

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Industri bahan kimia di Indonesia pada saat ini mengalami laju perkembangan yang sangat maju seiring dengan semakin meningkatnya pasar produk-produk jadi yang tinggi. Produksi bahan kimia di Indonesia saat ini belum bisa mencukupi kebutuhan dalam negeri yang terus meningkat, sehingga Indonesia harus mengimpor bahan-bahan kimia dalam jumlah yang sangat banyak setiap tahunnya. Saat ini sedang terjadi era perdagangan bebas di negara ASEAN, sehingga dilakukan upaya peningkatan produktivitas dan daya saing adalah dengan suatu keharusan agar Indonesia dapat menyesuaikan dengan perkembangan zaman dan dapat mengurangi kebutuhan impor yang ada didalam negeri.

Untuk mengurangi ketergantungan dari produk luar negeri, diperlukan untuk mendirikan Industri kimia dasar khususnya Formalin. Formaldehida ( $\text{CH}_2\text{O}$ ) dikenal sebagai deret pertama aldehida alifatik. Terjadinya formaldehida berlimpah di udara dan juga merupakan produk sampingan dari beberapa proses biologis. Formalin memiliki nama IUPAC *Formaldehyde* dan rumus kimia  $\text{CH}_2\text{O}$ . Formaldehida adalah komponen kimia utama dalam banyak proses manufaktur. Pembuatannya relatif sederhana, meskipun diperlukan penanganan, pengangkutan, dan penyimpanan yang hati-hati (Park *et al.*, 2010).

Formaldehid sangat akrab kaitannya dengan proses pengawetan pada zaman dahulu dan sepertinya masih sama sampai sekarang. Formaldehid telah digunakan sejak awal tahun 1899 untuk proses pengawetan mayat yang sebagian besar ada di daerah *Wild West* (Bedino, 2004). Pentingnya formaldehid pada proses tersebut sangat penting untuk mendirikan pabrik atau industri pada masa depan.

### 1.1.1 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku adalah faktor yang paling penting dalam proses produksi pada suatu pabrik, sehingga ketersediaannya harus disesuaikan atau dijadwalkan dengan kebutuhan pabrik. Bahan baku yang digunakan dalam proses pembuatan formaldehid adalah metanol dan oksigen. Ketersediaan metanol yang didatangkan dari PT. Kaltim Metanol Indonesia (KMI) di Bontang, Kalimantan Timur dengan kapasitas produksi 660.000 ton/tahun dimana 90% dari kapasitas produksi tersebut diekspor sedangkan 10% sisanya sekitar 66.000 ton/tahun dijual untuk memenuhi kebutuhan domestik (dalam negeri).

### 1.1.2 Alasan Pendirian Pabrik

Formalin merupakan bahan kimia industri yang penting karena merupakan bahan kimia *intermediate* yang banyak digunakan dalam proses-proses produksi pada industri dan produk-produk konsumen. Ada beberapa kegunaan utama untuk formalin. Pertama adalah dengan menggunakan formalin sebagai bahan pengawet produk kosmetika dan pengeras kuku, sebagai pencegah sumur minyak dan bahan perekat untuk produk kayu lapis.

Pendirian pabrik formalin di Indonesia diharapkan dapat memenuhi kebutuhan formalin dalam negeri dan memenuhi kebutuhan negara-negara ASEAN lainnya serta meningkatkan pendapatan negara dari sektor pajak, menciptakan lapangan kerja, dan mendorong pertumbuhan industri. industri turunan formalin di Indonesia.

