

---

**SKRIPSI**  
**PRA-RANCANGAN PABRIK METIL KLORIDA**  
**DARI ASAM KLORIDA DAN METANOL DENGAN**  
**KAPASITAS 6.000 TON/TAHUN**

**TUGAS AKHIR**

**Disusun Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Menyelesaikan**  
**Program Studi S1 Teknik Kimia**



**Oleh:**

**Victor Viero Alevandro Iswanto**  
**(25190333D)**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK KIMIA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS SETIA BUDI**  
**2024**

---

---

## LEMBAR PERSETUJUAN

Proposal Tugas Akhir:  
**PRANCANGAN PABRIK METIL KLORIDA  
DARI ASAM KLORIDA DAN METANOL DENGAN  
KAPASITAS 6.000 TON/TAHUN**

Oleh:  
**VICTOR VIERO ALEVANDRO I  
25190333D**

Surakarta, 5 Agustus 2024

Menyetujui,

Pembimbing 1



Dewi Astuti Herawati, S.T., M. Eng.

NIS. 01199601032053

Pembimbing 2



G. P. Indra Budiarto, S.T., M. Eng

NIS. 0120140726118

Mengetahui,  
Ketua Program Studi  
S1 Teknik Kimia



Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng

NIS. 01199601032053

---

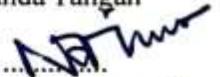
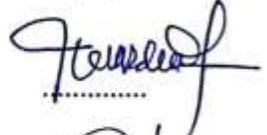
---

## LEMBAR PENGESAHAN

Laporan Tugas Akhir:  
**PRA-RANCANGAN PABRIK METIL KLORIDA  
DARI ASAM KLORIDA DAN METANOL DENGAN  
KAPASITAS 6.000 TON/TAHUN**

Oleh:  
**VICTOR VIERO ALEVANDRO ISWANTO  
25190333D**

Telah Dipertahankan di Depan Tim Penguji  
Pada Tanggal :

	Nama	Tanda Tangan
Penguji I	: Dr. Narimo, S.T., M.M NIS : 01199609021057	
Penguji II	: Ir.Sumardiyono, M.T NIS : 01199403231041	
Penguji III	: <u>Gregorius Prima Indra B, S.T., M.Eng</u> NIS : 01201407261183	
Penguji IV	: Dewi Astuti Herawati, S.T., M. Eng NIS : 01199601032053	

Mengetahui,



Fakultas Teknik  
Universitas Setia Budi  
  
Dr. Drs. Suseno, M.Si  
NIS.01199408011044

Ketua Program Studi  
SI Teknik Kimia



Dewi Astuti Herawati, S.T., M. Eng  
NIS. 01199601032053

---

## HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul **PRARANCANGAN PABRIK KIMIA METIL KLORIDA DARI METHANOL DAN ASAM KLORIDA DENGAN KAPASITAS 6.000 TON/TAHUN** adalah benar merupakan hasil karya saya dengan arahan dari pembimbing tanpa ada upaya penjiplakan atau pemalsuan dan manipulasi data dari karya orang lain. Semua sumber data dan informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain yang telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Surakarta, 2 Oktober 2024



Victor Viero Alevandro I

---

## KATA PENGANTAR

Dengan segala kerendahan hati, penulis panjatkan puji dan syukur kehadirat Tuhan Yesus Kristus, karena atas izin, Berkat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan Tugas Akhir guna memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Setia Budi Surakarta. Dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini penulis mengambil judul : “PRANCANGAN PABRIK METIL KLORIDA DARI METHANOL DAN ASAM KLORIDA KAPASITAS 6.000 TON/TAHUN”

Penulis menyadari berhasilnya studi dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak yang telah memberikan semangat dan do'a kepada penulis dalam menghadapi setiap tantangan, sehingga pada kesempatan ini penulis menghaturkan rasa terima kasih kepada:

1. Dr. Djoni Tarigan, MBA, selaku Rektor Universitas Setia Budi Surakarta.
2. Dr. Drs. Suseno, S.Si., M.Si selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Setia Budi Surakarta.
3. Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng. selaku Kepala Program Studi S1 Teknik Kimia Universitas Setia Budi Surakarta.
4. Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng selaku Dosen Pembimbing I yang membantu dalam membimbing penyusunan laporan Tugas Akhir ini.
5. Gregorius Prima Indra Budianto, S.T., M.Eng selaku Dosen Pembimbing II yang membantu dalam membimbing penyusunan laporan Tugas Akhir ini.
6. Dr. Narimo selaku Dosen Penguji I dalam menguji laporan Tugas Akhir ini.
7. Ir.Sumardiyono, M.T selaku Dosen Penguji II dalam menguji laporan Tugas Akhir ini.
8. Teman-teman Program Studi S1 Teknik Kimia angkatan 2019 yang selalu memberikan semangat dan dukungan dalam menyelesaikan tugas penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.
9. Keluarga yang telah memberikan dukungan dan do'a dan semua pihak yang turut serta mendukung dalam penyusunan Laporan

Tugas Akhir yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Penulis telah bekerja dengan keras untuk menyelesaikan laporan ini, namun penulis sadar bahwa laporan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Maka dari itu segala saran dan kritik dari pembaca akan penulis terima dengan senang hati, serta penulis juga berharap semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya bagi pembaca.

Surakarta, 5 Agustus 2024



Victor Viero Alevandro I

---

---

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vii</b>
<b>INTISARI</b> .....	<b>viii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik.....	1
1.2 Kapasitas Rancangan.....	4
1.3 Lokasi .....	5
1.3.1 Faktor Primer Penentu Lokasi Pabrik adalah .....	6
1.3.2 Faktor Sekunder Penentu Lokasi Pabrik adalah.....	7
1.4 MACAM MACAM PROSES .....	8
1.4.1 Proses Klorinasi Metana.....	8
1.4.2 Proses Hidroklorinasi Metanol.....	9
1.5 Tinjauan Pustaka .....	10
1.5.1 Sifat fisis dan kimia bahan baku dan produk .....	10
1.5.2 Proses Yang Dipilih Dalam Pembuatan .....	14
<b>BAB II SPESIFIKASI BAHAN</b> .....	<b>23</b>
2.1 Spesifikasi Bahan Baku.....	23
2.2 Spesifikasi Bahan Pembantu .....	24
2.3 Spesifikasi Produk.....	25
<b>BAB III DESKRIPSI PROSES</b> .....	<b>25</b>
3.1 Diagram Alir Proses .....	25
3.2 Keterangan Proses .....	25
3.3 Diagram Alir Kualitatif .....	27
3.4 Diagram Alir Kuantitatif .....	28
<b>BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS</b> .....	<b>29</b>
4.1 Neraca Massa.....	29
4.2 Neraca panas.....	31
<b>BAB V SPESIFIKASI ALAT</b> .....	<b>35</b>
5.1 Tangki penyimpanan Metanol.....	35
5.2 Tangki penyimpanan Asam klorida.....	35
5.3 Mixer .....	36

