

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan Negara yang berkembang di segala aspek bidang, salah satunya di bidang industri. Pada era globalisasi saat ini, bidang industri menjadi jalur alternatif yang turut serta dalam pertumbuhan ekonomi. Salah satunya adalah industri bahan-bahan kimia, yang diharapkan dapat memberikan kontribusi besar bagi pertumbuhan ekonomi Indonesia. Karena pada umumnya kebutuhan bahan kimia akan mengalami pertumbuhan seiring dengan kebutuhan manusia.

Salah satu industri kimia yang penting keberadaannya adalah industri *formaldehde*. *Formaldehde* (juga disebut metanal, atau formalin) merupakan gugus aldehida yang paling sederhana dengan rumus kimia CH_2O yang banyak digunakan sebagai bahan *intermediate* pembuatan pupuk urea *formaldehde*, desinfektan, industri *furniture*, serta industri kimia lainnya.

Formaldehde sebagai bahan *intermediate* dapat menjadi indikator berkembang pesatnya industri di suatu Negara, di Indonesia sendiri kebutuhan *formaldehde* menurun karena industri di Indonesia mulai melemah sejak tahun 2014. Tidak seperti di Negara Germany, Myanmar dan Australia yang masih membutuhkan *formaldehde* cukup tinggi, pada 5 tahun terakhir Germany mengimpor *formaldehde* sebanyak 877.009,1 ton, Myanmar sebanyak 37.242,775 ton dan Australia sebanyak 4.767,135 ton.

Untuk memicu perkembangan industri *formaldehyde* di Indonesia serta memenuhi kebutuhan Negara lain kami sebagai anak bangsa mencetuskan kembali produksi *formaldehyde*.

1.2 Maksud dan Tujuan

1.2.1 Maksud

Maksud dari perancangan pabrik ini adalah untuk memenuhi kebutuhan *formaldehyde* 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 *formaldehyde* dari Metanol dan Udara.

1.2.2 Tujuan

Tujuan dari prarancangan pabrik *formaldehyde* ini adalah :

1. Untuk meningkatkan jumlah produksi *formaldehyde* yang ada di dalam negeri.
2. Untuk memenuhi kebutuhan industri yang menggunakan *formaldehyde* sebagai bahan baku.
3. Meningkatkan jumlah ekspor *formaldehyde*.
4. Menerapkan disiplin ilmu teknik kimia dalam sebuah prarancangan pabrik kimia.

1.3 Analisa Pasar

1.3.1 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan untuk memproduksi *formaldehyde* adalah metanol dan udara. Metanol yang digunakan sebagai bahan baku akan disuplai oleh PT. Kaltim Methanol Indonesia dengan kapasitas 500.000 ton/tahun (www.kemenperin.go.id), sedangkan untuk kebutuhan Oksigen akan diambil dari udara sekitar.

1.3.2 Kebutuhan Produk

Permintaan *formaldehyde* dapat digunakan sebagai tolak ukur berkembangnya industri pupuk, desinfektan, *furniture* dan lain-lain baik di dalam maupun luar negeri. Kebutuhan *formaldehyde* di Indonesia, sebagian besar sudah mengandalkan produksi lokal, akan tetapi permintaan akan *formaldehyde* di negara lain seperti Australia, Myanmar, German, Italy dan Filipina cukup tinggi selama 5 tahun terakhir.

Berikut merupakan data perkembangan *formaldehyde* di Negara lain ditunjukkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 1-1kebutuhan formaldehyde di Negara lain

Negara	Kebutuhan (Ton/Tahun)
Australia	4.767,135
Myanmar	37.242,78
German	877.009,1
Italy	33.358,03
Filipina	19.826,15

(Sumber : *United Nation* data, 2019)

1.4 Penentuan Kapasitas Produksi

1.4.1 Crystal Ball Montecarlo

Crystal Ball adalah program untuk simulasi data yang menyediakan dua pilihan metoda sampling yaitu Monte Carlo dan Latin Hypercube. Seperti halnya *user friendly* program pada umumnya, *Crystal Ball* pada dasarnya mudah dioperasikan dan dipahami karena menyertai fasilitas *help* pada setiap operasi atau menu. Dengan demikian, pengguna bisa melakukan *learning by doing* dengan mengandalkan fasilitas *online tutorial* dan *help*. Namun demikian, karena program ini adalah program simulasi maka dibutuhkan pemahaman dasar mengenai statistika dan metode-metode yang berkaitan dengan topik utama atau pendukung-pendukungnya. *Central Limit Theorem* sebagai misal adalah dasar yang harus dipahami lebih dahulu. Kemudian, beberapa pilihan tes yang digunakan oleh *Crystal Ball* seperti *Kologorov-Smirnov*, *Anderson-Darling*, dan *Chi Square* juga perlu diketahui juga berbagai karakteristik distribusi yang menjadi *knowledge base* program ini hendak diketahui agar memudahkan untuk beradaptasi pada saat penggunaan atau membaca hasil analisis.

Pemahaman awal mengenai *Crystal Ball* diawali dengan pemahaman terhadap tiga macam karakteristik sel, yaitu:

1. *Assumption cells* atau sel-sel asumsi.
2. *Decision cells* atau sel-sel keputusan.
3. *Forecast cells* atau sel-sel peramalan

Assumption cells berisi nilai yang kita tidak yakin atau variabel yang

kita tidak tahu pasti di dalam masalah yang sedang akan diselesaikan. Sel ini harus berupa nilai numerik dan bukan formula atau teks dan didefinisikan sebagai sebuah distribusi probabilitas.

Decision cells berisi nilai numerik atau angka dan bukan formula atau teks serta menjelaskan variabel yang memiliki interval nilai tertentu di mana dapat mengontrolnya untuk memperoleh putusan optimal.

Forecast cell adalah output analisis yang berdasar simulasi kepada asumsi-asumsi. *Forecast cell* harus berupa formulasi yang berhubungan dengan sel sel asumsi (*Assumption cells*).

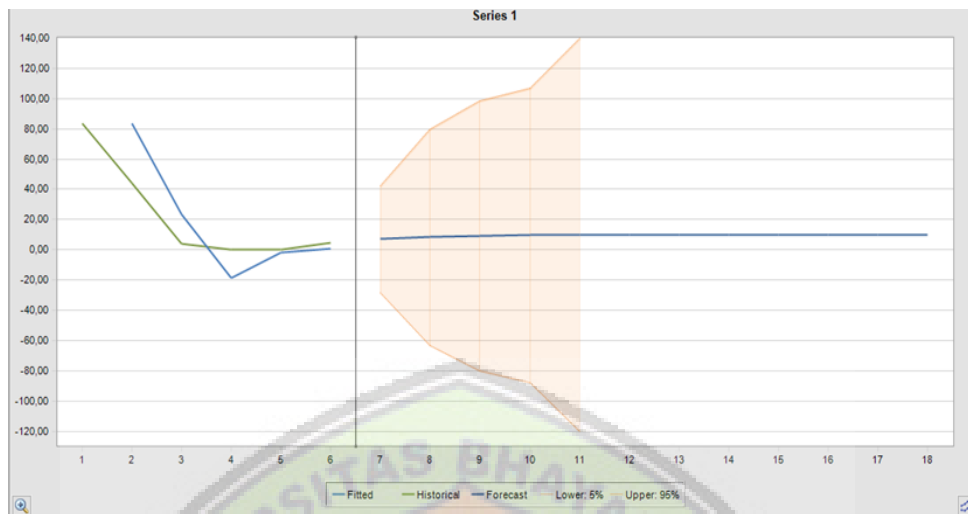
Kapasitas produksi merupakan salah satu hal yang harus diperhatikan dalam merancang suatu pabrik dimana kapasitas produksi dapat mempengaruhi perhitungan teknis maupun ekonomis.

