, 2018, from www.cilegon.go.id
- Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., & West, R. E. (2003). *Plant Design and Economics for Chemical Engineering*.
- Poling, B. E., Thomson, G. H., Friend, D. G., Rowley, R. L., & Wilding, W. V. (2008). *Perry's Chemical Engineers' Handbook, 02 Physical and Chemical Data* (8th ed.). McGraw-Hill.
- RKPD Kota Cilegon. (2016). Rencana Kerja Pembangunan Daerah Kota Cilegon.
- Roscher, G., Aktiengesellschaft, H., & Frankurt, F. R. of G. (2011). Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 1–11.
- Sinnott, R. K. 2005. *Chemical Engineering Design* (vol 6). Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Smith, J. M., Van Ness, H., & Abbott, M. (2004). (The McGraw-Hill Chemical Engineering Series) *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*-McGraw-Hill Education (2004).
- Tecnon OrbiChem. (2012). Acetic Acid Market Data. Retrieved November 8, 2018, from www.orbichem.com
- Tsuji, J. (2004). *Palladium Reagents and Catalysts*. John Wiley & Sons, Ltd.