---

5.4 Vaporizer .....	36
5.5 Reaktor .....	37
5.6 Heater 1 .....	38
5.7 Heater 2 .....	39
5.8 Cooler .....	40
5.9 Scrubber 1.....	41
5.10 Scrubber 2 .....	42
5.11 Tangki penyimpanan produk Metil klorida .....	43
5.12 Pompa 1.....	43
5.13 Pompa 2.....	44
5.14 Pompa 3.....	45
5.15 Pompa 4.....	46
5.16 Pompa 5.....	46
5.17 Kompresor 1.....	47
5.18 Kompresor 2.....	48
<b>BAB VI UTILITAS .....</b>	<b>49</b>
6.1 Unit Pendukung Proses .....	52
6.1.1 Unit Penyediaan Air .....	50
6.1.2 Unit pengadaan steam.....	52
6.1.3 Unit pengadaan air pendingin.....	53
6.1.4 Unit pengadaan listrik.....	53
6.1.5 Unit pengadaan bahan bakar.....	59
6.1.6 Unit penyedia udara tekan .....	59
6.1.7 Unit Pengolahan Limbah.....	60
6.2 Laboratorium .....	60
6.2.1 Laboratorium fisik .....	61
6.2.2 Laboratorium analitik .....	62
6.2.3 Laboratorium penelitian dan pengembangan .....	62
6.3 Kesehatan dan keselamatan kerja.....	62
6.4 Alat – Alat Utilitas .....	63
6.4.1 Tangki Air Bersih .....	63
6.4.2 Tangki Penampung air perkantoran dan rumah tangga .....	64
6.4.3 Cooling tower .....	64
6.4.4 Tangki air pendingin.....	64
6.4.5 Kation Exchanger .....	64
6.4.6 Tangki Asam Sulfat.....	65

6.4.7	Anion Exchanger .....	65
6.4.8	Tangki NaOH .....	65
6.4.9	Deaerator .....	65
6.4.10	Tangki penampung air umpan boiler .....	65
6.4.11	Boiler .....	66
6.4.12	Blower .....	66
<b>BAB VII ORGANISASI DAN TATA LETAK PABRIK .....</b>		<b>68</b>
7.1	Bentuk Perusahaan .....	68
7.1.1	Visi Perusahaan .....	70
7.1.2	Misi Perusahaan.....	70
7.1.3	Kebijakan Perusahaan .....	70
7.2	Struktur Organisasi.....	71
7.2.1	Pemegang Saham.....	73
7.2.2	Dewan Komisaris .....	73
7.2.3	Direktur.....	73
7.2.4	Kepala Bagian .....	73
7.2.5	Karyawan.....	74
7.3	Sistem Kepegawaian dan Sistem Gaji.....	76
7.3.1	Sistem Kepegawaian .....	76
7.3.2	Sistem Gaji .....	76
7.3.3	Pembagian jam kerja .....	78
7.4	Kesejahteraan Karyawan.....	79
7.5	Manajemen Produksi .....	81
7.5.1	Perencanaan Produksi.....	81
7.5.2	Pengendalian Proses .....	82
7.5.3	Tata letak Pabrik.....	83
7.6	Tata Letak Peralatan .....	86
<b>BAB VIII EVALUASI EKONOMI .....</b>		<b>90</b>
8.1	Perhitungan Biaya .....	91
8.2	Total Fixed Capital Invesment .....	93
8.3	Working Capital .....	93
8.4	Manufacturing Cost.....	94
8.5	General Expenses .....	94
8.6	Analisis Ekonomi .....	94
<b>BAB IX KESIMPULAN .....</b>		<b>100</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>101</b>
<b>LAMPIRAN A NERACA MASSA DAN NERACA PANAS .....</b>		<b>102</b>

---

<b>LAMPIRAN B PERANCANGAN ALAT PROSES DAN UTILITAS .....</b>	<b>116</b>
<b>LAMPIRAN C EVALUASI.....</b>	<b>135</b>

---

---

## INTISARI

*Pabrik Metil Klorida dari Methanol dan Asam Klorida dengan kapasitas 6.000 ton/tahun akan didirikan di Cilegon, Banten dengan luas tanah 1,5 hektar. Bahan baku berupa Methanol yang diperoleh dari PT. KALTIM METHANOL, Bontang dan bahan baku berupa Asam Klorida yang diperoleh dari PT. Assahimas, Cilegon dan bahan pembantu (katalis) berupa Alumina gel. Pabrik dirancang beroperasi secara kontinyu selama 330 hari efektif, 24 jam per hari.*

*Reaktor yang digunakan adalah Fixed Bed Multitubular, dengan kondisi operasi : temperatur 300 °C dan tekanan 3 atm dengan katalisator Alumina gel. Reaksi berlangsung pada fase gas, bersifat eksotermis dan irreversible. Proses pembuatan Metil klorida berlangsung dalam 3 tahap, yaitu : tahap penyiapan bahan baku, tahap reaksi dan tahap pemisahan dan pemurnian produk.*

*Unit utilitas menyediakan kebutuhan air keseluruhan sebanyak 6.406,95 kg/jam yang diperoleh dari PT. Krakatau Tirta Industri, Cilegon. Kebutuhan listrik dipenuhi dengan cara membeli dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebesar 181,18 kW sebagai cadangan digunakan generator sebesar 250 kW dengan bahan bakar Dexlite sebesar 7819,971 L/tahun*

*Hasil evaluasi secara ekonomi memerlukan Fixed Capital Investment (FCI) sebesar Rp 105.532.394.559,67 serta Working Capital (WC) sebesar Rp 34.006.597.328,13 lalu keuntungan sebelum pajak sebesar Rp 47.668.158.251,66 dan sesudah pajak Rp 37.181.163.436,29 Return on Investment (ROI) sebelum pajak 45% dan sesudah pajak 35% sedangkan Pay Out Time (POT) sebelum pajak 1,8 tahun dan sesudah pajak 2,2 tahun. Break Even Point (BEP) sebesar 33% dan Shut Down Point (SDP) sebesar 17%serta masuk dalam kategori pabrik high risk. Dengan demikian ditinjau dari segi teknis dan ekonomi, pabrik Metil Klorida dari Methanol dan Hydrogen Chloride layak didirikan dengan pertimbangan lebih lanjut.*

*Kata Kunci : Hidroklorinasi, asam klorida, Methanol , Metil Klorida, Reaktor Fix BedMultitube.*

---

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang. Permintaan bahan kimia dari industri Indonesia juga meningkat. Namun, jumlah pabrik kimia di Indonesia sangat sedikit sehingga menyebabkan impor bahan kimia Indonesia meningkat. Salah satunya adalah bahan kimia dalam bentuk metil klorida yang saat ini juga belum ada pabrik metil klorida yang berdiri.