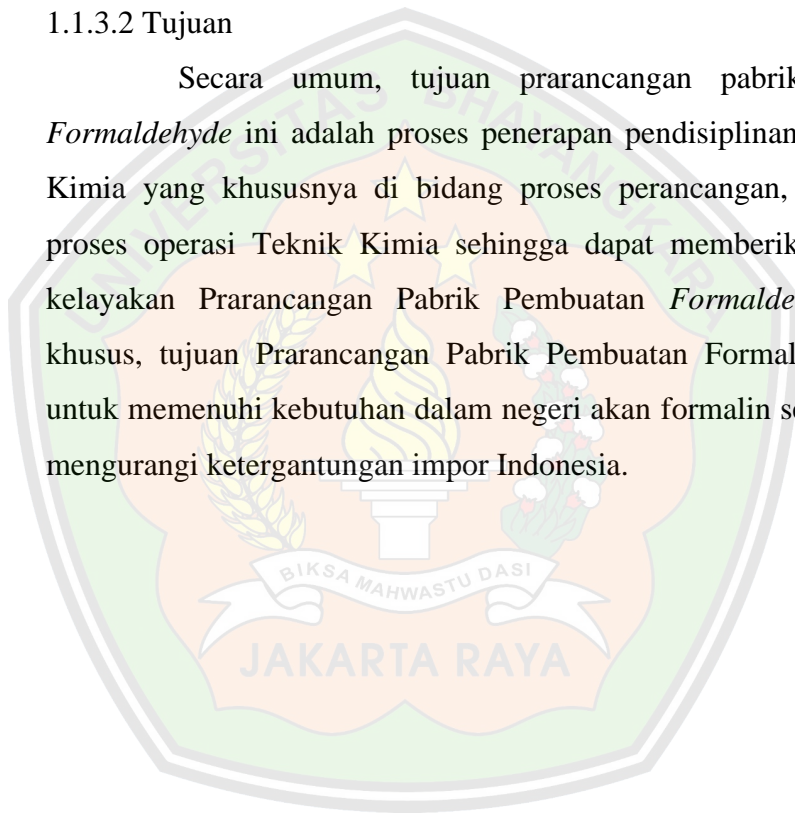
### 1.1.3 Maksud dan Tujuan

#### 1.1.3.1 Maksud

Maksud dari perancangan pabrik ini adalah untuk memenuhi kebutuhan Formalin di Indonesia dan dunia, karena produk ini banyak digunakan sebagai bahan baku maupun bahan *intermediate* pada pabrik kimia, maka dalam perancangan pabrik ini akan dirancang pabrik kimia yang memproduksi formalin dari *methanol* dan oksigen.

#### 1.1.3.2 Tujuan

Secara umum, tujuan prarancangan pabrik pembuatan *Formaldehyde* ini adalah proses penerapan pendisiplinan ilmu Teknik Kimia yang khususnya di bidang proses perancangan, proses, serta proses operasi Teknik Kimia sehingga dapat memberikan gambaran kelayakan Prarancangan Pabrik Pembuatan *Formaldehyde*. Secara khusus, tujuan Prarancangan Pabrik Pembuatan Formalin ini adalah untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri akan formalin sehingga dapat mengurangi ketergantungan impor Indonesia.



#### 1.1.4 Analisa Pasar

*Formaldehyde* masih sedikit diproduksi di Indonesia. Ada beberapa pabrik yang memproduksi di Indonesia yaitu PT. Arjuna Utama Kimia dengan jumlah kapasitas 218.500 ton/tahun, PT. Pamolite Adhesive Industri dengan jumlah kapasitas 41.000 ton/tahun, PT. Gelora Citra Kimia Abadi dengan kapasitas 84.000 ton/tahun, PT. Duta Pertiwi Nusantara TBK dengan kapasitas 51.500 ton/tahun dan PT. Handsome Glue Indonesia dengan kapasitas 60.000 ton/tahun. Meski permintaan dalam negeri tidak terlalu besar, hingga saat ini Indonesia masih mengimpor dari Jepang untuk memenuhi kebutuhannya. Di sisi lain, permintaan global akan formalin berkembang sangat pesat.

Pemasaran produk dapat dilakukan melalui jalur darat maupun laut. Formalin yang dihasilkan dapat dipasarkan untuk industri perekat produk pelapis kayu dan produk kosmetika berlokasi di Bontang, Kalimantan Timur. Selain itu, kedekatan lokasi pabrik dengan pelabuhan laut Bontang akan memudahkan pemasaran produk baik di dalam maupun di luar negeri.

#### 1.1.5 Ketersediaan Bahan Baku

Proses pembuatan formalin memerlukan bahan baku utama, yaitu air dan methanol. Selain itu dalam perancangan pabrik pembuatan Formalin ini juga menggunakan *Oxide Catalyst* untuk masing-masing reaktor dengan bentuk padatan sebagai katalisnya.

Metanol didapatkan dari PT. Kaltim Methanol Industri. kapasitas produksi disesuaikan dengan jumlah kapasitas methanol yang tersedia di dalam negeri. Berikut data produsen yang memproduksi formaldehida di Indonesia:

**Tabel 1.1. Pabrik Formaldehida yang beroperasi di Indonesia**

Nama Perusahaan	Kapasitas (Ton/tahun)
PT. Arjuna Utama Kimia	218.500
PT. Pamolite Adhesive Industri	41.000
PT. Gelora Citra Kimia Abadi	84.000
PT. Duta Pertiwi Nusantara TBK	51.500
PT. Handsome Glue Indonesia	60.000
Total	455.000

(sumber: <http://www.kemendag.go.id>)

**Tabel 1.2 Produsen Methanol di Indonesia**

Nama Perusahaan	Kapasitas (Ton/tahun)
PT. Kaltim Methanol Industri	660.000
Total	660.000

(sumber: <http://www.kemendag.go.id>)

#### 1.1.6 Kebutuhan Produk

Produsen yang memproduksi formaldehid di Indonesia sampai saat ini hanya dua perusahaan yaitu Arjuna Utama Kimia yang memproduksi 218.500 ton/tahun dengan persentase penjualan *methanol* 90% untuk konsumsi dalam negeri dan 10% untuk diekspor ke Asia.

Produsen yang memproduksi *methanol* di Indonesia sampai saat ini hanya ada satu perusahaan yaitu PT. Kaltim Methanol Industri yang memproduksi 660.000 ton/tahun dengan persentase penjualan *methanol* 90% untuk konsumsi dalam negeri dan 10% untuk diekspor ke Asia. Jumlah ini belum dapat memenuhi semua kebutuhan formaldehid yang ada di Indonesia sehingga kebutuhan formaldehid dipenuhi dengan cara mengimpor dari beberapa perusahaan luar negeri.