Pabrik *Formaldehyde* direncanakan akan didirikan pada tahun 2024, dengan mempertimbangkan peluang dari kebutuhan Negara lain berdasarkan data yang tersedia pada table , maka kapasitas pabrik yang direncanakan sebagai berikut :

Tabel 1-2 Data ekspor impor formaldehyde di Indonesia

Tahun	Impor (ton/tahun)	Ekspor (ton/tahun)
2012	83,84	17,6
2013	44,485	0,01
2014	3,716	189,001
2015	0,02	55,802
2016	0,311	0,217
2017	4,748	0,056

(Sumber : UN data, 2019)



Gambar 1-1 Ekspor impor formaldehyde di Indonesia

Statistic		Historical Data	
Number of Data Values			6
Minimum			0.02
Mean			22.85
Maximum			83.84
Standard Deviation			34.38
Ljung-Box			2.72
Seasonality			Non-seasonal
Statistic		Forecast Accuracy	
RMSE			21.41
Theil's U			* 5.80
Durbin-Watson			** 0.9156
Method Parameter		Value	
Alpha			0.9990
Beta			0.9990
Phi			0.5445

Gambar 1-2 Theil's U Formaldehyde di Indonesia

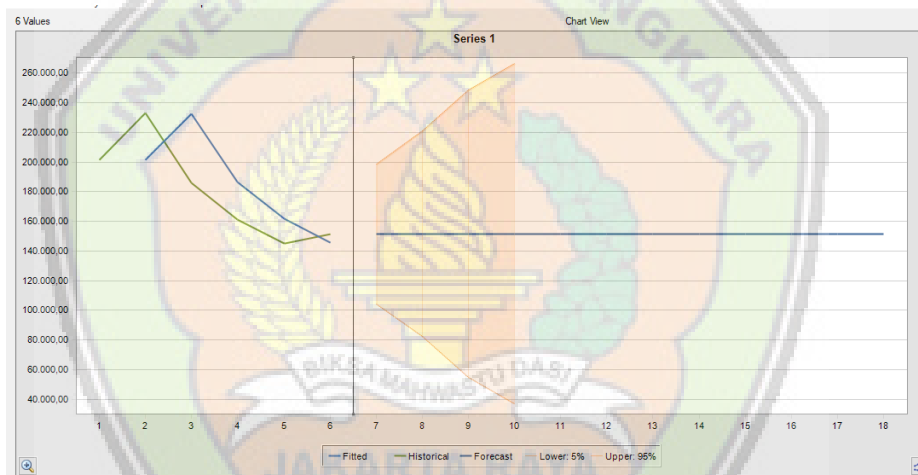
Terlihat pada Gambar 1-2 diatas kebutuhan *formaldehyde* di Inndonesia dari 5 tahun hingga 12 tahun kedepan sangatlah sedikit yaitu 83,84 ton/tahun.

Perhitungan kapasitas produksi Negara lain dengan menggunakan aplikasi *Crystal Ball Montecarlo* sebagai berikut :

Data impor Germany:

Tabel 1-3 Data impor Germany

Tahun	Impor (ton/tahun)
2012	201.515,721
2013	232.961,574
2014	185.813,204
2015	161.344,936
2016	145.294,426
2017	151.594.989



Gambar 1-3 Data impor Germany

Statistic	Historical Data
Number of Data Values	6
Minimum	145.294,43
Mean	179.754,13
Maximum	232.961,57
Standard Deviation	33.647,06
Ljung-Box	5,64
Seasonality	Non-seasonal
Statistic	Forecast Accuracy
RMSE	28.661,63
Theil's U	~ 1,00
Durbin-Watson	1,75
Method Parameter	Value
Alpha	0,9899

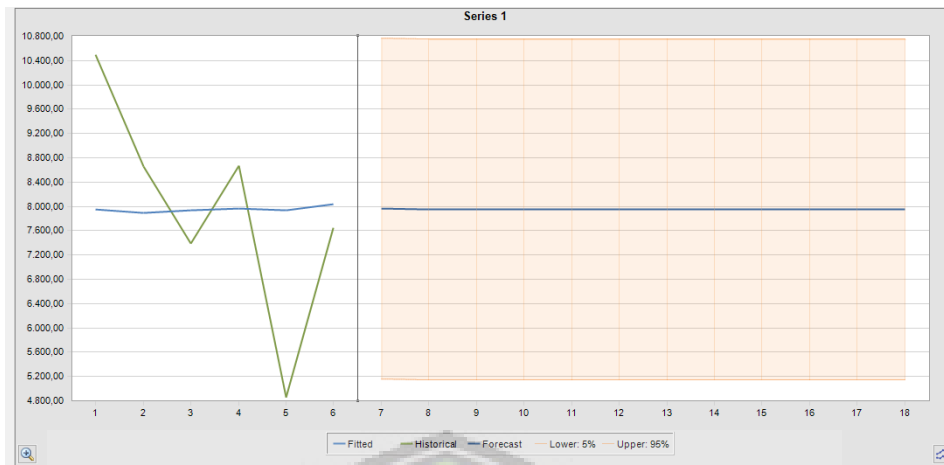
Gambar 1-4 Theil's U Formaldehyde di Germany

Terlihat pada gambar 1-4 diatas kebutuhan akan formaldehyde di Negara Germany dari tahun hingga 12 tahun kedepan cukup banyak yaitu 232.961,57 ton/tahun.

Data impor myanmar

Tabel 1-4 Data impor myanmar

Tahun	Impor (ton/tahun)
2012	10493,03
2013	8661,44
2014	7396,658
2015	8672,003
2016	4857,759
2017	7654,915



Gambar 1-5 Data impor myanmar

0 Screened Values	
Statistic	Historical Data
Number of Data Values	6
Minimum	4.857.76
Mean	7.955.97
Maximum	10.493.03
Standard Deviation	1.868.12
Ljung-Box	0.0191
Seasonality	Non-seasonal
Statistic	Forecast Accuracy
RMSE	1.704.75
Theil's U	0.4983
Durbin-Watson	1.60
Statistic	ARIMA
Transformation Lambda	1.00
BIC	15.48
AIC	15.55
AICc	16.22

Gambar 1-6 Theil's U Formaldehyde di Myanmar

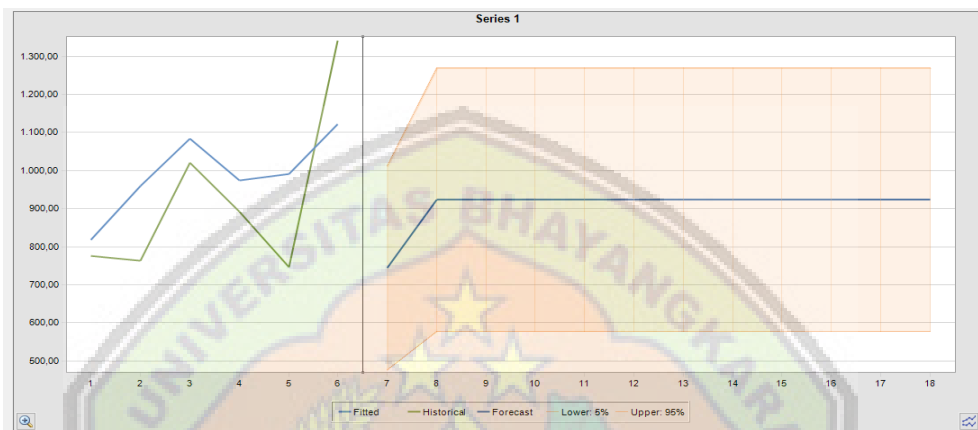
Terlihat pada Gambar 1-6 diatas kebutuhan akan formaldehyde di Negara Myanmar dari 5 tahun hingga 12 tahun kedepan cukup banyak yaitu 10.493,03 ton/tahun.