Metil klorida ( $\text{CH}_3\text{Cl}$ ) atau kloro metana merupakan bahan penting yang dibutuhkan sebagai bahan baku dalam industri silikon, industri karet sintesis, industri pembersih lantai, bahan obat – obatan untuk pertanian, bahan baku pembuatan *methyl cellulose*, bahan pembuatan aditif bahan bakar, selain itu juga digunakan sebagai refrigeran dan bahan ekstraksi (Kirk & Othmer, 2004).

Metil klorida murni diproduksi pertama kali oleh Du, As, dan Peligot pada tahun 1835 dengan cara menggunakan pemanasan “*Wood Spirit*” yaitu *crude methyl alcohol* direaksikan dengan campuran asam sulfat dan common salt. Pada abad 19, metil klorida dibuat dengan skala kecil di Eropa untuk keperluan refrigerant dan karet sintesis. Produksi besar mulai dilakukan di USA tahun 1920. Kerajaan Inggris pada tahun 1943 mulai memproduksi yang cenderung lebih besar ketika metil klorida sebagai bahan intermediate untuk industri silicon dan refrigerant flourinasi, kemudian diproduksi lebih besar lagi setelah perang dunia kedua yang mencapai 3,6.108 – 4,5.108 kg/tahun.

Sekitar tahun 1979-1988, pertumbuhan rata—rata untuk metil klorida sebesar 1.7% setiap tahunnya. Diperkirakan pada tahun 1993, pertumbuhan mencapai 1-2% per tahunnya atau dengan perkiraan permintaan sebesar 264.000 ton.

**Tabel 1. 1 kegunaan Metil Klorida**

No	Tahun			
	Industri	1970	1974	1989
1.	Silikon	38%	50%	74%
2.	Tetramethyllead	38%	30%	-
3.	Buthyl Rubber	5%	5%	2%
4.	Pertanian	-	-	7%
5.	Methyl Selulosa	-	-	6%
6.	Gua ternary amin	-	-	5%
7.	Lain-lain	19%	15%	24%

Sumber : (Kirk Donald and Othmer, 1997)

Methyl Chloride yang dihasilkan di Amerika Serikat sebanyak 92% digunakan sebagai feedstock dalam pembuatan bahan lanjutan metil klorosilane. Metil klorosilane digunakan dalam produksi fluida silikon, elastomer, dan resin, namun paling besar digunakan sebagai fluida silikon, yaitu sebagai bahan pembantu seperti agent antifoaming, agent pelepasan, dan pelumas ringan. Methyl Chloride juga digunakan dalam bidang kimia untuk produk konsumsi seperti kosmetik, auto polishes, pelitur furniture, dan lapisan kertas. (Oxchem, 2014).

Di seluruh dunia, permintaan metil klorida meningkat, terutama untuk pembuatan silikon. China adalah produsen silikon terbesar, dengan kapasitas produksi 64% dari total produksi silikon dunia, diikuti oleh Rusia, dengan kapasitas produksi 600.000 ton/tahun, produsen silikon terbesar kedua, diikuti oleh Amerika Serikat, dengan produksi kapasitas 320.000 ton/tahun. Yang memang membutuhkannya. Chloromethane adalah bahan baku pembuatannya. Selain itu, metil klorida juga merupakan bahan baku pembuatan karet butil, dan sekitar 28,8% metil klorida dunia digunakan dalam industri karet butil. Di bawah ini adalah data pasar global dan penggunaan Methyl Chloride.



**Gambar 1. 1 data pasar dan pengguna Metil Klorida di dunia (www.factmr.com, 2022)**

Kebutuhan metil klorida di dalam negeri cukup besar sehingga untuk mencukupinya masih harus mengimpor dari luar negeri (dari Amerika Serikat dan negara-negara Eropa), Sehingga dengan didirikannya pabrik metil klorida ini diharapkan akan:

1. Mampu untuk memenuhi kebutuhan metil klorida di seluruh wilayah Indonesia.
2. Menghemat sumber devisa negara karena mengurangi ketergantungan impor metil klorida
3. Membantu industry – industry kimia yang berbahan baku metil klorida seperti pabrik polimer silikon, metil sellulosa, buthyl rubber, dan lainnya.
4. Membuka kesempatan bagi negara Indonesia untuk menjadi salah satu pengekspor metil klorida ke mancanegara.
5. Membuka lapangan kerja baru sehingga mengurangi jumlah angka pengangguran di Indonesia yang termasuk cukup besar di dunia dan terus meningkat (KOMPAS, 2023).

## 1.2 Kapasitas Rancangan

Menurut situs Badan Pusat Statistik (BPS), tingkat permintaan metil klorida di Indonesia cenderung meningkat dari tahun 2019 hingga 2023. Data impor metil klorida Indonesia ditunjukkan pada Tabel 1.1.

**Tabel 1. 2 Data Impor Metil Klorida di Indonesia (www.bps.go.id)**

<b>Tahun</b>	<b>Berat (ton)</b>
2019	1077,789
2020	1486,874
2021	2095,408
2022	2243,475

Sumber :(bps.go.id ,2023)

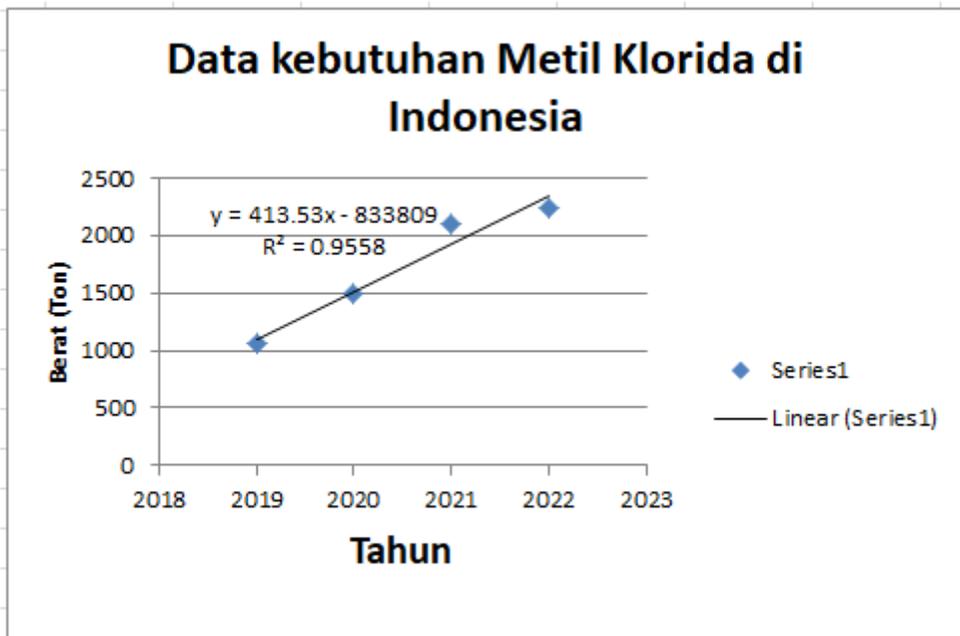
Selain itu, pada data ekspor metil klorida menurut Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia ditunjukkan pada Tabel 1.3

**Tabel 1. 3 Data Ekspor Metil Klorida Indonesia**

<b>Tahun</b>	<b>Berat (Ton)</b>
2019	9,76
2020	0,551
2022	0,05

Sumber : (bps.go.id, 2023)

Dari data Ekspor diatas dapat dilihat bahwa hasil Ekspor metil klorida di Indonesia masih cukup sedikit bahkan dari tahun 2019 hingga 2022 semakin menurun, hal ini dikarenakan belum adanya pabrik atau industri kimia yang memproduksi metil klorida di Indonesia untuk mampu meningkatkan hasil ekspor.



