

BAB I

PENDAHULUAN

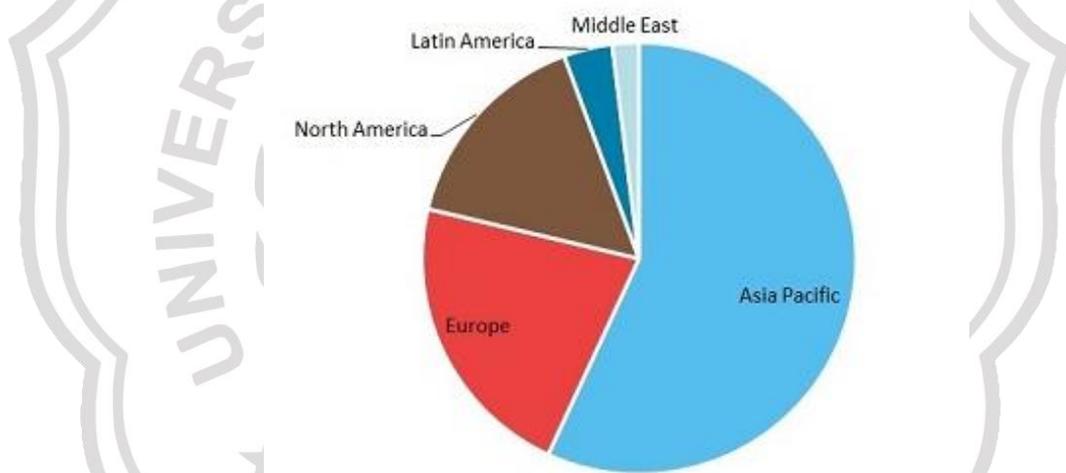
1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang yang memiliki sumber daya alam maupun sumber daya manusia yang berlimpah, dapat dikatakan bahwa Indonesia adalah negara berkembang yang berpotensi untuk mengembangkan berbagai jenis industri. Pada era globalisasi saat ini, bidang industri menjadi alternatif yang turut serta dalam pertumbuhan ekonomi. Salah satunya adalah industri bahan-bahan kimia, yang diharapkan dapat memberikan kontribusi besar bagi pertumbuhan ekonomi Indonesia. Umumnya industri kimia mengalami pertumbuhan pesat seiring dengan meningkatnya kebutuhan konsumtif manusia. Maka sangat layak jika sektor industri kimia mendapatkan perhatian yang serius, karena sektor industri kimia merupakan sektor pendukung bagi berkembangnya sektor-sektor perekonomian yang lain. Pendirian pabrik akan menghemat devisa negara serta membuka kesempatan untuk ahli teknologi industri kimia dan tenaga terdidik lainnya untuk berkarya, mengurangi angka pengangguran dan kemiskinan, dan meningkatkan pendapatan asli daerah setempat.

Formaldehid juga disebut sebagai metanal atau formalin, merupakan gugus aldehida paling sederhana dengan rumus kimia CH_2O yang mempunyai nilai strategis dalam perkembangan dunia industri karena banyak sektor industri yang menggunakan formaldehid sebagai bahan bakunya ataupun bahan pendukung seperti dalam pembuatan pupuk urea formaldehid, desinfektan, industri furniture, industri tekstil, industri kesehatan serta industri lainnya. Bahan baku pembuatan formaldehida di Indonesia yaitu metanol yang diperoleh dari PT Kaltim Methanol Industri (KMI) yang berlokasi di Kalimantan Timur. Mempertimbangkan adanya bahan baku metanol yang mencukupi maka sangat memungkinkan untuk mendirikan pabrik formaldehid di Indonesia tepatnya di Kalimantan Timur. Produk formaldehid yang akan diproduksi mempunyai kadar 37% berat yang mana

hal ini sesuai dengan kebutuhan industri sebagai bahan baku ataupun bahan pembantu dalam proses produksi.

Melihat banyaknya penggunaan formaldehid sebagai bahan utama atau bahan pembantu produksi dalam industri, maka pendirian pabrik kimia formaldehid dapat dikategorikan menguntungkan dan bisa membantu pertumbuhan perekonomian Indonesia. Survei yang dilakukan oleh *Merchant Research & Consulting ltd* (2022) menunjukkan bahwa lebih dari 70% urea formaldehid, phenol formaldehid, dan melamin formaldehid digunakan sebagai bahan dasar resin, hal ini dikarena jumlah produksi resin di dunia cukup besar sehingga konsumsi atas formaldehid juga meningkat. Konsumsi formaldehid secara global di dunia pada tahun 2021 ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1. Konsumsi Kebutuhan Formaldehid di Dunia

(Sumber : *Merchant Research & Consulting ltd*, 2022)

Gambar 1.1. menunjukkan bahwa wilayah Asia Pasifik mengkonsumsi hampir sama banyaknya dengan yang dikonsumsi bersama-sama oleh Eropa, Amerika Utara dan Amerika Latin. Wilayah Asia Pasifik menunjukkan tingkat kebutuhan paling banyak dalam konsumsi formaldehid namun berbeda dengan kebutuhan moderat dapat diamati di Amerika Utara dan Eropa Barat. Kebutuhan formaldehid di tingkat mancanegara memicu perkembangan industri formaldehid di Indonesia. Secara ekonomi pembangunan pabrik formaldehid memberikan keuntungan yang menjanjikan. Nilai Ekonomi

dalam segi keuntungan, nilai jual dari harga formaldehida lebih dibandingkan dengan harga metanol sebagai bahan bakunya. Hasil data yang diterbitkan oleh chemanalyst.com (2020), diketahui harga formaldehid dikisaran 400 – 450 USD/ton dan sedangkan berdasarkan data dari istharcompany.com (2020), harga metanol berada dikisaran 185 – 210 USD/ton.