### 1.1.7 Penentuan Kapasitas Produksi

Dalam proses untuk menentukan jumlah kapasitas prarancangan pabrik *formaldehida* ini, maka perlu adanya pertimbangan beberapa hal diantaranya yaitu jumlah konsumsi dan produksi serta jumlah impor dan ekspor produk *formaldehida* di Indonesia. Kebutuhan *formaldehida* dari tahun ke tahun selalu mengalami peningkatan dengan seiring berkembangnya dunia industri.

Kebutuhan formalin di Indonesia dapat dilihat dari jumlah impor yang cenderung naik. Berdasarkan data yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik, proyeksi kecenderungan naiknya kebutuhan asam akrilat dapat dilihat dari tabel berikut (BPS, 2018-2021).

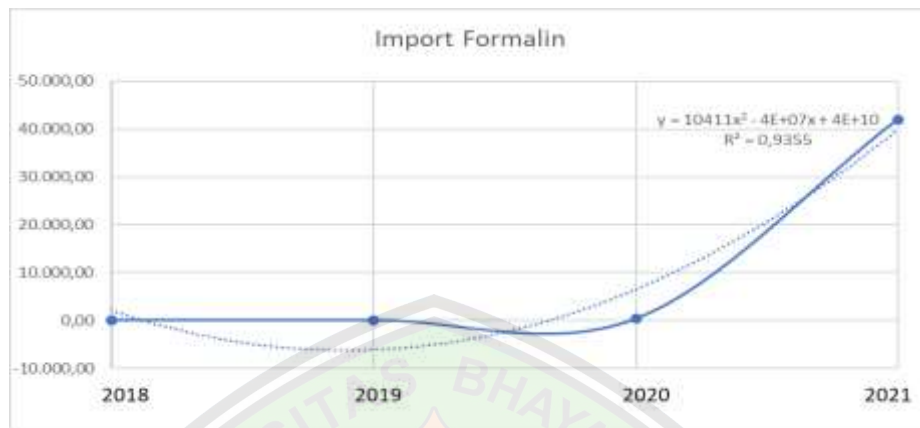
**Tabel 1.3. Data Impor, Ekspor Formaldehida di Indonesia**

X	TAHUN	JUMLAH (TON) Y	
		IMPOR	EKSPOR
1	2018	40,20	38.872,07
2	2019	63,00	227.160,31
3	2020	325,00	156.230,37
4	2021	41.990,00	312.018,94
	Rata-Rata	42.418,20	734.281,69

(Sumber: BPS)



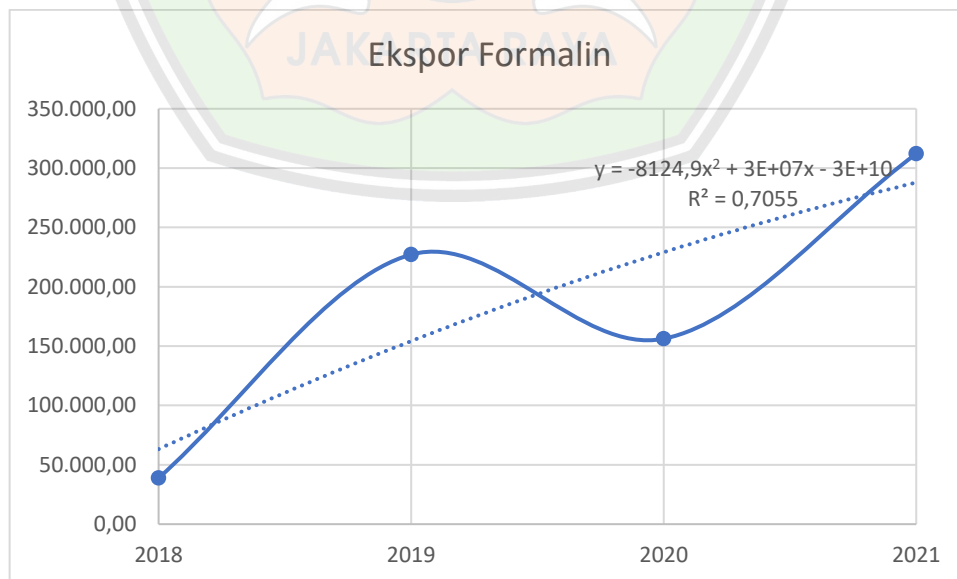
Berdasarkan data yang diperoleh dari tabel diatas maka dapat kita buat grafik untuk memperoleh regresi linear, maupun polynomial.