**Gambar 1. 2 Grafik Data Kebutuhan Metil Klorida Di Indonesia**

Maka dari Persamaan yang diperoleh  $y = 413.53x - 833809$  dimana  $x$  menunjukkan tahun jumlah kebutuhan dalam negeri dan  $y$  menunjukkan kapasitas kebutuhan dalam negeri dalam ton/tahun. Maka dengan menggunakan persamaan tersebut Pada data gambar 1.2 dihitung dengan menggunakan regresi linier dapat diprediksikan konsumsi metil klorida pada tahun 2028 sebagai tahun produksi sebesar 4829,84 ton/Tahun. Sehingga di lihat dari kebutuhan dalam negeri yang terus meningkat, maka perencanaan pendirian pabrik metil klorida dirancang dengan kapasitas **6000 Ton/Tahun** pada tahun **2028**.

### 1.3 Lokasi

Dalam perancangan pemilihan lokasi merupakan suatu persoalan yang tidak mudah dan ini merupakan hal terpenting. Untuk itu pemilihan lokasi harus sangat berhati-hati. Umumnya ada beberapa kondisi yang menjadi persoalan dalam penentuan lokasi pabrik (Fahrizal *et al.*, 2015), yaitu:

- a. Perluasan Pabrik;
- b. Pemecahan pabrik dalam sentral-sentral unit kerja (*decentralization*);

- c. Faktor-faktor ekonomis (perubahan pasar, penyediaan tenaga kerja dan lain sebagainya).

Biasanya pemilihan lokasi pabrik yang digunakan adalah strategi untuk meminimalkan biaya. Dalam memilih lokasi pabrik tidaklah mudah karena harus mempertimbangkan beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut pada pelaksanaannya tentu akan berbeda antara usaha satu dengan usaha lainnya sesuai dengan jenis usaha dan produk yang dihasilkan. Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan lokasi pabrik seperti lokasi pasar, sumber bahan baku, tenaga kerja, listrik, air, akses transportasi, sikap masyarakat, serta peraturan pemerintah setempat (Maulana, 2018)

Berdasarkan pertimbangan di atas, maka lokasi pendirian pabrik Metil Klorida dipilih di daerah **kawasan industri Cilegon, Provinsi Banten** dengan pertimbangan sebagai berikut:

### **1.3.1 Faktor Primer Penentu Lokasi Pabrik adalah**

Faktor primer adalah faktor yang secara langsung berpengaruh terhadap tujuan utama dari usaha pabrik tersebut. Tujuan utama ini meliputi proses produksi dan distribusi, adapun faktor-faktor primer yang berpengaruh langsung dalam pemilihan lokasi pabrik adalah :

#### **1. Penyediaan Bahan Baku**

Bahan baku mudah didapatkan dan jaraknya dekat, terutama metanol yang diproduksi oleh PT Kaltim Methanol Industry berlokasi di Bontang, Kalimantan Timur sebanyak 660.000 ton/tahun (Www.datacon.co.id, 2023), dan juga asam klorida yang diproduksi oleh PT Asahimas Chemical yang berlokasi di Cilegon, Banten sebanyak 349.000 ton/tahun (Tkdn.kemenperin.go.id, 2023). Karena kedua bahan baku utama berada di Indonesia maka tidak diperlukan impor dari luar negeri, sehingga perusahaan pun dapat menghemat anggaran biaya penyediaan bahan baku

#### **2. Utilitas**

Unit utilitas merupakan sarana penunjang proses yang diperlukan agar pabrik dapat beroperasi dengan baik. Unit utilitas ini meliputi air, steam, listrik dan pengadaan generator. Di Cilegon terdapat kawasan industri yang lengkap dengan unit-unit utilitas, sehingga penyediaan air dan steam dapat terpenuhi. Demikian

juga kebutuhan listrik tidak akan mengalami kesulitan karena memperoleh suplai dari PLN.

3. Lokasi pemasaran

Produk metil klorida banyak dibutuhkan oleh industri kimia yang ditujukan untuk kebutuhan pasar dalam negeri dan luar negeri. Lokasi pabrik di Cilegon dipilih sebagai lokasi pendirian pabrik Metil Klorida karena sangat strategis, yaitu dekat dengan kawasan industri dan pemasaran industri lain yang tersebar di Indonesia serta dekat dengan pelabuhan sehingga memudahkan penerimaan bahan baku dan pengiriman metil klorida ke luar negeri.

4. Sarana transportasi

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

5. Penyediaan tenaga kerja

Penyediaan tenaga kerja yang terampil dan terdidik untuk pengoperasian alat-alat industri perlu dipertimbangkan. Pulau Jawa jumlah penduduknya banyak sehingga untuk keperluan tenaga kerja yang terdidik maupun tidak terdidik dapat terpenuhi.

### **1.3.2 Faktor Sekunder Penentu Lokasi Pabrik adalah**

Faktor sekunder adalah faktor yang secara tidak langsung berperan dalam proses suatu pabrik, namun sangat berpengaruh untuk keberlangsungan proses produksi suatu pabrik. Faktor-faktor tersebut adalah:

a. Perizinan

Karena Cilegon merupakan kawasan industri, sehingga memudahkan dalam melakukan perizinan dengan pemerintah dan masyarakat setempat.

b. Perluasan

Daerah Cilegon merupakan daerah tidak padat penduduk, sehingga untuk perluasan pabrik, dapat dilakukan ke depannya.