1.1.1 Kapasitas Rancangan

Kapasitas rancangan pabrik merupakan salah satu faktor yang menentukan keberlangsungan proses produksi dalam sebuah pabrik. G.R. Terry (1997) menjelaskan bahwa rancangan adalah rangkaian upaya dalam memilah, memilih dan menghubungkan fakta dengan pendekatan asumsi-asumsi berkaitan dengan masa mendatang dalam memvisualisasikan dan merumuskan aktivitas yang dianggap perlu untuk mencapai hasil yang diinginkan. Kapasitas merupakan luaran dari hasil produksi yang dapat disimpan, diterima, atau diproduksi oleh sebuah pabrik dalam periode kurun waktu tertentu.

Aktualnya kapasitas rancangan menentukan kebutuhan kapasitas dimasa mendatang yang sebagian besar berdasarkan pada permintaan pasar. Tujuan dari menentukan kapasitas rancangan adalah dapat meramalkan kapasitas pabrik pada tingkat ketepatan yang memadai sebagai jumlah produk yang dapat diproduksi.

Pabrik formaldehid dari metanol direncanakan akan didirikan pada tahun 2032 dengan mempertimbangkan beberapa aspek, antara lain sebagai berikut.

1.1.1.1 Kebutuhan Produk di Indonesia

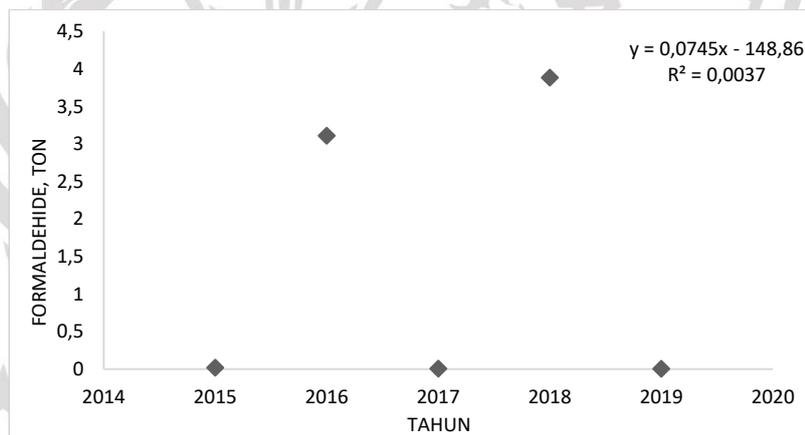
Kebutuhan formaldehid di Indonesia dapat diketahui dari data statistik impor dan ekspor yang diterbitkan oleh Badan Pusat Statistik Indonesia (2022). Berikut data impor dan ekspor pada tahun 2015 sampai dengan tahun 2019 yang disajikan pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1. Data Ekspor dan Impor Formaldehid di Indonesia

Tahun	Impor (ton/tahun)	Ekspor (ton/tahun)
2015	0,020	0,217
2016	3,110	0,056
2017	0,008	0,031
2018	3,883	0,356
2019	0,006	0,013

(Sumber : Badan Pusat Statistik Indonesia, 2022)

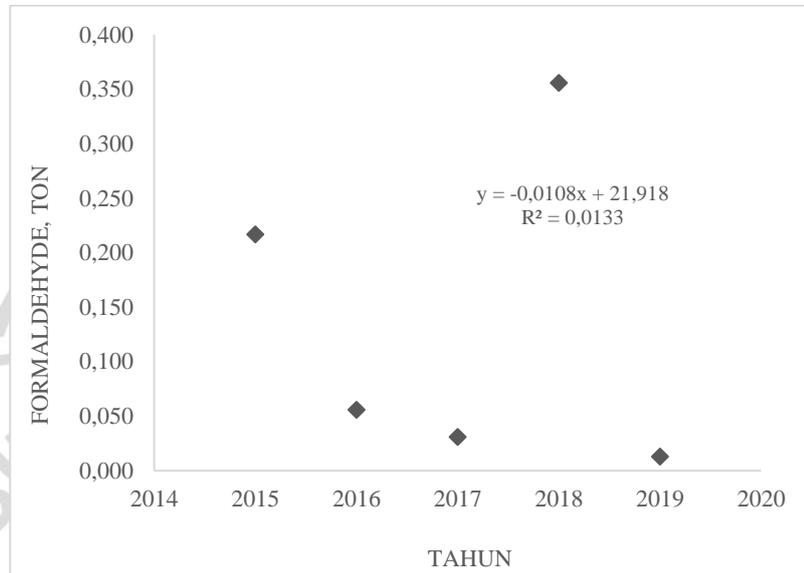
Berdasarkan data import dari Tabel 1.1 dapat dibuat grafik hubungan antara jumlah impor formaldehid dengan tahun yang diinterpretasikan pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2. Tingkat Impor Formaldehid Di Indonesia

