



PRARANCANGAN PABRIK FORMALDEHID DARI METANOL DENGAN KAPASITAS PRODUKSI 40.000 TON/TAHUN

Anisa Ari Santi, Erni Rahayu, Febri Adrian, Meta Fitri Rizkiana, Zuhriah Mumtazah

S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jember

Jl. Kalimantan Tegalboto No. 37, Krajan Timur, Kecamatan Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur 68121

Email : anisa.arisanti07@gmail.com

Abstrak

Solusi cepat dan efektif yang dapat dilakukan untuk meningkatkan pertumbuhan perekonomian suatu daerah dapat dilakukan dengan cara industrialisasi. Formaldehid merupakan bahan baku yang sangat penting dan dimanfaatkan dalam pembuatan berbagai produk industri kimia seperti industri manufaktur, disinfektan, kosmetik, dan obat-obatan. Di Indonesia, pemenuhan permintaan akan formaldehida dipenuhi oleh produksi dalam negeri dan impor dari beberapa negara seperti China, India, dan Belanda. Formaldehid dapat diproduksi dengan tiga metode yaitu sintesis menggunakan katalis iron molybdenum oxide, sintesis menggunakan katalis perak, dan oksidasi metana dan hidrokarbon dengan proses terpilih yaitu menggunakan katalis iron molybdenum oxide. Pabrik ini dirancang akan dibangun pada tahun 2027 yang berlokasi di kabupaten Bontang, Kalimantan Timur. Pabrik ini memiliki kapasitas produksi 40.000 ton/tahun, beroperasi selama 330 hari/taun. Dalam operasinya, pabrik ini membutuhkan bahan baku berupa metanol sebanyak 18.006 ton/tahun dan oksigen sebesar 36.012 ton/tahun. Pabrik ini beroperasi 24 jam per hari dan 330 hari per tahun. Pabrik ini memiliki pay out time (POT) selama 3,132 tahun, laju pengembalian modal (ROR) 29,85%, dan titik impas (BEP) 43,12%.

Kata Kunci: Formaldehid, iron molybdenum oxide catalyst, Formalin

1. Pendahuluan

Solusi cepat dan efektif yang dapat dilakukan untuk meningkatkan pertumbuhan perekonomian suatu daerah dapat dilakukan dengan cara industrialisasi. Sektor industri merupakan sektor yang menjadi penggerak sektor-sektor lainnya dan menjadi sektor utama dalam pembangunan nasional. Industrialisasi suatu wilayah dapat meningkatkan perekonomian wilayah tersebut melalui dana investasi yang masuk, kegiatan produksi, terbukanya lapangan pekerjaan bagi warga sekitar, peningkatan pendapatan warga, serta pemenuhan pembangunan infrastruktur yang dibutuhkan (Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Provinsi Jawa Tengah, 2019). Di bidang perekonomian, industri menyumbang pendapatan negara melalui kegiatan ekspor. Menurut Badan Pusat Statistik, ekspor Indonesia pada tahun 2021 meningkat 41,92% jika dibandingkan dengan ekspor pada tahun 2020 dengan kontribusi sebanyak 76,51% ("Badan Pusat Statistik (BPS)," 2023).

Formaldehid merupakan bahan baku yang sangat penting dan dimanfaatkan dalam pembuatan berbagai produk industri kimia. Formaldehid memiliki sifat tidak berwarna, reaktif dan mudah terbakar oleh gas terpolimerisasi pada suhu normal. Dalam kadar sangat kecil, formaldehid juga dihasilkan sebagai metabolit oleh beberapa organisme termasuk manusia. Meskipun formaldehida memiliki sifat kimiawi seperti senyawa aldehida pada umumnya, akan tetapi formaldehid lebih

reaktif dibandingkan dengan aldehida lainnya. Formaldehida merupakan senyawa elektrofil, yang dapat digunakan dalam reaksi substitusi senyawa aromatik dan aromatik elektrofilik serta dapat mengalami reaksi adisi elektrofilik (WHO, 1989).