Gambar 1.1. Grafik Impor Formalin

Perkiraan untuk jumlah Impor pada tahun 2027 dapat dihitung menggunakan Regeresi Linier yang telah diperoleh, yaitu:

$$\begin{aligned}
 y &= 10411x^2 - 4E+07x + 4E+10 \\
 &= 10411 (2027)^2 - 4X10^7 (2027) + 4X10^{10} \\
 &= 1.695.977.619 \text{ Ton/tahun (m1)}
 \end{aligned}$$



Gambar 1.2. Grafik Ekspor Formalin

Perkiraan jumlah Ekspor pada tahun 2027 dapat dihitung menggunakan Regresi Linier yang telah diperoleh, yaitu:

$$\begin{aligned}
 y &= -8124,9x^2 + 3E+07 x - 3E+10 \\
 &= -8124,9 (2027)^2 + 3 \times 10^7 (2027) - 7 \times 10^{10} \\
 &= 57.426.987.747,9 \text{ Ton/tahun} \quad (\text{m4})
 \end{aligned}$$

**Tabel 1.4. Produksi Formalin di Indonesia**

Nama Perusahaan	Kapasitas (Ton/tahun)
PT. Arjuna Utama Kimia	218.500
PT. Pamolite Adhesive Industri	41.000
PT. Gelora Citra Kimia Abadi	84.000
PT. Duta Pertiwi Nusantara TBK	51.500
PT. Handsome Glue Indonesia	60.000
<b>Total</b>	<b>455.000</b>

(sumber: <http://www.kemendag.go.id>)

**Tabel 1.5. Konsumsi Formalin di Indonesia**

Tahun	Persentase	Jumlah (Ton)
Rumah Sakit	35%	8000
Industri Mebel	45%	14000
Kosmetika	13%	3500
Industri Makanan	7%	1200
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>26700</b>

(Sumber: Kemenperin, 2021)



Untuk mengetahui jumlah kapasitas produksi pabrik Formalin dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$m1 + m2 + m3 = m4 + m5$$

Keterangan:

m1 = Nilai impor tahun pabrik didirikan 2027

m2 = Produksi pabrik didalam negeri

m3 = Kapasitas pabrik yang akan didirikan

m4 = Nilai ekspor tahun pabrik didirikan 2027

m5 = Nilai konsumsi dalam negeri tahun pabrik didirikan

(Kusnarjo, 2010)

Sehingga peluang kapasitas produksi pada tahun 2027 adalah,

$$m1 + m2 + m3 = m4 + m5$$

$$m3 = (m4 + m5) - (m1 + m2)$$

$$m3 = (57\,426\,987\,747,9 + 26\,700) - (1\,695\,977\,619 + 455\,000)$$

$$m3 = (57\,427\,014\,447,9) - (1\,696\,432\,619)$$

$$m3 = 55\,731,9 \text{ Ton/tahun}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, kapasitas produksi formalin ditentukan sebesar 60.000 ton/tahun (92,88% dari target untuk kebutuhan dalam negeri dan 7,12% untuk kebutuhan luar negeri) dengan berbagai pertimbangan antara lain:

1. Mempertimbangkan ketersediaan alat
2. Mempertimbangkan ketersediaan bahan baku

### 1.1.8 Pemilihan Lokasi Pabrik

Secara geografis lokasi pabrik sangat menentukan kemajuan dan keberlangsungan industri saat ini dan di masa yang akan datang karena mempengaruhi faktor produksi dan distribusi pabrik yang akan dibangun. Pemilihan lokasi pabrik harus didasarkan pada perhitungan biaya produksi dan distribusi yang minimal serta aspek sosiologis dan budaya masyarakat sekitar pabrik.

Adapun faktor-faktor yang harus dipertimbangkan:

a. Penyediaan bahan baku

Bahan baku merupakan salah satu kebutuhan utama bagi kelangsungan suatu pabrik untuk beroperasi sehingga ketersediaannya harus benar-benar diperhatikan. Bahan baku utama pembuatan formalin adalah *methanol* yang diperoleh dari PT. Kaltim Methanol Industri di Bontang.

b. Lokasi pasar (*market location*)

Pemasaran produk formalin yang akan didirikan ditujukan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri dan untuk ekspor. Formalin yang dihasilkan dapat dipasarkan untuk industri-industri kosmetika, pelapis kayu yang ada di Jawa tengah terutama di daerah Jepara.

c. Alat angkutan (*transportation*)

Alat transportasi untuk keperluan dalam proses pengangkutan bahan baku dan pemasaran produk dapat ditempuh melalui jalur darat maupun laut. Pelabuhan dapat dijadikan sebagai tempat proses berlabuh untuk kapal yang mengangkut bahan baku maupun produk. Serta tersedianya sarana baik darat maupun laut maka diharapkan kelancaran kegiatan proses produksi.

d. Keadaan Iklim

Dalam menentukan kawasan industri mengacu pada masalah pertanian, yaitu tidak rawan tanah longsor, gempa bumi atau banjir. Pemilihan lokasi pabrik di Kawasan Industri Bontang sangat tepat karena kondisi iklim Bontang seperti iklim Indonesia pada umumnya.

e. Tenaga Kerja

Tenaga kerja di Indonesia cukup banyak, sehingga tidak sulit mencari tawaran pekerjaan. Pekerja dengan pendidikan menengah atau profesional dapat direkrut dari sekitar pabrik, sedangkan pekerja terampil dapat direkrut dari daerah lain atau luar kota.