Data impor Australia

Tabel 1-5 Data impor Australia

Tahun	Impor (ton/tahun)
2012	775,511

2013	763,159
2014	1021,658
2015	892,75
2016	747,292
2017	1342,276



Gambar 1-7 Data impor Australia

Statistic		Historical Data
Number of Data Values		6
Minimum		747.29
Mean		923.77
Maximum		1.342.28
Standard Deviation		230.05
Ljung-Box		2.07
Seasonality		Non-seasonal
Statistic		Forecast Accuracy
RMSE		162.46
Theil's U		0.5479
Durbin-Watson		1.78
Statistic		ARIMA
Transformation Lambda		1.00
BIC		10.78
AIC		10.85
AICc		11.51

Gambar 1-8 Theil's U Formaldehyde di Australia

Terlihat pada Gambar 1-6 diatas kebutuhan akan formaldehyde di Negara Australia dari 5 tahun hingga 12 tahun kedepan cukup banyak yaitu 11.324,28 ton/tahun.

Berdasarkan peluang kapasitas *formaldehyde* di Indonesia dan beberapa Negara lain diatas, kapasitas produksi menjadi 1000 ton/tahun.

1.5 Pemilihan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik yang tepat sangat penting dalam perancangan suatu pabrik. Lokasi yang tepat dapat memiliki pengaruh yang besar terhadap keberhasilan pabrik tersebut baik dalam segi teknis maupun ekonomis. Oleh karena itu pabrik formaldehyde dengan kapasitas 1000 ton/tahun direncanakan akan didirikan di Kawasan Ekonomi Kaltim (KEK) Maloy Batuta Trans Kalimantan (MBTK). Adapun faktor-faktor yang mendukung untuk mempertimbangkan lokasi pabrik, antara lain (Peters & Timmerhaus, 1991, Hal 91-95) :

1. Ketersediaan Bahan Baku

Sumber bahan baku merupakan salah satu faktor terpenting yang mempengaruhi pemilihan lokasi pabrik. Sumber bahan baku yang dekat dengan lokasi pabrik dapat mengurangi biaya transportasi dan penyimpanan yang cukup besar. Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam menentukan ketersediaan bahan baku antara lain harga bahan baku yang digunakan, jarak dari sumber bahan baku, kemurnian bahan baku, dan persyaratan penyimpanan. Untuk mengurangi biaya penyediaan bahan baku dipilihlah lokasi pabrik berdekatan dengan pabrik yang memproduksi bahan baku methanol yaitu PT. Kaltim Methanol Indonesia yang berlokasi di Bontang, Kalimantan Timur. Dalam penyediaan bahan pendukung dilakukan impor *iron oxide* dan *molybdenum oxide*.

Pemilihan Kawasan Ekonomi Kaltim (KEK) Maloy Batuta Trans Kalimantan (MBTK) sebagai lokasi pabrik juga dikarenakan kawasan ini terletak pada lintasan Air Laut Kepulauan Indonesia II (ALKI II), yang merupakan lintasan laut perdagangan internasional yang menghubungkan Pulau Kalimantan dan Sulawesi, serta jalur regional trans Kalimantan dan transportasi penyebrangan ferry.

2. Transportasi

Transportasi dapat mempengaruhi kelancaran produksi suatu pabrik, karena dalam pengiriman produk maupun penyediaan bahan baku sangat bergantung pada transportasi, transportasi dalam suatu industri dapat mempermudah dan melancarkan dalam proses pengiriman. Oleh sebab itu maka pabrik *Formaldehyde* ini didirikan dengan beberapa pertimbangan antara lain Transportasi yang tersedia, dekat dengan pelabuhan, bahan baku dan pasar.

3. Pemasaran Produk

Letak kawasan yang strategis sangat memudahkan untuk komoditi ekspor maupun pengiriman ke pabrik-pabrik di Indonesia yang membutuhkan *formaldehyde*. Konsumen *formaldehyde* sebagian besar di daerah Kalimantan, sehingga dapat mengurangi biaya transportasi.

4. Tenaga Kerja

Kawasan ini merupakan salah satu kawasan yang sedang berkembang pesat, sehingga tidak ada kesulitan untuk mendapatkan tenaga kerja. Tenaga kerja ahli dan berkualitas dapat diambil dari

lulusan Universitas/Institut di seluruh Indonesia, untuk tenaga kerja non ahli (operator) dapat mengambil dari daerah sekitar.

5. Lingkungan

Lokasi pabrik dipilih pada daerah khusus untuk kawasan Industri sehingga akan memudahkan dalam perijinan pendirian pabrik.

6. Ketersediaan Lahan

Faktor ini berkaitan dengan rencana pengembangan pabrik kedepannya.



Gambar 1-9 Lokasi pabrik Formaldehyde di KEK MBTK

1.6 Tinjauan Pustaka

1.6.1 Formaldehide

Formaldehide adalah gas tidak berwarna dan berbau tajam. Gas *formaldehide* larut dalam air, alkohol dan pelarut polar lainnya. Senyawa *formaldehide* disebut juga metanal atau formalin. *Formaldehide* memiliki stabilitas termal yang baik dan reaktivitas kimia yang tinggi dibandingkan

dengan senyawa karbonil lainnya. *Formaldehyde* yang biasa di pasaran adalah 37% *formaldehyde* dalam air. Produk dari *formaldehyde* dapat digunakan secara ekstensif dalam industri mobil, konstruksi, kertas dan industri tekstil (McKetta, 1983).

Formaldehyde adalah salah satu bahan kimia industri yang paling banyak digunakan. Lebih dari 50% dari *formaldehyde* yang dihasilkan digunakan dalam pembuatan resin *urea-formaldehyde*, resin *fenol-formaldehyde*, resin asetal dan resin *melamin-formaldehyde* (Natijatul Habibah, 2017)

1.6.2 Kegunaan Formaldehyde

Kegunaan *formaldehyde* dalam industri kimia:

1. Sebagai bahan pengawet;

Umumnya *formaldehyde* digunakan untuk mengawetkan mayat dan untuk mengawetkan makanan tertentu, dengan kadar pemakaian sesuai aturan dan dibawah pengawasan (Mc.Ketta, 1997)

2. Sebagai desinfectan;

Formaldehyde banyak digunakan pabrik sebagai bahan sterilisasi alat, untuk membunuh kuman dan bakteri yang masih melekat pada alat-alat proses pabrik.