Formalin merupakan formaldehida dengan kadar 37%. Formalin banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku industri manufaktur, disinfektan, kosmetik, dan obat-obatan (Malik et al., 2021). Beberapa tahun terakhir permintaan dunia akan formaldehida khususnya formaldehid dengan kadar 37% atau yang biasa disebut dengan formalin meningkat (Malik et al., 2021). Menurut www.chemanalyst.com, pada tahun 2022 permintaan formaldehida dunia mencapai 23 juta ton. Berdasarkan data pasar tahun 2015 hingga 2022, nilai tersebut diperkirakan akan terus meningkat dengan laju pertumbuhan 3,39% per tahun pada periode 2023 hingga 2032. Permintaan pasar dunia akan formaldehida pada tahun 2032 diperkirakan mencapai 36 juta ton. Di Indonesia, pemenuhan permintaan akan formaldehida dipenuhi oleh produksi dalam negeri dan impor dari beberapa negara seperti China, India, dan Belanda. Berdasarkan peningkatan permintaan pasar di dalam dan luar negeri akan formaldehida yang cukup tinggi, maka pendirian pabrik formaldehida di Indonesia sangat menjanjikan untuk mengimbangi permintaan formaldehida di dalam dan luar negeri.



Formaldehid dengan rumus kimia H_2CO merupakan senyawa yang pertama dan paling sederhana dari seri aldehid alifatik. Formaldehid pertama kali disintesis pada tahun 1859 oleh kimiawan asal Rusia Aleksander butlerov, namun diidentifikasi oleh Hoffman pada tahun 1867. Secara umum, formaldehid terbentuk akibat adanya reaksi oksidasi katalitik pada senyawa metanol. Selama 25 tahun terakhir, oksidasi metana secara langsung dan selektif menjadi formaldehid telah diupayakan dan dikembangkan dalam penelitian (Qian et al., 2003). Pada tahun 1859, Butlerov menghidrolisis metilen asetat dan mencatatnya sebagai larutan yang menghasilkan bau. Selanjutnya pada tahun 1867, Hoffman menyimpulkan hasil identifikasinya dimana formaldehid didapatkan melalui metode mengalirkan udara dan uap metanol diatas platinum spiral yang telah dipanaskan. Tahun 1886, Loew menemukan metode yang lebih efisien dibandingkan dengan metode Hoffman yaitu metode platinum spiral katalis dengan kasa tembaga. Pada tahun 1889, perusahaan Jerman Mercklin and Losekann mulai memproduksi formaldehid secara komersial. Perkembangan industri formaldehid terus menerus meningkat pada tahun 1900-1905. Selanjutnya pada tahun 1910, Hugo Blank yang juga merupakan perusahaan Jerman secara paten dinobatkan sebagai pengguna pertama katalis perak dan secara berkesinambungan Anilin badische and Soda Fabrik memproduksi formalin dengan katalis perak (Kirk and Othmer, 1995).

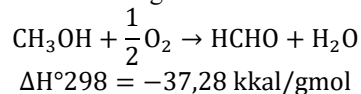
2. Pemilihan dan Proses

Pembentukan produk formaldehid dilakukan melalui proses oksidasi alkohol primer dengan bantuan katalis dalam suatu reaktor pada suhu atau temperatur tertentu. Secara komersial, formaldehid sebagian besar diproduksi dari udara dan metanol sebagai bahan baku utama melalui tiga metode yang berbeda (Shakeel et al., 2020). Metode pertama, formaldehid diproduksi menggunakan udara dan metanol dengan katalis *iron molybdenum oxide* di dalam sebuah reaktor *fixed bed multitube* (Cheng, 1996). Metode kedua, formaldehid diproduksi melalui proses *silver catalyst* dengan reaktor *fixed bed multitube* (Wachs and Madix, 1978). Metode ketiga, formaldehid diproduksi melalui proses oksidasi metana dan hidrokarbon (Brown and Parkyns, 1991). Akan tetapi di dalam dunia industri, proses produksi formaldehid dengan oksidasi alkohol primer lebih umum digunakan dan dapat dibedakan berdasarkan jenis katalis yang digunakan antara lain:

a. Proses *silver Catalyst*

Proses *silver catalyst* berlangsung pada reaksi katalitik antara oksigen dan metanol dengan katalis perak (Ag) sebagai katalisator. Katalis perak ini berbentuk kristal atau *spherical* yang ditumpuk pada bagian *tube*. Katalis Ag ini berumur sekitar 3-8 bulan dan memiliki sifat mudah teracuni oleh beberapa logam golongan transisi serta senyawa sulfur. Reaksi katalik antara oksigen dan metanol

berlangsung di dalam *fixed bed multitube reactor* pada temperatur 600°C - 650°C dan tergolong reaksi eksotermis. Pada proses *silver catalyst*, formaldehid dihasilkan melalui reaksi oksidasi (Kirk and Othmer, 1995). Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