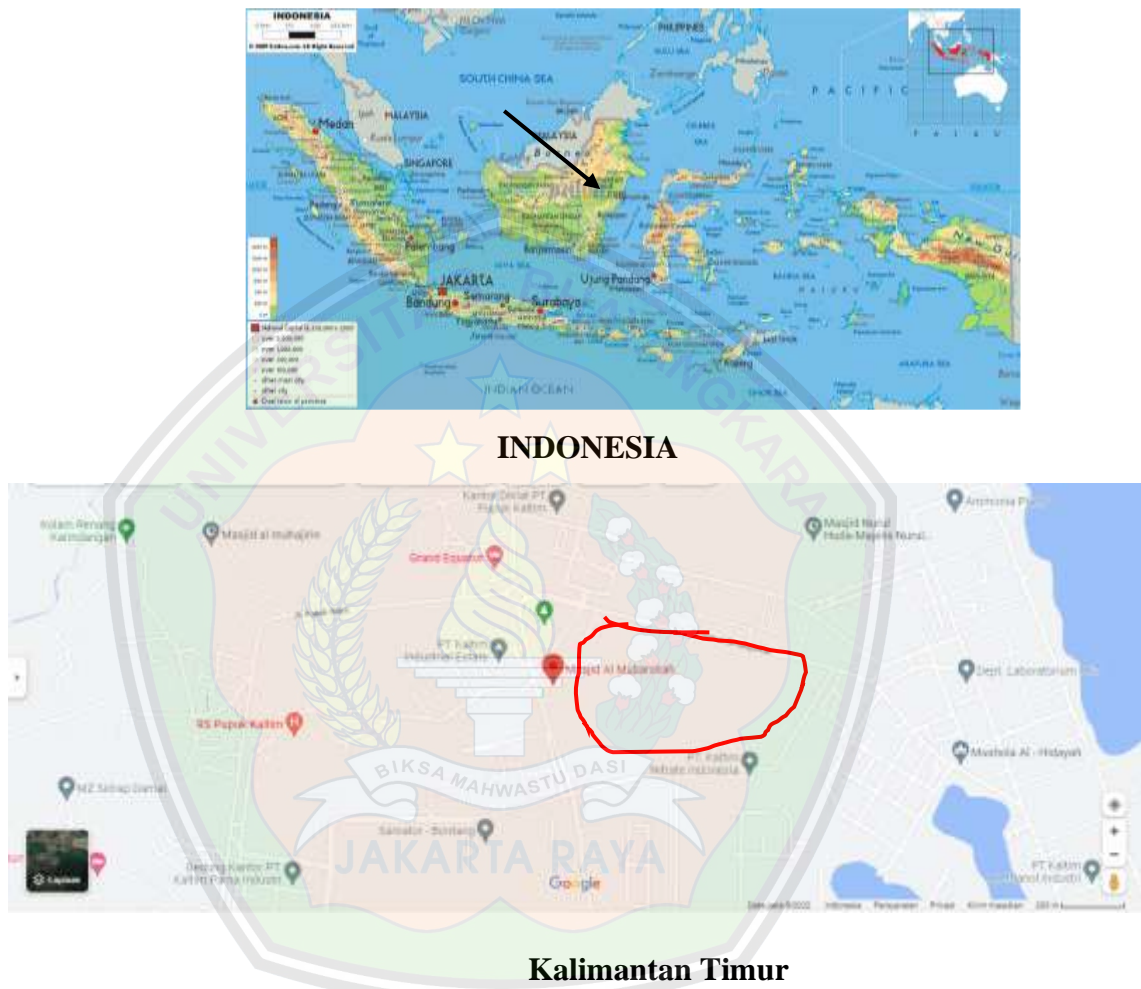
f. Sosial Masyarakat

Sikap masyarakat diperkirakan akan mendukung pendirian pabrik pembuatan Formalin karena akan menjamin tersedianya lapangan kerja bagi mereka. Selain itu, pendirian pabrik ini diperkirakan tidak akan mengganggu keselamatan dan keamanan masyarakat di sekitarnya.

g. Utilitas

Utilitas yang dibutuhkan adalah keperluan tenaga listrik, air dan bahan bakar. Kebutuhan tenaga listrik didapat dari PLN setempat dan dari generator pembangkit yang dibangun sendiri. Kebutuhan air dapat diambil dari Sungai Cimanuk baru, sedangkan kebutuhan bahan bakar dapat diperoleh dari Pertamina dan distributornya sebagai pemasok bahan bakar solar.

Berdasarkan pertimbangan dan faktor-faktor di atas, maka ditentukan rencana pendirian pabrik formalin ini berlokasi di Bontang Kalimantan Timur. Alasan pemilihan lokasi ini adalah karena pabrik dekat dengan bahan baku *methanol* dari PT. Kaltim Methanol Industri di Bontang, dan masih sedikit pabrik kimia sehingga mengurangi pesaing.