3. Sebagai bahan intermediet:

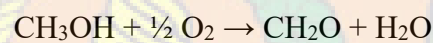
Formaldehyde digunakan sebagai bahan intermediet pada industri *urea-formaldehyde*, *melamin formaldehyde* dan *phenol formaldehyde*. Sebagai bahan pembantu pada industri tekstil, kulit, karet, dan semen.

4. Sebagai pengawet aditif dalam sabun, lotion, shampo. (Bedino, 2004)

1.6.3 Tinjauan Termodinamik

Tinjauan secara Termodinamika digunakan untuk mengetahui sifat reaksi tersebut, membutuhkan panas (*endotermis*) atau melepaskan panas (*eksotermis*), dan juga untuk mengetahui arah reaksi, apakah reaksi tersebut berjalan searah (*irreversible*) atau berbalik (*reversible*). Penentuan panas reaksi berjalan secara eksotermis/endotermis dapat dihitung dengan perhitungan panas pembentukan standar (ΔH_f°) pada $P = 1 \text{ atm}$ dan $T = 298 \text{ K}$.

Reaksi yang terjadi:



Harga ΔH_f° 298 Reaksi dan ΔG 298 Reaksi masing-masing komponen dapat dilihat pada tabel 1.6-1 berikut:

Tabel 1-6 data ΔH_f° 298 komponen

komponen	ΔH_f° 298 (kkal/gmol)
CH ₃ OH	-201,25
O ₂	0
CH ₂ O	-115,89
H ₂ O	-241,826

(Himmelblau, Appendik)

$$\Delta H_{R298} = (n. \Delta H_f^\circ \text{Produk}) - (n. \Delta H_f^\circ \text{Reaktan})$$

$$\Delta H_{R298} = (\Delta H_f^\circ \text{CH}_2\text{O} + \Delta H_f^\circ \text{H}_2\text{O}) - (\Delta H_f^\circ \text{CH}_3\text{OH} + 1/2. \Delta H_f^\circ \text{O}_2)$$

$$\Delta H_{R298} = (-115,89 + (-241,826)) - (-201,25 + \frac{1}{2} (0))$$

$$\Delta H_{R298} = (-357,716) - (-201,25)$$

$$\Delta H_{R298} = -156,466 \text{ kJ/mol}$$

Harga ΔH_{R298} bernilai negatif, maka reaksi pembentukan *formaldehyde* bersifat *eksotermis* atau menghasilkan panas selama reaksi berlangsung.

Energi Bebas Gibbs (ΔG) digunakan untuk menentukan apakah reaksi berlangsung secara Spontan, tidak spontan, atau berada dalam kesetimbangan. Jika nilai ΔG° adalah negatif maka reaksi dapat berjalan, jika bernilai positif maka reaksi tidak dapat berjalan, sedangkan jika ΔG° adalah nol maka reaksi bersifat spontan. Berikut adalah perhitungan nilai ΔG° .

Tabel 1-7 Data ΔG° komponen

Komponen	ΔH_G (kJ/mol)
CH ₃ OH	$-16,232 \times 10^{-7}$
O ₂	0,0
CH ₂ O	$-10,26 \times 10^{-7}$
H ₂ O	$-22,559 \times 10^{-7}$

(Perrys, 1997)

$$\Delta G^\circ = \Delta G^\circ \text{ Produk} - \Delta G^\circ \text{ Reaktan}$$

$$\Delta G^\circ = (\Delta G^\circ f \text{ CH}_2\text{O} + \Delta G^\circ f \text{ H}_2\text{O}) - (\Delta G^\circ f \text{ CH}_3\text{OH} + 1/2. \Delta G^\circ f \text{ O}_2)$$

$$\Delta G^\circ = (-10,26 \times 10^{-7} + (-22,559 \times 10^{-7})) - (-16,232 \times 10^{-7} + 1/2. (0))$$

$$\Delta G^\circ = (-32,819 \times 10^{-7}) - (-16,232 \times 10^{-7})$$

$$\Delta G^\circ = -16,587 \times 10^{-7} \text{ kJ/mol}$$

Perhitungan harga Konstanta Keseimbangan (K) dapat ditinjau dari rumus sebagai berikut :

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

Atau

$$K = \exp^{-\Delta G/RT}$$

Dimana :

ΔG° = Energi bebas Gibbs standar, (KJ/mol)

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

T = Temperatur, K

K = Konstanta Keseimbangan

(S. K Dogra & S. Dogra, 1990)

Dari persamaan diatas dapat dihitung konstanta kesetimbangan pada

$T_{\text{referensi}} = 298 \text{ K}$ adalah sebagai berikut.

$$K_{298} = \exp \left[-\frac{\Delta G}{RT} \right]$$

$$K_{298} = \exp \left[-\frac{-1,6587 \times 10^{-7}}{0,008314 \times 298} \right]$$

$$K_{298} = \exp[66,9486 \times 10^{-7}]$$

$$K_{298} = 181,985 \times 10^{-7}$$

Reaksi dijalankan pada temperatur 350°C, sehingga harga konstanta kesetimbangan K pada temperatur 350°C (623 K) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\frac{K_{operasi}}{K_{298}} = \exp - \frac{\Delta H^{\circ}_{298}}{R} \left[\frac{1}{T_{operasi}} - \frac{1}{T_{298}} \right]$$

$$\frac{K_{operasi}}{181,985 \times 10^{-7}} = \exp - \frac{-156,466}{0,008314} \left[\frac{1}{623} - \frac{1}{298} \right]$$

$$K_{operasi} = 0,002955 \quad K < 1$$

Dari perhitungan diatas harga $K < 1$ sehingga produk dapat kembali menjadi reaktan, diasumsikan bahwa reaksi bersifat *reversible*.

1.7 Proses pembuatan formaldehyde

Formaldehyde adalah gas tidak berwarna dengan bau yang tajam. Gas *formaldehyde* larut dalam air, alkohol dan pelarut polar lainnya. Sebagai hasil dari struktur yang unik, *formaldehyde* memiliki tingkat reaktivitas kimia yang tinggi dan stabilitas termal yang baik dibandingkan dengan senyawa karbonil lainnya. Bentuk-bentuk komersial formalin termasuk formaldehid/larutan air, polimer, dan turunannya.

1.7.1 Proses Hidrogenasi

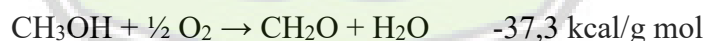
Proses hidrogenasi ini adalah proses yang dikembangkan pada awal perkembangan industri formaldehid. Proses ini merupakan oksidasi langsung berasal dari hidrocarbon yang tinggi. Bahan baku yang digunakan

adalah etilen dengan katalis asam biasanya dengan asam borat atau asam fosfat atau garamnya dari campuran tanah diatoma (*clay*).

Proses ini mempunyai kelemahan, yang merupakan alasan mengapa proses ini tidak dikembangkan lagi, yaitu dihasilkan beberapa hasil samping yang terbentuk bersama-sama formaldehid, antara lain asetaldehid, propane, dan asam-asam organik. Sehingga tentu saja diperlukan pemurnian untuk mendapatkan formaldehid dengan kemurnian tertentu. Dengan demikian proses menjadi mahal dan hasilnya kurang memuaskan (Mc Ketta, 1992).