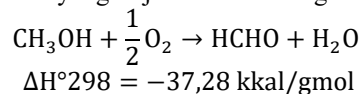


Umpam metanol dan udara mula-mula dipanaskan dan di campur didalam vaporizer. Campuran melewati *superheat exchanger* ke tempat kristal perak. Produk ini didinginkan dengan cepat dalam *steam generator* untuk selanjutnya masuk ke dalam *heat exchanger* yang menggunakan air dan diumpankan pada menara absorpsi bagian bawah. Sebagian besar metanol, air, dan formaldehid dikondensasikan pada bagian air pendingin bawah menara serta penghilangan sempurna dari metanol yang tersisa dan formaldehid dari gas sisa terjadi pada bagian atas absorber dengan kontak berlawanan dengan air proses. Bagian bawah absorber menuju menara distilasi dimana metanol dimanfaatkan kembali untuk daur ulang ke reaktor.

Produk yang dihasilkan mengandung 55% formaldehid dan kurang dari 1,5% metanol. Konversi yang terjadi pada proses *silver catalyst* yaitu sebesar 65-75% dan *yield* yang dihasilkan berkisar antara 86-90% (Kirk and Othmer, 1995). Untuk memperoleh produk formaldehid dengan kemurnian tertentu, diperlukan pemurnian dengan proses destilasi. Larutan formaldehid yang berasal dari dasar destilasi dilewatkan pada unit *anion exchanger* yang bertujuan untuk mengurangi kandungan *formic acid*.

b. Proses *Iron Molybdenum Oxide*

Proses *Iron Molybdenum Oxide* berlangsung pada reaksi katalitik antara oksigen dan metanol sebagai bahan baku dengan katalis *iron molybdenum oxide* sebagai katalisator. Katalis *iron molybdenum oxide* ini berumur sekitar 12-18 bulan. Reaksi katalik antara oksigen dan metanol berlangsung di dalam *fixed bed reactor* pada temperatur 300°C - 400°C dan tergolong reaksi eksotermis. Pada proses *Iron Molybdenum Oxide*, formaldehid dihasilkan melalui reaksi oksidasi (Kirk and Othmer, 1995). Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Mula-mula, metanol yang telah diuapkan di dalam *vaporizer* bercampur dengan udara pada reaktor *fixed bed*. Campuran metanol dan udara dilewatkan melewati tabung reaktor berisi katalis. Reaksi yang terjadi merupakan reaksi eksotermik sehingga terdapat panas yang dilepaskan selama reaksi berlangsung. Reaktor dilengkapi dengan jaket pendingin untuk menjaga suhu reaktor agar tetap stabil. Selanjutnya, produk keluaran reaktor di



dinginkan menggunakan *cooler*. Senyawa produk terembunkan dikondensasi didalam kondensor dan dipisahkan antara fase liquid dan gas-nya didalam tangki akumulator. Konsentrasi produk formaldehid dapat disesuaikan dengan cara mengontrol jumlah air yang ditambahkan pada tangki pengenceran. Produk yang dihasilkan mengandung 37% formaldehid, 7% metanol dan 56% air. Konversi yang terjadi pada proses *Metal 2. Oxide* yaitu sebesar 98,4% dan *yield* yang dihasilkan sebesar 91% (Kirk and Othmer, 1995).

A. Seleksi Proses

Berikut merupakan perbandingan proses produksi formaldehid dari metanol.