**Gambar 1.3 Lokasi Pendirian Pabrik**

## 1.2 Tinjauan Pustaka

### 1.2.1 Macam-Macam Proses Pembuatan Formaldehid

Formaldehid dengan rumus kimia HCHO kali pertama disintesis pada tahun 1859 ketika Betrelov menghidrolisis metilen asetat dan mencatat adanya bau khas dari larutan yang dihasilkan. Tahun 1867 Hofman mengidentifikasi formaldehid yang dia peroleh dengan melewati uap metanol dan udara di atas spiral platinum yang dipanaskan. Metode ini masih merupakan dasar cara pembuatan formaldehid meskipun dengan katalis lain (Ullman's, 1988). Pemilihan suatu proses didasarkan pada proses yang memberikan keuntungan yang lebih besar dipandang dari segi teknik maupun ekonomis. Untuk menentukan pemilihan proses yang tepat diperlukan beberapa macam proses pembuatan formaldehid. Proses yang banyak digunakan dalam pembuatan formaldehid secara komersial sebagai berikut :

#### 1.2.1.1 Proses Dengan Katalis Perak (*Silver Catalyst Processes*)

Proses pembuatan formaldehid dari metanol dengan menggunakan katalis perak biasanya dilakukan pada tekanan atmosferis dan suhu 600-720°C. Suhu reaksi tergantung pada *excess* metanol dalam campuran metanol-udara. Komposisi campuran harus diluar batas yang dapat menyebabkan terjadinya ledakan.

Reaksi utama yang terjadi selama proses :



Produk samping yang juga terbentuk yaitu :



Produk samping lain yang penting adalah metil formiat, metana dan asam formiat. Reaksi dehidrogenasi endotermis (1) sangat tergantung suhu,



konversi mulai naik dari 50% pada suhu 400°C, lalu menjadi 90% pada suhu 500°C dan terakhir ketika menjadi 99% pada suhu 700°C (Ullman's, 1988).

Unit proses yang digunakan adalah evaporator, reaktor dan menara absorber. Umpan metanol-air, udara segar dan *off* gas hasil atas kolom absorpsi masuk secara terpisah ke evaporator untuk diuapkan, selanjutnya dilewatkan *bed* tebal 25-30 mm berisi kristal perak dimana terjadi reaksi oksidasi metanol menjadi formaldehid. Kemudian dialirkan ke kolom absorpsi 4 *stage* untuk menyerap formaldehid dengan menggunakan pelarut air. Produk akhir mengandung (40-55%) berat formaldehid, 1,3% berat metanol dan 0,01% berat asam formiat. *Yield* proses 89,5-90,5% mol (Ullman's, 1988).

#### 1.2.1.2 Proses Formox (*Formox Process*) atau Proses Katalis *Oxide*

Dalam proses formox, oksida logam yaitu *iron*, *molybdenum* atau *vanadium oxide* digunakan sebagai katalis. Proses oksidasi terjadi dengan menggunakan udara berlebih pada suhu 250-400°C. Konversi *methanol* mencapai 98-99%. Biasanya campuran oksida mempunyai rasio atom Mo:Fe = 1,5-2 dan V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CuO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CoO, dan P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> juga ada tetapi dalam jumlah yang sedikit. Proses formox digambarkan sebagai reaksi oksidasi 2 langkah dalam wujud gas dengan melibatkan katalis oksidasi (KoX) dan reduksi (Kre), sebagai berikut :



Pada suhu 270 - 400°C konversi pada tekanan atmosferis hampir sempurna, tetapi pada suhu > 400°C terjadi reaksi samping sebagai berikut :





Umpan metanol dimasukkan ke evaporator berpemanas *steam* bersama dengan campuran udara dan *off gas recycle* dari kolom absorpsi setelah dipanaskan terlebih dahulu. Selanjutnya dilewatkan pipa-pipa berisi katalis dalam *Heat-Exchanging Reactor*. Proses oksidasi menggunakan udara berlebih dan temperatur dijaga sekitar 340°C dengan menggunakan minyak bertitik didih tinggi yang disirkulasikan di lur pipa untuk menyerap panas yang ditimbulkan seama reaksi. Umpan *methanol* udara adalah campuran yang mudah terbakar, tetapi kandungan oksigen dapat dikurangi sampai sekitar 10% > mol dengan cara mengganti udara dengan gas buang dari menara absorpsi. Setelah meninggalkan reaktor, gas-gas didinginkan sampai 110°C dan selanjutnya diumpankan ke bagian bawah kolom absorpsi untuk menyerap formaldehid dengan menggunakan pelarut air. Hasil akhir mengandung formaldehid sampai 37% berat dan (0,5-1,5%) berat metanol. Konversi metanol sekitar 95-99%, mol, dan yield pabrik overall 88-91% mol (Ullman's, 1988).