1.7.2 Proses dengan katalis perak

Menurut Cheng (1994), dalam industri produk *formaldehyde* berbahan baku metanol dengan mudah dioksidasi melalui katalis tembaga, namun saat ini hampir semuanya telah diganti oleh katalis perak dengan umur sekitar 3-8 bulan. Reaksi dengan katalis perak (*silver catalyst*) terjadi pada tekanan yang lebih besar dari atmosfer. Hal ini dapat dinyatakan oleh reaksi secara simultan:



Proses *silver catalyst* dapat dibagi menjadi 2 yakni metode konversi metanol sempurna (proses BASF) dan konversi metanol tidak sempurna (*recovery methanol*).

1.7.3 Konversi Metanol Sempurna BASF

Dimana proses oksidasi metanol menjadi *formaldehyde*, dengan bahan baku yang digunakan adalah metanol dan udara. Reaktor yang

digunakan adalah *Fixed Bed* reaktor dalam kondisi adiabatic dengan rasio 60% metanol dan 40% air. Panas yang dibutuhkan untuk mengevaporasi metanol dan air menggunakan *heat exchanger* dengan menghubungkan *stage* pertama dari kolom absorpsi (Ullmann, 1987).

Suhu operasi yang digunakan pada proses ini lebih besar daripada proses konversi tidak sempurna, yakni 680-720°C. Pada operasi mode konversi sempurna, unit absorpsi terdiri dari kolom absorpsi multiple dengan *recycle* larutan *formaldehyde* pada setiap *stage*. Produk akhir dari larutan sekitar 50-55 wt % *formaldehyde*, dapat diperoleh *stage* pertama jika *off-gas* dikembalikan untuk mengurangi penggunaan air pada umpan, sebaiknya larutan 40-44wt % *formaldehyde* dibentuk *Yield* sebanyak 85% sampai 91%.(Cheng, 1994). Kelemahan pada metode ini adalah umur katalis hanya 3 sampai 8 bulan tekanan operasi dan suhu operasi yang tinggi kebutuhan steam yang cukup banyak.

1.7.4 Konversi Metanol Tidak Sempurna (*Recovery Methanol*)

Pada mode konversi metanol tidak sempurna, konversi metanol adalah 77-78% dengan *yield* 91-92 % mol Suhu operasi yang digunakan pada proses konversi tidak sempurna, yakni 600-650°C. Pada mode konversi tidak sempurna, campuran masuk ke unit absorpsi adalah 42 wt% *formaldehyde* dan termasuk metanol. Campurannya adalah umpan yang masuk kolom distilasi, yang mana produk bawahnya mengandung 55 wt % *formaldehyde* dan kurang dari 1 wt % diperoleh metanol. Kandungan asam formiat di produk bagian bawah dikurangi dengan menggunakan unit anion-

exchange. Metanol di produk bagian atas dikembalikan dan dicampur dengan umpan yang baru. Off gas dari unit absorpsi dibakar untuk menghilangkan residu metanol dan macam-macam zat organik lainnya. Bagian dari itu dikembalikan ke reaktor sebagai *diluent inert* (Cheng, 1994).

Kelemahan pada metode ini adalah umur katalis hanya 3 sampai 8 bulan konversi metanol hanya 77 sampai 78% suhu operasi tinggi alat yang digunakan lebih banyak.

1.7.5 Proses dengan halder topsoe

Metode yang digunakan adalah metode haldor topsoe (*mixed oxide catalyst*) dengan bahan baku metanol dan udara. Reaktor yang digunakan *fixeb bed multitube* dengan suhu operasi 350°C - 420°C yang digunakan adalah *molybdenum oxide* dan *iron oxide* dengan masa aktif selama 12 sampai 15 bulan. Konversi metanol 98% dengan kemurnian *formaldehyde* 37%. Udara berlebihan digunakan untuk memastikan konversi mendekati sempurna dan menghindari terjadinya *eksplosive* (*range* metanol sekitar 6,7 sampai 36,5% vol.dalam udara). *Yield* yang diperoleh sekitar 94%. (McKetta,1983).

Dari berbagai proses diatas digunakan metode haldor topsoe, dengan pertimbangan *yield* maupun konversi yang tinggi suhu, tekanan operasi rendah dan lebih ekonomis.

Dari berbagai proses diatas digunakan metode haldor topsoe, dengan pertimbangan *yield* maupun konversi yang tinggi suhu, tekanan operasi rendah dan lebih ekonomis.

Tabel 1-8 Perbandingan proses

No.	Parameter	<i>hidrogenasi</i>	<i>Silver Catalyst</i>		Haldor Topsoe (<i>Mixed Oxyde</i>)
			BASF Proses (<i>Complete Conversion</i>)	<i>Incomplete Conversion</i>	
1	. Suhu Operasi	600-650 °C	680-720° C	600-650 °C	340°C
2	. Tekanan Operasi	Diatas atmosfer (>1 atm)	Diatas atmosfer (>1 atm)	Diatas atmosfer (>1 atm)	Diatas atmosfer (>1 atm)
3	. Konversi metanol	79%	97-98%	77-78%	98%
4	<i>Yield</i>	89,5-90,5%	89,5-90,5%	91-92%	94,4%
5	. Katalis	Perak (3-8 bulan)	Perak (3-8 bulan)	Perak (3-8 bulan)	<i>Molybdenum oxide</i> dan <i>iron oxide</i> (12-15 bulan)
6	Reaktor	<i>Fixed Bed Multitube</i>	<i>Fixed Bed Multitube</i>	<i>Fixed Bed Multitube</i>	<i>Fixed Bed Multitube</i>
7	Biaya	Alat yang digunakan lebih banyak (membutuhkan kolom distilasi), umur katalis lebih pendek, (prospek keuntungan kecil)	Alat yang digunakan sedikit (tidak membutuhkan kolom distilasi), <i>steam</i> yang dibutuhkan banyak, umur katalis lebih pendek, (prospek keuntungan cukup)	Alat yang digunakan lebih banyak (membutuhkan kolom distilasi), <i>steam</i> yang dibutuhkan banyak, umur katalis lebih pendek, (prospek keuntungan kecil)	Alat yang digunakan lebih sedikit (tidak membutuhkan kolom distilasi), <i>steam</i> yang dibutuhkan lebih sedikit, katalis dapat digunakan dalam jangka panjang, (prospek keuntungan besar)

1.8 Diskripsi Proses

1.8.1 Tahap Persiapan Bahan Baku

Tahap persiapan bahan baku bertujuan untuk mengubah fase metanol cair menjadi gas didalam alat vaporizer. Bahan baku utama berupa metanol dan udara. *Feed* pertama merupakan metanol yang dialirkan menggunakan pompa dari tangki penyimpanan pada fase cair dengan suhu 30°C dan tekanan 1 atm dialirkan menuju ke *vaporizer* untuk dididihkan hingga suhu sebesar 80°C dan bertekanan 1,3 atm. Untuk mengubah metanol pada fase cair menjadi fase gas dilakukan pemanasan pada suhu 80°C dalam *vaporizer*. Uap methanol yang dikeluarkan dari *vaporizer* kemudian diumpankan ke *heat exchanger* untuk menaikkan suhu uap metanol hingga mencapai suhu sekitar 200°C. *Feed* kedua yaitu udara yang mengandung campuran N₂ 79% dan O₂ 21%. *Feed* udara dengan tekanan 1 atm dan temperatur 30°C diumpankan kedalam *filter* dengan menggunakan blower sehingga tekanan udara naik menjadi 1,3 atm. Keluaran dari *filter* kemudian diumpankan ke *heat exchanger* untuk menaikkan suhu dari 30°C hingga mencapai suhu persiapan reactor sekitar 200°C.