Tabel 1. Pertimbangan seleksi proses

Parameter	Jenis Proses	
	<i>Silver Catalyst</i>	<i>Iron Molybdenum Oxide</i>
Suhu Operasi	600°C - 650°C	300°C - 400°C
Tekanan Operasi	1,3 Atm	1-1,5 Atm
Reaktor	<i>Fixed bed multitube</i>	<i>Fixed bed</i>
Katalis	Perak (3-8 bulan)	<i>Iron - Molybdenum oxide</i> (12-18 bulan)
<i>Yield</i>	86-90%	91%
Konversi	65-75%	98,4%

Berdasarkan tabel diatas, dipilih proses dengan katalis *Iron Molybdenum Oxide* dengan pertimbangan sebagai berikut:

1. Konversi dan *yield* yang dihasilkan lebih tinggi, sehingga jumlah produk formaldehid yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan dengan proses *silver catalyst*.
2. Kondisi operasi yang dibutuhkan lebih rendah sehingga desain peralatanya menjadi lebih murah dan sistem keamananya mudah untuk di kontrol.
3. Umur katalis lebih panjang (12-18 bulan).

B. Uraian Proses Terpilih

Proses pembuatan formaldehid dari metanol terbagi menjadi 3 tahap yaitu pretreatment, sintesis formaldehid dari metanol, dan pemurnian produk.

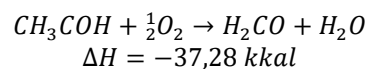
1. Pretreatment

Bahan baku berupa metanol dengan kemurnian 99% yang disimpan di tangki penyimpanan metanol (F-110) dengan kondisi tekanan 1 atm dan suhu 30°C. Bahan baku udara dipasok dari lingkungan sekitar yang diambil menggunakan blower (G-130) dengan kondisi tekanan 1,5 atm dan suhu 30°C. Selanjutnya udara dipanaskan

menggunakan *heat exchanger* hingga mencapai suhu 230°C agar sesuai dengan suhu metanol. Metanol dari tangki penyimpanan (F-110) diumpankan menuju *vaporizer* (V-120) menggunakan pompa (L-111) untuk diuapkan hingga mencapai suhu 230°C pada tekanan 1,5. Gas metanol dan udara selanjutnya akan dialirkan menuju *fixed bed reactor* (R-210).

Sintesis

Campuran metanol dan udara direaksikan didalam *fixed bed reactor* (R-210) pada tekanan 1,3 atm dan suhu 300°C menggunakan metode *Iron Molybdenum Oxide*. Umpan masuk ke dalam reaktor *fixed bed* yang berisi katalis. Katalis yang digunakan yaitu *iron-molybdenum oxide* dengan perbandingan 1,5:3. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Reaksi yang terjadi merupakan reaksi eksotermis, sehingga reaktor membutuhkan pendingin untuk menstabilkan suhu, sehingga reaksi tidak bergeser menuju reaktan sesuai dengan prinsip kesetimbangan reaksi kimia. Pendingin yang digunakan adalah *downtherm A*. Pendingin ini akan mempertahankan kondisi operasi reaktor yakni pada suhu 300°C dan tekanan 1,3 atm.

Konversi metanol yang dihasilkan sekitar 98,4% dengan *yield* yang diperoleh yaitu 91% dan selektivitas 90%. Produk yang dihasilkan selanjutnya dinginkan pada *cooler* (E-211) dan *cooler* (E-211) hingga mencapai suhu 110°C pada tekanan 1,25 atm. Produk yang telah didinginkan selanjutnya diembunkan didalam kondensor kemudian dipisahkan antara gas dan liquidnya didalam tangki akumulator.

3. Pemurnian

Pada tahap pemurnian dilakukan pemisahan formaldehid dari campuran gas selain formaldehida menggunakan tangki akumulator. Gas masuk kedalam kondensor pada kondisi tekanan 1,3 atm dan suhu 110°C. Suhu didalam kondensor diturunkan hingga 30°C dan tekanan 1,2 atm. Penurunan suhu dan tekanan aliran masuk ke dalam kondensor, menyebabkan terpisahnya komponen gas (N₂, O₂, CO, dan CO₂) dan cair (CH₃OH, CH₂O, dan H₂O). Keluaran kondensor akan dialirkan menuju tangki akumulator untuk dipisahkan antara fase gas dan liquid. Produk liquid akan dialirkan melalui sisi bawah tangki akumulator, sedangkan gas akan di buang menjadi *off gas*. Sebelum dipompakan ke dalam tangki penyimpanan, produk dipompakan menuju tangki pengenceran terlebih dahulu untuk ditambahkan sejumlah air yang bertujuan agar konsentrasi produk formaldehid sesuai yang diinginkan. Selanjutnya keluaran dari tangki pengenceran yang merupakan formaldehid dengan kadar 37% dipompakan menuju tangki penyimpanan produk.