#### 1.2.1.3 Proses Campuran

Proses ini hampir sama dengan proses BASF, tetapi konversi metanol tidak sempurna, konversi disempurnakan dengan mendistilasi produk dan ***merecycle methanol*** yang tak bereaksi. Reaksi terjadi pada suhu 600-650°C, konversi metanol awal 77-87%. (Ullman's, 1988). Umpan metanol murni dan udara dimasukkan ke evaporator selanjutnya diumpankan ke reaktor setelah dicampur dengan steam. Reaktor berupa bed tipis berisi katalis kristal perak. Konversi reaksi tidak sempurna dan terjadi pada suhu 590-650°C, sehingga untuk menyempurnakan konversi dilakukan distilasi dalam Menara Distilasi. (MD) setelah melewati kolom absorpsi. Metanol *direcover* pada bagian atas MD dan *direcycle* ke bagian bawah evaporator. Produk akhir mengandung formaldehid sampai 55% berat, dan *methanol* kurang dari 1% berat. *Yield* proses 91-92% mol. (Ullman's, 1988). Proses ini juga menggunakan beberapa alat dan temperatur yang cukup tinggi.

**Tabel 1.6 Parameter Pemilihan Proses**

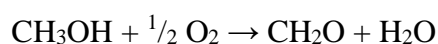
<b>Parameter</b>	<b>Proses Silver Katalis</b>	<b>Proses Oxide</b>	<b>Proses Campuran</b>
Bahan Baku	<i>Methanol</i>	<i>Methanol</i>	<i>Methanol</i>
	Udara	Udrara	Udara
	Air	Air	Anion & Kation
	<i>Anion Exchange</i>	-	Air
Kondisi Operasi:	P: 1 atm	P: 1 atm	P: 1 atm
	T: 600-700°C	T :300-400°C	T: 200-700°C
Konversi	85-95%	97-99%	90%
Katalis	<i>Silver Catalyst</i>	<i>Iron molybdenum</i>	<i>Silver catalyst dan Iron molybdenum</i>
Jenis Reaktor	RATB	<i>Fixed Bed</i>	RATB & <i>Fix Bed</i>
Fase Dalam Reaktor	Cair	Gas	Cair & Gas

### 1.2.2 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan secara termodinamika digunakan untuk mengetahui sifat reaksi tersebut, membutuhkan panas (endotermis) atau melepaskan panas (eksotermis), sedangkan untuk menentukan apakah reaksi bolak-balik atau searah yaitu dengan menentukan harga K, jika harga K lebih besar daripada 1 (satu) maka reaksi akan berjalan ke arah kanan (searah), dan jika harga K lebih kecil daripada 1 (satu) maka reaksi akan berjalan ke arah kanan dan kiri (bolak-balik).

Reaksi yang terjadi pada reaktor:

Reaksi Utama:



**Tabel 1.7 Harga  $\Delta H^\circ_f$  dan  $\Delta G^\circ_f$  masing-masing Komponen**

Komponen	Harga $\Delta H^\circ_f$ (kJ/mol)	Harga $\Delta G^\circ_f$ (kJ/mol)
Formalin (CH <sub>2</sub> O)	-115,9	-109,91
Oksigen (O <sub>2</sub> )	0	0
Air (H <sub>2</sub> O)	-241,8	-228,6
Methanol (CH <sub>4</sub> O)	-201,17	-162,51
Karbon Monoksida (CO)	138,41	137,28

(Yaws, C.L, 1999)

a. Reaksi :

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{reaksi}} &= \Delta H^\circ_f \text{ produk} - \Delta H^\circ_f \text{ reaktan} \\
 &= (\Delta H^\circ_f + \Delta H^\circ_f) - (\Delta H^\circ_f + \Delta H^\circ_f) \\
 &= (\Delta H^\circ_f \text{ CH}_2\text{O} + \Delta H^\circ_f \text{ H}_2\text{O}) - (\Delta H^\circ_f \text{ CH}_3\text{OH} + \Delta H^\circ_f \text{ O}_2) \\
 &= (-115,9 + (-241,8)) - (-201,17 + 0) \\
 &= -156,53 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Hasil  $\Delta H_{R298}$  bernilai -156,53 kJ/mol, maka reaksi pembentukan Formaldehid bersifat eksotermis atau menghasilkan panas selama reaksi berlangsung.

Dengan meninjau energi bebas Gibbs ( $\Delta G$ )

$$-\Delta G^\circ = RT \ln K$$

(Perry, 2008)

Dimana:

$\Delta G^\circ$  = Energi bebas Gibbs standar, (kJ/mol)

R = Konstanta tetapan Gas Ideal (0,008314kJ/mol. K)

T = Suhu (K)