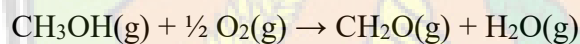
1.8.2 Tahap Pembentukan Produk

Pada tahap ini udara dan metanol telah dikondisikan dan akan bereaksi pada reaktor fixed bed multitube. Reaksi ini mengoksidasi metanol yang menghasilkan *formaldehyde*, reaksi yang terjadi pada berlangsung pada fase gas dengan suhu 350°C dan tekanan sebesar 1,3 atm. Umpan fluida mengalir ke dalam reaktor melalui tube pada reaktor yang berisi

katalis *Iron oxide* ($\text{Fe}_2(\text{MoO}_3)_2$) dan *molybdenum oxide* (MoO_3) digunakan sebagai katalis yang mempunyai masa aktif hingga 15 bulan. Reaksi oksidasi pada metanol berlangsung secara non adiabatik dan non isothermal. Reaksi oksidasi pada metanol bersifat eksotermis sehingga akan melepas sejumlah panas selama reaksi tersebut berlangsung. Uap metanol dan udara yang bercampur di *inject* kedalam reaktor di bagian bawah agar reaksi yang terjadi di dalam tube berisi katalis merata dari atas kebawah. *Formaldehyde* yang terbentuk pada reaktor memiliki suhu sekitar 350°C .

Berikut ini adalah reaksi yang terjadi di reaktor:

Reaksi :

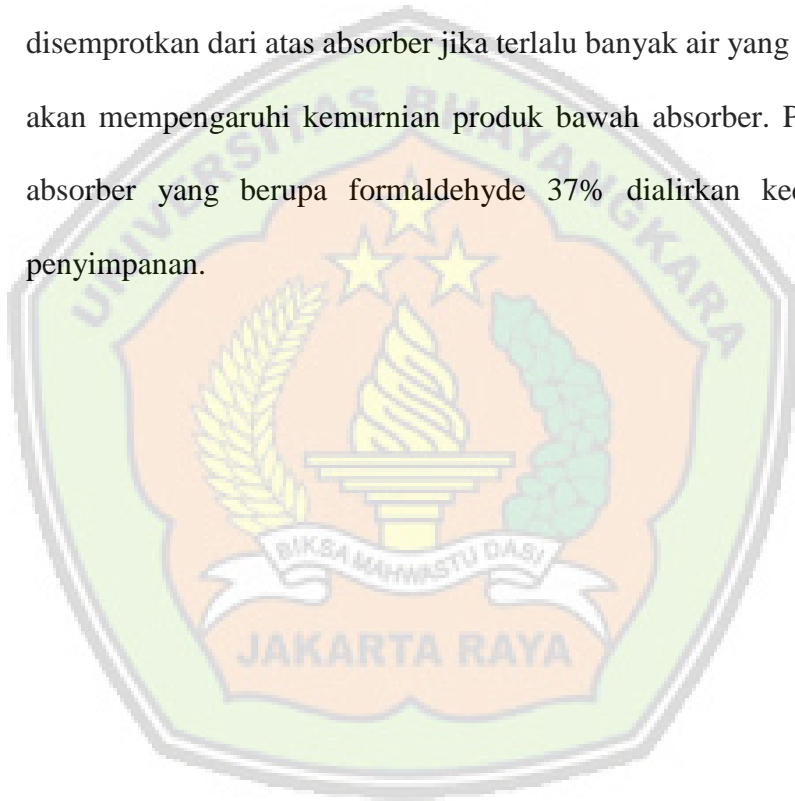


Pada temperatur 350°C dan tekanan 1,3 atm, konversi metanol dapat mencapai 98 %. Konversi yang terbentuk sangat dipengaruhi oleh temperatur.