## 1.4 MACAM MACAM PROSES

Pemilihan proses ditinjau dari proses produksi dari masing – masing proses. Ada beberapa proses yang secara komersial dapat dilakukan serta dikembangkan dalam waktu ini untuk menghasilkan *Methyl Chloride*, yaitu

- a. Proses Klorinasi Metana
- b. Proses Hidroklorinasi metanol

### 1.4.1 Proses Klorinasi Metana

Pada proses klorinasi metana, *Methyl Chloride* bukan merupakan produk tunggal, karena terbentuk produk lain seperti karbon tetra klorida dan kloroform. Pada klorinasi metana digunakan klorin dan metana sebagai bahan baku dalam fase gas. Reaksi berjalan secara eksotermis dengan suhu reaksi 400-500<sup>0</sup>C, sehingga sangat diperlukan pengontrolan suhu. (Kirk Donald and Othmer, 1997)

Suhu yang lebih tinggi dapat menyebabkan *Methyl Chloride* terurai menjadi metilen dan HCl. Reaksi pada suhu tinggi dapat menyebabkan terjadinya polimerisasi dan dapat merusak katalisator. Kesulitan lain yang dihadapi adalah mengganti katalisator yang sudah tidak aktif lagi serta pendingin yang cukup untuk mempertahankan suhu. (Mc. ketta & Albright, 1979)

Reaksi :



Metana (kemurnian 99%) direaksikan dengan klorin dengan perbandingan 1,7 banding 1. Reaktan dipanaskan dan dimasukkan ke reaktor. Pada suhu 350 – 370°C, dengan tekanan 11-15 atm, dan waktu tinggal (*residence time*) yang dikontrol sesuai suhu tersebut dapat tercapai, maka sekitar 65% metana tereaksikan. Produk yang dihasilkan meliputi: 58,5 % metil klorida, 29,3% metilena klorida, 9,7% kloroform, dan 2,3 % karbon tetraklorida. Untuk reaksi pembuatan metil klorida sendiri, reaksi ini terjadi pada suhu sekitar 400 °C dengan tekanan 20 atm. Konversi reaksi yang diperoleh cukup tinggi, yaitu sekitar 90% metana menjadi metil klorida, dengan kemurnian produk akhir 99%.

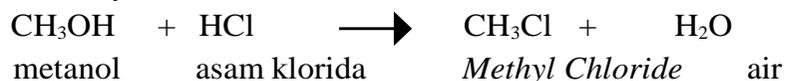
Proses klorinasi metana memerlukan tekanan sedikit di atas tekanan atmosferis dan menghendaki kemurnian metana tinggi, sehingga diperlukan alat cryogenic destilasi untuk treatment gas alam. Kebutuhan investasi peralatan ini cukup mahal dan yield proses klorinasi metana yaitu sekitar 80- 85%. (Kirk Donald and Othmer, 1997)

#### 1.4.2 Proses Hidroklorinasi Metanol

Proses hidroklorinasi adalah suatu proses dengan atom halogen yang berasal dari asam klorida bergabung dengan suatu senyawa organik. Proses hidroklorinasi dengan reaksi substitusi terjadi pada pembuatan *Methyl Chloride*.

*Methyl Chloride* dihasilkan oleh reaksi antara CH<sub>3</sub>OH dan HCl dengan bantuan katalis. Uap methanol dan HCl diumpankan secara equimolar.

Reaksinya :



Campuran gas kemudian dimasukkan ke dalam reactor batch jenis fixed bed multitube pada suhu 300°C - 390°C dan tekanan 3-5 atm. Yield yang diperoleh cukup tinggi yaitu : 90-95% methanol menjadi *Methyl Chloride*, dengan menggunakan katalis alumina gel. Reaksi didalam reaktor bersifat exotermis, sehingga untuk mengontrol temperatur diperlukan dowtherm A sebagai media pendingin (M. S. Thyagarajan., *et all*, 1966)

## 1.5 Tinjauan Pustaka

### 1.5.1 Sifat fisis dan kimia bahan baku dan produk

#### a. Sifat Fisis dan Kimia Bahan Baku

##### 1) Metanol (CH<sub>3</sub>OH)

###### ▪ Sifat-sifat fisis

- Rumus Kimia = CH<sub>3</sub>OH
- Massa molar = 32.04 g/mol
- Wujud = Cair tak berwarna
- Densitas = 0.7918 g/cm<sup>3</sup>, liquid
- Titik lebur = -97 °C, -142.9 °F (176 K)
- Titik didih = 64.7 °C, 148.4 °F (337.8 K)
- Kelarutan dalam air = mudah larut dalam air
- keasaman = ~ 15.5
- viskositas = 0.59 mPa·s at 20 °C

(Pubchem.ncbi.nlm.nih.gov, 2004)

##### 2) Asam klorida (HCl)

###### ▪ Sifat-sifat fisis

- Rumus Kimia = HCl
- Massa molar = 36,46 g/mol (HCl)
- Wujud = Cairan tak berwarna sampai dengan kuning pucat
- Densitas = 1,18 g/cm<sup>3</sup> (variable)
- Titik lebur = -27,32 °C (247 K)
- Titik didih = 110 °C (383K)
- Kelarutan dalam air = Larut dalam air
- Keasaman (pK<sub>a</sub>) = -6,3
- Viskositas = 1,9 mPa·s pada 25 °C

(Pubchem.ncbi.nlm.nih.gov, 2004)

###### ▪ Sifat-sifat kimia

- Reaksi dengan oksida logam  
Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bereaksi pada suhu temperatur 300 °C menghasilkan FeCl<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O
- Reaksi dengan zat pengoksidasi  
HCl dan O<sub>2</sub> bereaksi dalam fasa gas menghasilkan Klorin  
HCl + O<sub>2</sub> → 2Cl<sub>2</sub> + 3H<sub>2</sub>O
- Reaksi substitusi dan hidroksil alifatik

dengan asam klorida



- Untuk alkyl yang lebih tinggi, katalis  $\text{ZnCl}$  digunakan untuk kontak reaksi dalam fasa cair. Untuk alkohol rendah seperti metanol dapat direaksikan dengan  $\text{HCl}$  melalui reaksi hidroklorinasi menggunakan katalis pada (Perry, 2008)

## b. Sifat Fisis dan Kimia Bahan Pembantu

### 1) Silica Alumina

#### ▪ Sifat-sifat fisis

- Rumus Kimia  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$
- Titik Leleh: Alumina silica memiliki titik leleh yang tinggi, umumnya berkisar antara  $1300^\circ\text{C}$  hingga  $1700^\circ\text{C}$ . Titik leleh yang tinggi menunjukkan ketahanan material terhadap suhu tinggi.
- Kepadatan: Kepadatan alumina silica berkisar antara 2,2 hingga  $2,6 \text{ g/cm}^3$ , tergantung pada komposisi dan struktur spesifiknya.
- Kepekatan: Alumina silica biasanya tersedia dalam bentuk padat, seperti bubuk, butiran, atau keramik. Kepekatan material ini bervariasi tergantung pada aplikasi dan metode produksinya.
- Warna: Alumina silica dapat memiliki berbagai warna, termasuk putih, abu-abu, atau cokelat. Warna ini dapat bervariasi tergantung pada komposisi dan kondisi pembuatan.
- Kelarutan: Alumina silica memiliki kelarutan yang rendah dalam air dan larutan asam. Namun, dapat larut dalam larutan basa kuat seperti larutan natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) atau kalium hidroksida ( $\text{KOH}$ ).
- Struktur Kristal: Alumina silica memiliki struktur kristal yang beragam, tergantung pada komposisi dan kondisi sintesisnya. Beberapa bentuk struktur kristal yang umum adalah mullite, cordierite, atau kyanite.
- Konduktivitas Termal: Alumina silica memiliki konduktivitas termal yang relatif rendah. Ini berarti material ini memiliki kemampuan isolasi termal yang baik.