3. Neraca Massa dan Neraca Energi

A. Neraca Massa

Pabrik formaldehid dari metanol dirancang dengan kapasitas produksi 5050,505 kg/jam atau 40.000 ton/tahun menggunakan katalis *iron molybdenum oxide*. Pabrik ini membutuhkan bahan baku metanol sebanyak 18.006 ton/tahun dan oksigen sebesar 36.012 ton/tahun. Pabrik ini beroperasi 24 jam per hari dan 330 hari per tahun.

B. Neraca Energi

Pabri formaldehid dari metanol dengan kapasitas 40.000 ton/tahun ini membutuhkan energi berupa *steam* sebesar 3.971,4 kg/jam, listrik sebesar 171,8 kWh, air proses sebesar 11.329,2 kg/jam, *brine water* sebesar 40.631,2 kg/jam, dan *dowtherm A* sebesar 509.559 kg/jam.

4. Evaluasi Ekonomi

Analisa ekonomi pabrik formaldehid dari metanol dengan kapasitas 40.000 ton/tahun menunjukkan bahwa pabrik membutuhkan biaya produksi (TPC) sebesar US\$ 13.613.432,3 dengan *total capital investment* (TCI) sebesar US\$ 12.974.678,9. Pemodalan pabrik terdiri atas 40% dana pribadi dan 60% merupakan pinjaman. Keuntungan yang diperoleh perusahaan tiap tahunnya sebesar US\$ 5.164.772,44 dengan harga jual formaldehid sebesar US\$ 469,5 per ton. Pabrik ini memiliki *pay out time* (POT) selama 3,132 tahun, laju pengembalian modal (ROR) 29,85%, dan titik impas (BEP) 43,12%.

5. Kesimpulan

Pabrik formaldehida dari metanol direncanakan dibangun dengan kapasitas produksi 40.000 ton/tahun menggunakan proses dengan katalis *iron molybdenum oxide*. Kebutuhan bahan baku produksi formaldehid meliputi metanol sebanyak 18.006 ton/tahun dan oksigen sebesar 36.012 ton/tahun. Pabrik ini beroperasi 24 jam per hari dan 330 hari per tahun. Pabrik ini memiliki *pay out time* (POT) selama 3,132 tahun, laju pengembalian modal (ROR) 29,85%, dan titik impas (BEP) 43,12%.

Daftar Pustaka

- Badan Pusat Statistik (BPS), 2023.
- Brown, Parkyns, 1991. Progress In The Partial Oxidation Of Methane To Methanol And Formaldehyd 8, 305–335.
- Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Provinsi Jawa Tengah, 2019. Perencanaan Penyediaan Infrastruktur Pendukung Kawasan Industri Di Jawa Tengah 1.
- Kirk, Othmer, 1995. Flavor Characterization to Fuel Cells, 4th ed. Encyclopedia of Chemical Technology, New York.

- Malik, M.I., Abatzoglou, N., Achouri, I.E., 2021. Methanol to formaldehyde: An overview of surface studies and performance of an iron molybdate catalyst. Catalysts 11.
- Qian, M., Liauw, M.A., Emig, G., 2003. Formaldehyde synthesis from methanol over silver catalysts. Appl Catal A Gen 238, 211–222.
- Shakeel, K., Javaid, M., Muazzam, Y., Naqvi, S.R., Taqvi, S.A.A., Uddin, F., Mehran, M.T., Sikander, U., Niazi, M.B.K., 2020. Performance Comparison of Industrially Produced. Performance Comparison of Industrially Produced Formaldehyde Using Two Different Catalysts 1–12.
- Wachs, I.E., Madix, R.J., 1978. The oxidation of methanol on a silver (110) catalyst. Surf Sci 76, 531–558.
- WHO, 1989. Environmental Health Criteria 89 - Formaldehyde. IPCS - International Programme on Chemical Safety 257.