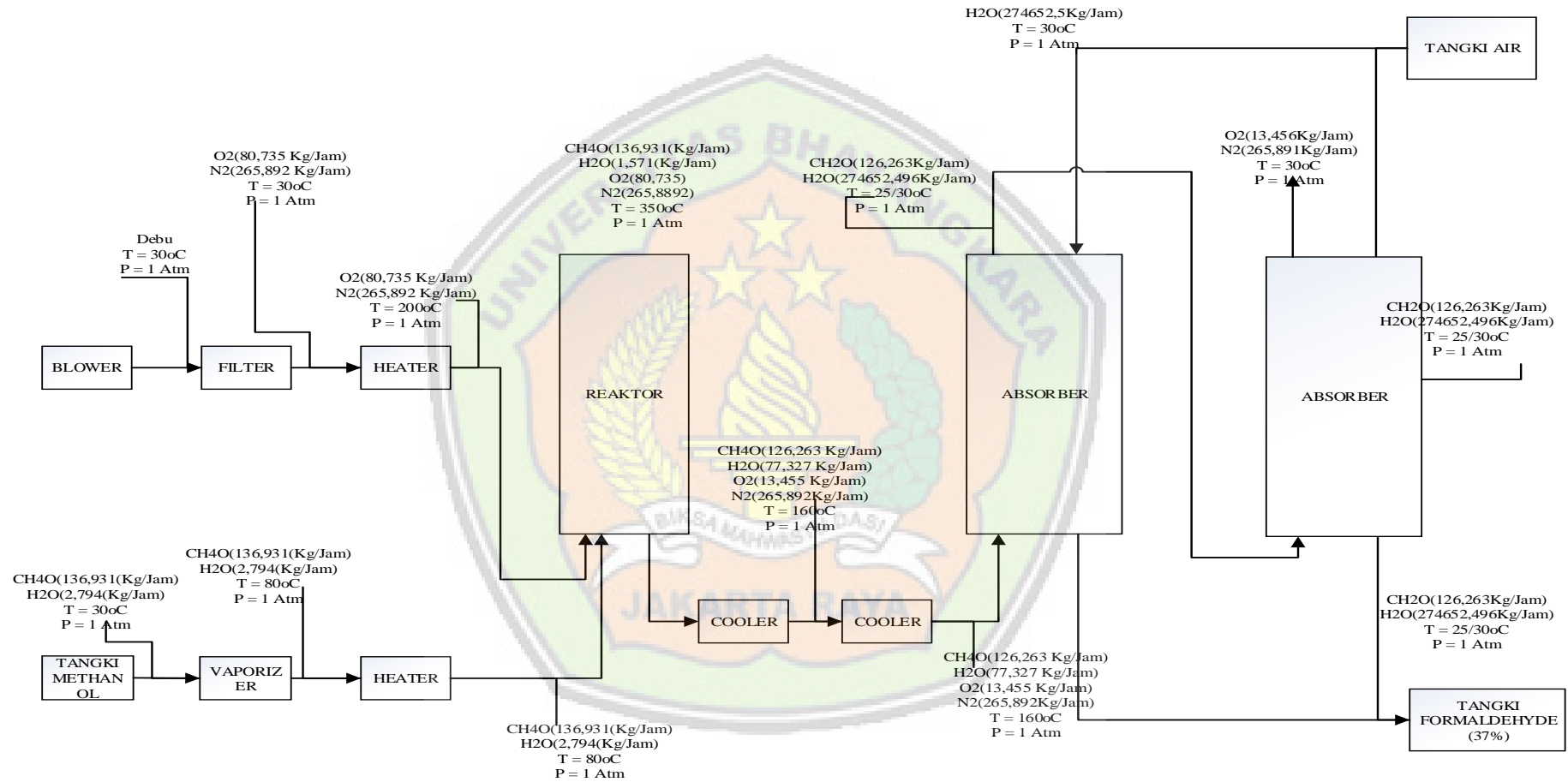
1.8.3 Tahap Pemurnian Produk

Tahap pemurnian produk memiliki tujuan untuk menabsorb *formaldehyde* yang di inginkan sebagai produk akhir. Hasil keluaran dari reaktor harus didinginkan sebelum menuju kolom absorpsi untuk menurunkan temperatur hingga 30°C sebelum diumpankan ke absorber. Hasil keluaran dari reaktor dimasukkan ke dalam absorber pada temperatur 30°C dan tekanan 1 atm. Gas O_2 dan N_2 dipisahkan dari reaktor pada absorber menggunakan pelarut air dengan temperatur masuk 30°C . Air masuk disemprotkan dari bagian atas pada absorber. Absorber bekerja

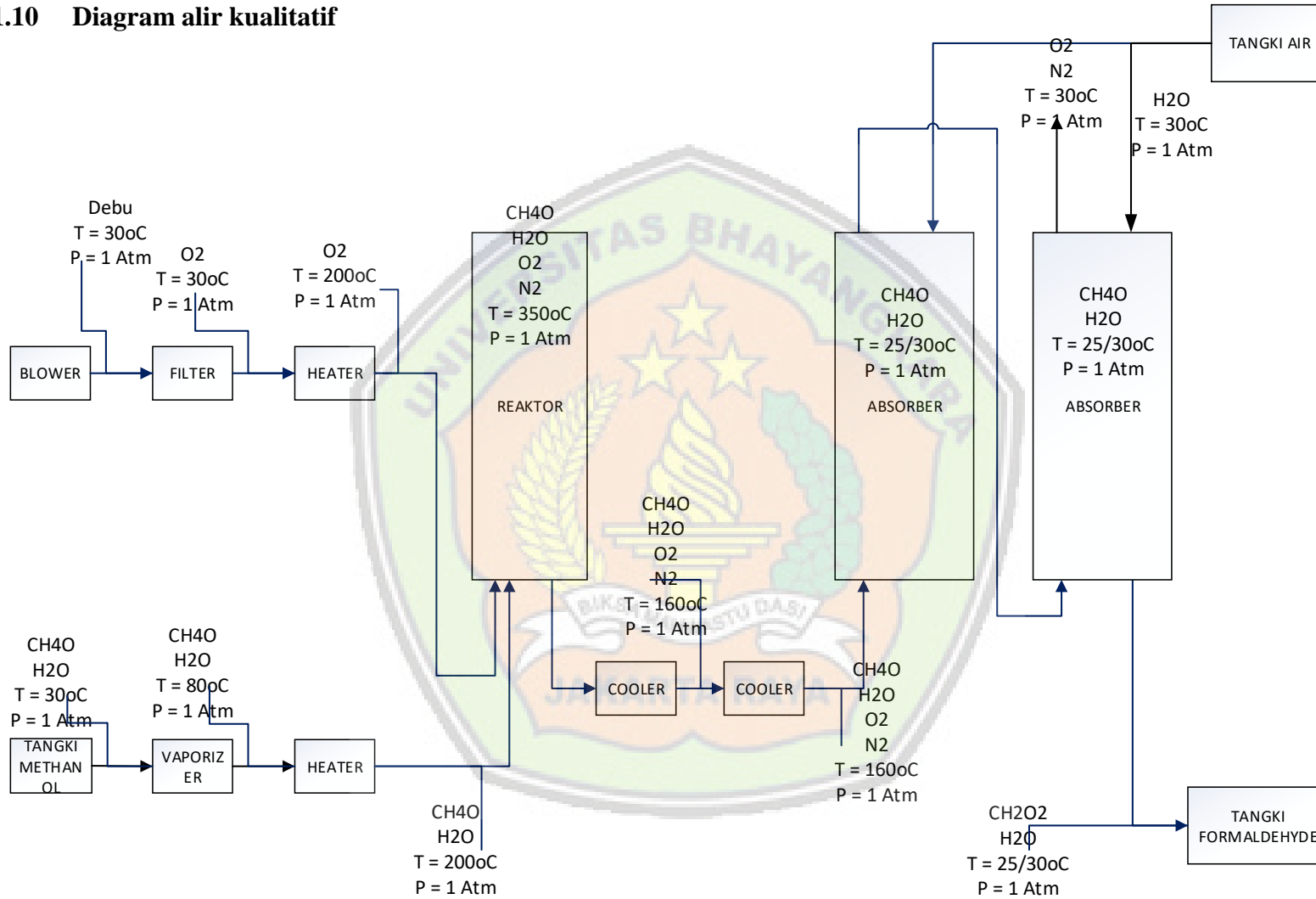
berdasarkan sifat kelarutan dimana *formaldehyde* dan metanol akan larut dalam air sedangkan gas yang diantaranya O_2 , N_2 akan dibuang sebagai *off gas*. Efisiensi absorber I yang hanya bisa menyerap 60% feed gas, maka output gas Absorber I dialirkan sebagai input Absorber II sehingga seluruh produk gas dapat dilarutkan kedalam air. Untuk menjaga kemurnian dari produk akhir hal yang perlu diperhatikan adalah jumlah air yang disemprotkan dari atas absorber jika terlalu banyak air yang disemprotkan akan mempengaruhi kemurnian produk bawah absorber. Produk bawah absorber yang berupa formaldehyde 37% dialirkan kedalam tangki penyimpanan.