- Kekerasan: Alumina silica termasuk dalam kategori bahan yang cukup keras. Kekerasannya berkisar antara 6,5 hingga 7,5 pada skala skala kekerasan Mohs.

(Pubchem.ncbi.nlm.nih.gov, 2004)

- **Sifat-sifat kimia**

- Asamitas yang Kuat: Katalis alumina silica memiliki keasaman yang kuat, yang penting untuk mengaktifkan reaktan seperti metanol dan HCl. Kehadiran alumina dan silika dalam katalis memberikan sifat asam yang memadai untuk berinteraksi dengan ikatan hidrogen dalam metanol dan HCl, memungkinkan reaksi hidroklorinasi terjadi dengan efisien.
- Selektivitas: Katalis alumina silica dapat menunjukkan selektivitas yang baik dalam reaksi hidroklorinasi metanol, yaitu menghasilkan metil klorida sebagai produk utama yang diinginkan. Struktur dan komposisi katalis dapat mempengaruhi selektivitas reaksi dengan mengatur interaksi antara reaktan dan permukaan katalis, meminimalkan pembentukan produk samping yang tidak diinginkan.
- Stabilitas Kimia: Katalis alumina silica umumnya menunjukkan stabilitas kimia yang baik terhadap asam hidroklorida dan kondisi reaktif lainnya yang ada dalam proses hidroklorinasi metanol. Stabilitas kimia yang baik penting untuk menjaga kinerja katalis selama operasi yang berkelanjutan.
- Sifat Adsorpsi: Katalis alumina silica memiliki kemampuan untuk menyerap dan mendesorpsi molekul-molekul reaktan dan produk pada permukaannya. Adsorpsi molekul-molekul reaktan pada permukaan katalis memfasilitasi reaksi yang efisien dan meningkatkan kontak antara reaktan dengan katalis.

(Pubchem.ncbi.nlm.nih.gov, 2004)

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

- **Sifat-sifat fisis**

- Titik Leleh = 0°C (32°F)
- Titik Didih = 100°C (212°F)

- Massa molar = 18.02 g/mol
- Densitas = 1 g/cm<sup>3</sup> (pada 4°C)
- Titik Beku 0°C = pada 1 atm
- Volume molar = 55,5 mol/ L
- Kerapatan pada fasa = 1000 kg/m<sup>3</sup>liquid, 917 kg/m<sup>3</sup>solid
- Warna = Tanpa warna
- Bau = Tidak berbau (dalam kondisi murni)
- Rasa: Tidak memiliki rasa (dalam kondisi murni)
- Kepolaran: Air memiliki sifat polar karena molekulnya yang dipolar. Ini berarti air memiliki kutub positif pada atom hidrogen dan kutub negatif pada atom oksigen, yang menghasilkan daya tarik elektrostatik antar molekul air (interaksi hidrogen).

(pubchem.ncbi.nlm.nih.gov, 2004)

• **Sifat-sifat kimia**

- Dibentuk melalui reaksi :  $H^+ + OH^- \longrightarrow H_2O$
- Mampu menghidrolisis ester menjadi senyawa – senyawa pembentuknya :  
 $2RCOOR + H_2O \longrightarrow RCOOH + ROH$
- Mudah melarutkan zat – zat, baik cair, padat maupun gas. (Perry, 2008)

c. **Sifat Fisis dan Kimia Produk**

3) **Metil klorida (CH<sub>3</sub>Cl)**

▪ **Sifat-sifat fisis**

Rumus Kimia	= CH <sub>3</sub> Cl
Massa molar	= 50,49 g·mol <sup>-1</sup>
Wujud	= Gas tak berwarna
Densitas	= 1.003 g/mL (-23.8 °C, liquid) 2.3065 g/L (0 °C, gas)
Titik lebur	= -974 °C (-1.721 °F; -701 K)
Titik didih	= -238 °C (-396,4 °F; 35,1 K)
Kelarutan dalam air	= 5.325 g L <sup>-1</sup>

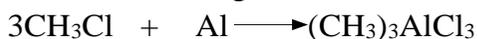
(Pubchem.ncbi.nlm.nih.gov, 2004)

▪ **Sifat-sifat kimia**

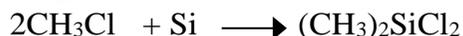
Metil klorida mempunyai kemampuan metilasi melalui reaksi *Friedel Crafts*, *Grignard reagent* dan *Wurtz synthesis*.



Metil klorida akan bereaksi kuat dengan Al menghasilkan metil aluminaklorida yang digunakan sebagai katalis untuk polimerisasi dan hidrogenasi dari hidrokarbon



Silikon bereaksi dengan metil klorida dengan adanya Cu akan menghasilkan dimetil klorida silane.



Reaksi ini adalah tahap intermediet dalam penyediaan silicon Tetrametiled digunakan sebagai bahan pencampur gasolin, dibuat dengan mereaksikan metil klorida dengan campuran Pb monosodium sebagai katalis digunakan  $\text{AlCl}_3$



Metil klorida akan bereaksi dengan amina tersier membentuk quartenary amonium klorida. Senyawa ini sangat penting dalam produksi detergent, fungisida, dan desinfektan. (Kirk Donald and Othmer, 1997)

### 1.5.2 Proses Yang Dipilih Dalam Pembuatan

#### 1. Kondisi Operasi

Untuk membandingkan tiap proses, harus ditinjau dalam melakukan perbandingan yaitu melihat dari kondisi operasi yang digunakan tiap teknologi proses. Berikut kondisi operasi dari masing-masing teknologi proses pabrik metil klorida yang disajikan pada Tabel

Tabel 1. 4 Perbandingan Pemilihan Proses

No	Parameter	Proses Pembuatan	
		Proses Klorinasi	Proses Hidroklorinasi
1	Bahan baku	Metana	Methanol dan asam klorida
3	Katalis	Alumina gel	Alumina gel
4	Reaksi	$\text{CH}_4 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{Cl} + \text{HCl}$ $\text{CH}_3\text{Cl} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{Cl}_2 + \text{HCl}$ $\text{CH}_2\text{Cl}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CCl}_4 + \text{HCl}$ $\text{CHCl}_3 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CCl}_4 + \text{HCl}$	$\text{CH}_3\text{OH} + \text{HCl} \rightarrow \text{CH}_3\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$ $2\text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{O}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$
5	Reaktor	<i>Plug Flow Multitube</i>	<i>Fixed Bed multitube</i>
6	Yield	80-85 %	90-95 %
7	Kondisi Operasi	11-15 atm	3-5 atm
8	Produk Samping	Metilena klorida ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ), Kloroform ( $\text{CHCl}_3$ ), Karbon tetraklorida ( $\text{CCl}_4$ )	Air ( $\text{H}_2\text{O}$ )
9	Suhu	400-500°C	300-350°C
10	Konversi	90 %	95 %
11.	Produk Utama	Metil Klorida	Metil Klorida