K = Konstanta keseimbangan

**Reaksi:**

$$\begin{aligned}\Delta G^\circ_{298\text{ K}} &= \Delta G^\circ_f \text{ produk} - \Delta G^\circ_f \text{ reaktan} \\ &= (\Delta G^\circ_f + \Delta G^\circ_f) - (\Delta G^\circ_f + \Delta G^\circ_f) \\ &= (\Delta G^\circ_f \text{ CH}_2\text{O} + \Delta G^\circ_f \text{ H}_2\text{O}) - (\Delta G^\circ_f \text{ CH}_3\text{OH} + \Delta G^\circ_f \text{ O}_2) \\ &= (-109,9 + (-228,6)) - (-162,51 + 0) \\ &= -175,99 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Sedangkan untuk nilai  $\Delta S$  didapatkan dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta G &= \Delta H - T\Delta S \\ -175,99 &= -156,33 - (573-298) \Delta S \\ -175,99 &= -156,33 - (275) \Delta S \\ -175,99 + 156,33 &= -275 \Delta S \\ \Delta S &= 0,07\end{aligned}$$

Karena nilai  $\Delta G^\circ(298\text{ K}) = -175,99 \text{ kJ/mol}$ , maka reaksi bersifat spontan

$$-\Delta G^\circ = RT \ln K$$

$$\begin{aligned}K^{298} &= \exp\left(-\frac{\Delta G^\circ_{298}}{RT}\right) \\ &= \left(-\frac{-175,99 \text{ J/mol}}{\frac{8,314 \text{ J}}{\text{mol}} \cdot \text{K} \cdot 298 \text{ K}}\right)\end{aligned}$$

$$K_p = 7,06887 \times 10^{30}$$

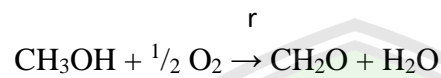
Dari perhitungan diatas harga  $K_p$  besar, maka diasumsikan bahwa reaksi berjalan searah atau bersifat *irreversible*.

### 1.2.3 Tinjauan Kinetika

Reaksi oksidasi metanol menjadi formalin merupakan reaksi eksotermis sehingga selama reaksi berlangsung akan terjadi pelepasan panas dan ini akan mempengaruhi kecepatan reaksi. Adapun persamaan reaksi pada reaksi pembentukan formalin dari metanol dan udara adalah sebagai berikut:

Reaksi utama:

Reaksi oksidasi metanol oleh oksigen menghasilkan formaldehid.



$$r = k_{\text{CH}_2\text{O}} \left( \frac{k_{\text{CH}_3\text{OH}P_{\text{g,CH}_3\text{OH}}}}{k_{\text{CH}_3\text{OH}P_{\text{g,CH}_3\text{OH}}} + k_{\text{H}_2\text{O}P_{\text{g,H}_2\text{O}}}} \right) \left( \frac{k_{\text{O}_2} P_{\text{O}_2}^{1/2}}{1 + k_{\text{O}_2} P_{\text{O}_2}^{1/2}} \right)$$

Dimana:

$$k_{\text{CH}_3\text{OH}} = 2,6 \times 10^{-4} \exp\left(\frac{6829,06475}{573}\right), \text{ atm}^{-1}$$

$$k_{\text{O}_2} = 1,423 \times 10^{-5} \exp\left(\frac{7254,8289}{573}\right), \text{ atm}^{-0,5}$$

$$k_{\text{H}_2\text{O}} = 5,5 \times 10^{-7} \exp\left(\frac{10397,5457}{573}\right), \text{ atm}^{-1}$$

$$k_{\text{CH}_2\text{O}} = 1,5 \times 10^7 \exp\left(\frac{-10343,4232}{573}\right), \text{ mol. kg}^{-1} \cdot \text{ atm}^{-1} \cdot \text{ s}^{-1}$$

(subekti, 1995)

**Tabel 1.8 Stokiometri mol pada reaktor**

Komponen	Mula-mula	Reaksi	Akhir
A	$N_{A0}$	$- N_{A0}X_A$	$N_A = N_{A0} (1 - X_A)$
B	$N_{B0}$	$- N_{A0}X_A$	$N_B = N_{B0} - N_{A0}X_A$
C	-	$N_{A0}X_A$	$N_C = N_{A0} - X_A$
D	-	$N_{A0}X_A$	$N_D = N_{A0} - X_A$

Kinetika reaksi oksidasi *Formaldehyde* merupakan reaksi orde 1 (Sumber: Union Carbide Corporation, 2022).

Laju reaksi bersifat *irreversible*

Orde 1

$$-r_A = kC_A$$

Persamaan Reaksi berorde 1

$$-r_A = \frac{-dC_A}{dt} = kC_A$$

$$\frac{-dC_A}{C_A} = kdt$$

di integralkan menjadi

$$\ln C_{A0} - \ln C_A = kt$$

$$k = (\ln C_{A0} - \ln C_A)/t$$

$$k = \frac{(\ln(0,00013 \text{ mol/s}) - (\ln(0,00013 \text{ mol/s} (1-0,98)))}{13,928 \text{ s}}$$

$$k = 0,280 \text{ s}^{-1}$$

$$-r_A = kC_A$$

$$\begin{aligned} -r_A &= 0,280 C_A \\ &= 0,280 \text{ s}^{-1} \times 0,00013 \text{ mol/L} \\ &= 3,64 \times 10^{-5} \text{ mol/L.s} \\ &= 3,64 \times 10^{-5} \text{ M/s} \end{aligned}$$