1.9 Blok diagram kuantitatif



1.10 Diagram alir kualitatif



1.11 Bahan Baku

1.11.1 Metanol

Metanol adalah gugus alkohol alifatik yang paling sederhana. Reaktivitasnya ditentukan oleh gugus hidroksil. Reaksi dengan metanol terjadi melalui pemecahnya ikatan C-O atau ikatan O-H dan bercirikan reaksi substitusi gugus -H dan -OH (Kirk and Othmer, 1995)

Sifat Fisika :

- Rumus Molekul : CH_3OH
- Wujud : cairan tak berwarna
- Berat molekul : 32,04 g/gmol
- Densitas pada 25°C : 0,79 g/cm³
- Titik didih (1 atm) : 64,7 °C
- Titik lebur (1 atm) : -97,68 °C
- Temperatur kritis : 239,49 °C
- Tekanan kritis : 79,9 atm
- Viskositas pada 25 °C
 - ✓ Cairan : 0,54 cP
 - ✓ Gas : 0,0097 cP

(Kirk and Othmer, 1995)

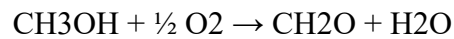
Data termodinamika

- ΔH_f° : -238,660 J/gmol fase cair (pada 25 °C)
- ΔG_f° : -166,270 J/gmol fase cair (pada 25 °C)
- C_p gas : $4.394 + 24,274 \cdot 10^{-3} T - 6.855 \cdot 10^{-6} T^2$ cal/gmol.K

Sifat Kimia :

Reaksi metanol yang terjadi :

1. Dehidrogenasi (pelepasan unsur hidrogen) dan dehidrogenasi oksidatif membentuk formaldehyde



2. Karbonilasi dengan katalis kobalt/rhodium membentuk asam asetat



3. Dehidrasi dengan katalis asam membentuk dimethyl eter dan air



1.11.2 Udara

Udara terdiri dari campuran utama gas N_2 dan O_2 dengan komposisi 79% N_2 dan 21% O_2 :

Sifat fisika Oksigen :

- Rumus Molekul : O_2
- Wujud : gas tak berwarna, tak berasa dan tak berbau
- Jika didinginkan sampai $-182,81^\circ\text{C}$ menjadi cairan kebiru-biruan, dan menjadi padatan berwarna biru jika didinginkan lebih lanjut
- Berat Molekul : 32 g/gmol
- Titik didih (1 atm) : $-182,81^\circ\text{C}$
- Titik lebur (1 atm) : $-218,78^\circ\text{C}$
- Temperatur kritis : 5,04 MPa (49,77 atm)
- Densitas gas pada 25°C : $1,33 \text{ g/cm}^3$
- Viskositas gas pada 25°C : 0,2 mPa.s

(Kirk and Othmer, 1995)

Data termodinamika :

- C_p gas (50-1500°K) = $29,526 - 8,8999 \cdot 10^{-3} T + 3,8083 \cdot 10^{-5} T^2 - 3,2629 \cdot 10^{-8} T^3 + 8,8607 \cdot 10^{-12} T^4$ J/gmol.K
- μ gas (150-1500 °K) = $44,224 + 5,62 \cdot 10^{-1} T - 1,13 \cdot 10^{-4} T^2$ micropoise
- k gas (80-1500 °K) = $0,00121 + 8,6157 \cdot 10^{-5} T - 1,3346 \cdot 10^{-8} T^2$ W/m.K

(Yaws, 1992)

Sifat kimia Oksigen :

- bereaksi dengan semua elemen lain kecuali gas helium, neon, dan argon.
- Untuk elemen tertentu seperti alkali logam rubidium, cesium, energy aktivasi pada suhu kamar mencukupi, dan reaksi berjalan secara spontan.
- Bahan yang akan direaksikan dengan oksigen harus dipanaskan terlebih dahulu sampai suhu tertentu untuk pembakaran awal. Jika direaksikan dengan petroleum, gas alam, atau batu bara akan dihasilkan panas, CO₂, H₂O.

(Kirk and Othmer, 1996)

Sifat fisika Nitrogen :

- Rumus Molekul : N₂
- Wujud : gas tak berwarna, tak berasa, tak berbau

- Berat Molekul : 28 g/gmol
- Titik didih (1atm) : -195,65 °C
- Temperatur kritis : -146,8 °C
- Tekanan kritis : 3,399 MPa (33,55 atm)
- Densitas relatif (udara) pada 273,15 °K : 0,967
- Viskositas dinamik pada 273,5 °K : $15,9 \cdot 10^{-3}$ mPa.s

(Kirk and Othmer, 1996)

Data termodinamika :

- C_p gas (50-1500°K) = $29,342 - 3,5395 \cdot 10^{-3} T + 1,0076 \cdot 10^{-5} T^2 - 4,3116 \cdot 10^{-8} T^3 + 2,5935 \cdot 10^{-12} T^4$ J/gmol.K
- μ gas (150-1500 °K) = $42,606 + 4,75 \cdot 10^{-1} T - 9,88 \cdot 10^{-5} T^2$ micropoise
- k gas (80-1500 °K) = $0,00309 + 7,593 \cdot 10^{-5} T - 1,1014 \cdot 10^{-8} T^2$ W/m.K

(Yaws, 1992)

1.11.3 Bahan Pendukung

Bahan pendukung yang digunakan adalah katalis *Molybdenum oxide* dan *Iron oxide*.

Tabel 1-9 Sifat fisika katalis Molybdenum oxide dan Iron oxide.

No.	Sifat	Molybdenum oxide	Iron oxide
1.	Wujud	Padat	Padat
2.	Warna	Biru dan kuning	Kuning, orange, merah, coklat dan hitam
3.	Bau	Tidak berbau	Tidak berbau
4.	Densitas	4,69 gr/cm ³	<ul style="list-style-type: none"> • 4,10 g/cm³ (kuning) • 4,90 g/cm³ (merah) • 4,60 g/cm³ (hitam)
5.	Kelarutan	0,1066 gr/100 ml (pada 10°C)	Tidak larut dalam air

(Sumber : MSDS Molybdenum oxide dan Iron oxide)

1.11.4 Produk

Sifat fisika *Formaldehyde* :

- Rumus Molekul : HCOH
- Wujud : cair
- Larut dalam air, alkohol, dan pelarut polar lain
- Kelarutan pada 25°C : 10⁶ ppm (mol maupun wt)
- Berat Molekul : 30,026 g/gmol
- Titik didih (1 atm) : -19 °C
- Titik lebur (1 atm) : -118 °C
- Temperatur kritis : 137,2 – 141,2 °C
- Tekanan kritis : 6,784-6,637 MPa (66,95-65,5 atm)

(Kirk and Othmer, 1994)

Data termodinamika :

- $\Delta H^{\circ}_f 298 \text{ (gas)} = -115,9 \text{ kJ/mol}$
- $\Delta G^{\circ} 298 \text{ (gas)} = -109,91 \text{ kJ/mol}$
- $C_p \text{ gas (50-1500}^{\circ}\text{K)} = 34,428 - 2,9779 \cdot 10^{-2} T + 1,5104 \cdot 10^{-4} T^2 - 1,2733 \cdot 10^{-7} T^3 + 3,3887 \cdot 10^{-11} T^4 \text{ J/gmol} \cdot ^{\circ}\text{K}$
- $\mu \text{ gas (254-1000 }^{\circ}\text{K)} = -6,439 + 4,4802 \cdot 10^{-1} T - 1,013 \cdot 10^{-4} T^2$
micropoise
- $k \text{ gas (254-994 }^{\circ}\text{K)} = 0,00171 + 1,9431 \cdot 10^{-5} T - 9,5287 \cdot 10^{-8} T^2$
W/m.K

(Yaws, 1992)

Sifat kimia:

- Dapat terdekomposisi menjadi CO dan H₂.
- Dapat membentuk CH₃OH melalui proses *hidrogenasi*.
- Pada temperature 80-100°C relative stabil tetapi perlahan akan terjadi polimerisasi pada suhu rendah.
- Dapat teroksidasi membentuk CO₂, H₂O, dan asam formiat. Dapat terkondensasi dengan macam-macam senyawa membentuk turunan methylol dan methylene.

(Kirk and Othmer, 1994)