Berdasarkan uraian beberapa macam proses pembuatan *Methyl Chloride* tersebut ,maka dipilih proses pembuatan *Methyl Chloride* dari Metanol dan Asam klorida dengan proses hidroklorinasi metanol menggunakan katalis Alumina dengan pertimbangan sebagai berikut :

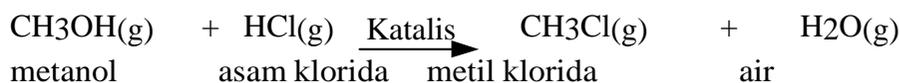
- a. Proses ini menghasilkan konversi reaksi yang tinggi.

- b. Pada proses hidroklorinasi metanol metil klorida memerlukan suhu yang lebih rendah daripada proses klorinasi methane .
- c. Reaksi pada suhu tinggi dapat menyebabkan katalisator mudah rusak dan menyebabkan metil klorida terurai menjadi metilen dan HCl. (Mc. ketta & Albright, 1979)
- d. *Yield* pada proses hidroklorinasi metanol dapat mencapai lebih dari 95% sedangkan proses klorinasi metana sebesar 80-85%. (Kirk Donald and Othmer, 1997)

## 2. Dasar Reaksi

Proses pembuatan metil klorida dari metanol dan hidrogen klorida dengan katalisator silica alumina gel ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ) dilakukan melalui hidroklorinasi dengan reaksi sebagai berikut :

Katalis



Reaksi hidroklorinasi metanol dengan hidrogen klorida merupakan reaksi orde 2 dengan  $r_A = k C_A^2$ .  
(Thyagarajan *et al.*, 1966)

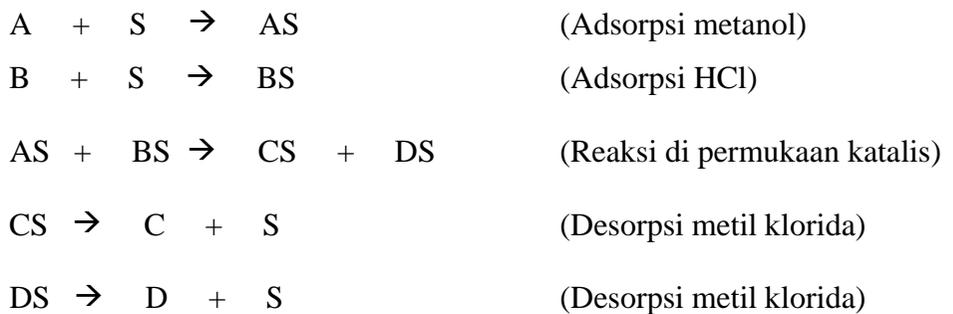
## 3. Mekanisme Reaksi

Reaksi katalitis dengan zat reaktan Metanol dan HCl berbentuk gas dan katalisator silica lumina gel berbentuk padatan berlangsung menurut mekanismesebagai berikut :

1. a. Difusi gas reaktan dari fase gas ke permukaan luar (*interface*) katalis  
b. Difusi reaktan dari permukaan luar katalis melewati pori-pori ke permukaan dalam pori katalis (difusi molekuler)
2. Adsorpsi reaktan pada permukaan dalam katalis
3. Reaksi :  $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) + \text{HCl}(\text{g}) \longrightarrow \text{CH}_3\text{Cl}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$
4. Desorpsi hasil reaksi dari permukaan dalam katalis

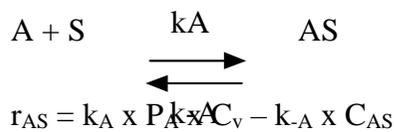
5. a. Difusi gas hasil reaksi dari permukaan dalam katalis ke permukaan luarkatalis
- b. Difusi gas hasil reaksi dari permukaan luar katalis (*interface*) ke fase gas (Fogler, 1999).

Pada mekanisme reaksi katalitis di atas, tahap difusi dan adsorpsi berlangsung sangat cepat, sedangkan reaksi pada permukaan katalis berlangsung paling lambat. Sehingga kecepatan reaksi katalitis secara keseluruhan dikontrol oleh reaksi permukaan. Mekanisme reaksi :



1. Adsorpsi

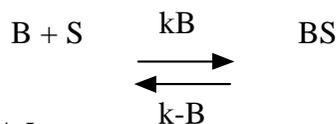
- Adsorb A di permukaan katalis



dimana  $K_A = \frac{k_A}{k_{-A}}$

$$r_{AS} = k_A \left[ P_A \times C_v - \frac{C_{AS}}{K_A} \right] \dots\dots\dots(a)$$

- Adsorb B di permukaan katalis



$$r_{BS} = k_B \times P_B \times C_v - k_{-B} \times C_{BS}$$

dimana  $K_B = \frac{k_B}{k_{-B}}$

$$r_{BS} = k_B \left[ P_B \times C_v - \frac{C_{BS}}{K_B} \right] \dots\dots\dots(b)$$

2. Reaksi Permukaan Katalis



$$r_s = k_s \times C_{AS} \times C_{BS} \dots\dots\dots(c)$$

3. Desorpsi

- Desorpsi Produk Utama



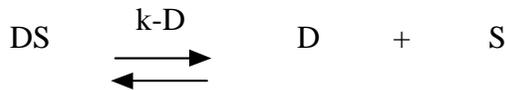
$$r_C = (k_{-C} \times C_{CS}) - (k_C \times P_C \times C_v)$$

dimana  $K_C = \frac{k_{-C}}{k_C}$

$$r_C = (k_{-C} \times C_{CS}) - ((k_{-C}/K_C) \times P_C \times C_v)$$

$$r_C = k_{-C} \times ((C_{CS} - (P_C \times C_v/K_C)) \dots\dots\dots(d)$$

- Desorpsi Produk Utama



$$r_d = (k_{-D} \times C_{DS}) - (k_D \times P_D \times C_v)$$

dimana  $K_D = \frac{k_{-D}}{k_D}$

$$r_D = (k_{-D} \times C_{DS}) - ((k_{-D}/K_D) \times P_D \times C_v)$$

$$r_D = k_{-D} \times ((C_{DS} - (P_D \times C_v/K_D)) \dots\dots\dots(e)$$

Langkah : Reaksi Permukaan Katalis

$$R_s = r_1 = k_s \times C_{AS} \times C_{BS} \dots\dots\dots(f)$$

$$k_A \gg \gg \rightarrow \frac{r_{AS}}{k_A} = 0$$

Persamaan (a) menjadi :

$$P_A \times C_v = \frac{C_{AS}}{K_A}$$

$$C_{AS} = P_A \times C_v \times K_A \quad \dots\dots\dots(g)$$

$$K_B \gg \gg \gg \rightarrow \frac{r_{BS}}{k_B} = 0$$

Persamaan (b) menjadi :

$$P_B \times C_v = \frac{C_{BS}}{K_B}$$

$$C_{BS} = P_B \times C_v \times K_B \quad \dots\dots\dots(h)$$

$$k_{-C} \gg \gg \gg \rightarrow r_C / k_C = 0$$

Persamaan (d) menjadi :

$$C_{DS} = \frac{P_D \times C_v}{K_D} \quad \dots\dots\dots(i)$$

$$k_{-D} \gg \gg \gg \rightarrow r_D / K_D = 0$$

Persamaan (e) menjadi :

$$C_{DS} = \frac{P_D \times C_v}{K_D} \quad \dots\dots\dots(j)$$

Substitusi persamaan (g),(h),(i), dan (j) ke persamaan (f)

$$r_1 = k_s (P_A \times C_v \times K_A)(P_B \times C_v \times K_B)$$

$$= k_s \times C_v^2 \times P_A \times P_B \times K_A \times K_B$$

$$C_t = C_v + C_{AS} + C_{BS} + C_{DS} + C_{CS}$$

$$= C_v + C_v \cdot P_A \cdot K_A + C_v \cdot P_B \cdot K_B + \frac{P_D \times C_v}{K_D} + \frac{P_C \times C_v}{K_C}$$

$$C_v = \frac{\left[ 1 + P_A \cdot K_A + P_B \cdot K_B + \frac{P_D}{K_D} + \frac{P_C}{K_C} \right] \cdot C_t}{1 + P_A \cdot K_A + P_B \cdot K_B + \frac{P_D}{K_D} + \frac{P_C}{K_C}}$$

$$r_s = \frac{K_S \cdot P_A \cdot P_B \cdot (K_A \cdot K_B) \cdot C_t^2}{\left[ 1 + P_A \cdot K_A + P_B \cdot K_B + \frac{P_D}{K_D} + \frac{P_C}{K_C} \right]^2}$$

$$\text{Jika : } P_A \cdot K_A + P_B \cdot K_B + \frac{P_D}{K_D} + \frac{P_C}{K_C} = 0$$

$$K_S \cdot K_A \cdot K_B \cdot C_t^2 = k_1$$

$$nA_o = nB_o$$

$$\text{Maka : } r_1 = k_1 \cdot P_A^2$$

$$r_1 = 2,615E+03 \exp(-18860/RT)$$

#### 4. Tinjauan Kinetika

Reaksi hidroklorinasi metanol termasuk reaksi orde dua. Dari segi kinetika, kecepatan reaksi hidroklorinasi metanol akan bertambah cepat dengan naiknya temperatur. Berdasarkan persamaan Arrhenius :

$$k = A \cdot e^{-E_a/RT}$$

di mana :

k = konstanta kecepatan reaksi

A = faktor frekuensi tumbukan

E = energi aktivasi

R = konstanta gas ( 1,987 kal/mol K )

T = temperatur operasi ( K )

Harga konstanta kecepatan reaksi kimia adalah sebagai berikut :Reaksi :



Konstanta kecepatan reaksi sebagai berikut:

$$k = 2,615E+03 \exp (-E / RT)$$

di mana :

r = kecepatan reaksi, mol/(hr).(gram katalis)

k = konstanta kecepatan reaksi, mol/(hr).(atrn<sup>2</sup>).(gram katalis)  
PCH<sub>3</sub>OH = Tekanan parsial metanol, atm

E = 18.860 kalori/mol

R = konstanta gas, 1,9872 kkal/kmol K

T = suhu, K

(Thyagarajan *et al.*, 1966)

## 5. Tinjauan Termodinamika

Tabel 1.5 Data Panas Pembentukan dan Energi Gibbs

Komponen	$\Delta H_f^0$ (J/ gmol)	$\Delta G_f^0$ (J/ gmol)
CH <sub>3</sub> OH	-201.170	- 162.510
HCl	-92.300	- 95.300
CH <sub>3</sub> Cl	-86.320	- 62.890
H <sub>2</sub> O	-241.800	- 228.600

Sumber: (Yaws, 1999)

Reaksi :



$$\Delta G_r^0 = \Delta G_{f^0}^{\text{produk}} - \Delta G_{f^0}^{\text{reaktan}}$$

$$= (\Delta G_{f^0}^{\text{CH}_3\text{Cl}} + \Delta G_{f^0}^{\text{H}_2\text{O}}) - (\Delta G_{f^0}^{\text{CH}_3\text{OH}} + \Delta G_{f^0}^{\text{HCl}})$$

$$= (- 62.890 + (- 228.600)) - (- 162.510 + (- 95.300))$$

$$= -33.680 \text{ J/mol}$$

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

$$\Delta H_r^0 = (\Delta H_{f^0}^{\text{CH}_3\text{Cl}} + \Delta H_{f^0}^{\text{H}_2\text{O}}) - (\Delta H_{f^0}^{\text{CH}_3\text{OH}} + \Delta H_{f^0}^{\text{HCl}})$$

$$= (-86.320 + (-241.800)) - (-201.170 + (-92.300))$$

$$= -34.650 \text{ J/mol}$$

Reaksi pembuatan metil klorida adalah reaksi eksothermis, selama reaksi dibebaskan panas. Hal ini ditunjukkan oleh harga enthalpi yang negatif, yaitu sebesar -34.650 J/mol.

Untuk mengetahui apakah reaksi berlangsung secara irreversible dapat dilihat dari harga K (konstanta kesetimbangan reaksi). Data  $\Delta G^0$  untuk komponen yang terlibat dalam reaksi tersebut adalah :

$$K_{298} = e^{\frac{\Delta G}{RT}}$$

$$K_{298} = e^{\frac{-33.680}{8,314 \times 298}}$$

$$= 8,013 \times 10^5$$

$$\ln \frac{K}{K_0} = \frac{\Delta H}{R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{298} \right) \text{ (Wiley et al., 1999)}$$

Suhu reaksi rata-rata = 598 K. Harga K pada suhu 598 K adalah :

$$K_{598} = K_{298} \exp \left( \frac{\Delta H}{R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{298} \right) \right)$$

$$K_{598} = 8,013 \times 10^5 \exp \left( \frac{-34.650}{8,314} \left( \frac{1}{573} - \frac{1}{298} \right) \right)$$

$$= 6,9 \cdot 10^8$$

Harga konstanta kesetimbangan reaksi (K) termasuk besar sehingga reaksi bisa dianggap berjalan secara irreversible.