Estimasi jumlah impor produk formaldehid pada tahun akan mendatang saat pabrik didirikan dapat dihitung dengan pendekatan menggunakan persamaan $y = 0,0745x - 148,86$ yang mana nilai x merupakan variabel tahun dan y adalah jumlah produk yang diimpor. Hasil perhitungan pada estimasi produk impor kebutuhan formaldehid di tahun 2032 adalah sebesar 2,524 ton/tahun.

Penentuan estimasi ekspor produk formaldehid dapat dilakukan dengan membuat grafik hubungan antara jumlah ekspor formaldehid dengan tahun yang ditunjukkan pada Gambar 1.3



Gambar 1. 3. Tingkat Ekspor Formaldehid Di Indonesia

Estimasi jumlah ekspor produk formaldehid pada tahun mendatang saat pabrik didirikan dapat dihitung dengan pendekatan menggunakan persamaan $y = -0,0108x + 21,918$ yang mana nilai x merupakan variabel tahun dan y adalah jumlah produk yang diekspor. Hasil perhitungan pada estimasi produk ekspor kebutuhan formaldehid di tahun 2032 adalah sebesar $-0,0276$ ton/tahun.

Hasil perhitungan pada proyeksi ekspor menunjukkan bahwa pada tahun 2032 diketahui tidak ada produk formaldehid yang dapat diekspor ke luar Indonesia.

1.1.1.2 Kebutuhan Produk di Dunia

Kebutuhan formaldehid tidak hanya ditinjau pada pemenuhan skala nasional, melainkan dapat ditinjau dari kebutuhan skala internasional. Kebutuhan pada skala ini merupakan salah satu peluang untuk meningkat jumlah

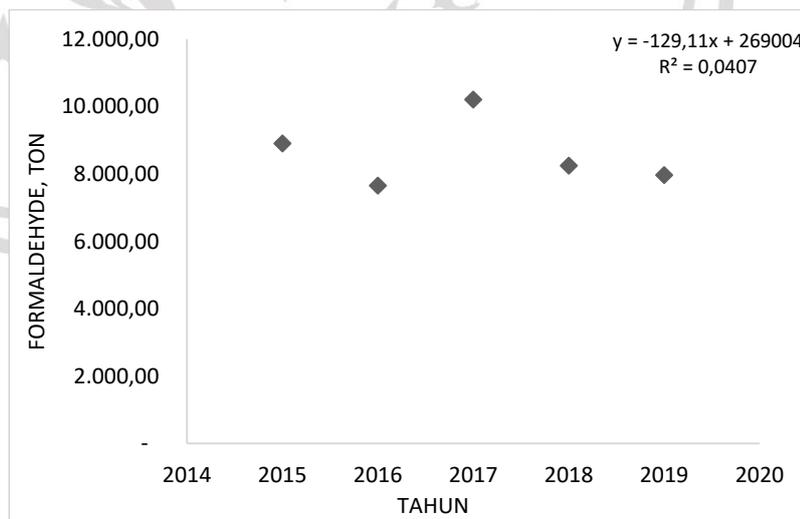
produksi pabrik. Kebutuhan rata-rata formaldehid pada tahun 2015-2019 di 11 negara pengguna formaldehid terbesar seperti Cina, Thailand, Jepang, Malaysia, Vietnam, Jerman, Itali, Spanyol, India, Inggris Raya, Amerika Serikat, Kanada, Brazil, Chili, dan Australia, dapat diketahui dari data yang diterbitkan oleh *Merchant Research & Consulting ltd* (2022) dan kemudian dirangkum pada Tabel 1.2.

Tabel 1. 2. Kebutuhan Rata-Rata Formaldehid di Negara Lain

Tahun	Kebutuhan (ton/tahun)
2015	8.904,38
2016	7.654,37
2017	10.205,39
2018	8.244,39
2019	7.963,67

(Sumber : *Merchant Research & Consulting ltd*, 2022)

Data dari Tabel 1.2 selanjutnya dapat dibuat grafik hubungan kebutuhan produk setiap tahunnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.4.



Gambar 1. 4. Tingkat Kebutuhan Formaldehid di Negara Lain

Estimasi jumlah kebutuhan produk formaldehid di negara lain pada tahun akan mendatang saat pabrik didirikan dapat dihitung dengan pendekatan menggunakan persamaan $y = -129,11x + 269.004$ yang mana nilai x merupakan variabel tahun dan y adalah jumlah produk yang dibutuhkan oleh negara lain. Hasil perhitungan pada estimasi kebutuhan formaldehid di negara lain tahun 2032 adalah sebesar 6.652,48 ton/tahun.

1.1.1.3 Konsumsi Produk di Indonesia

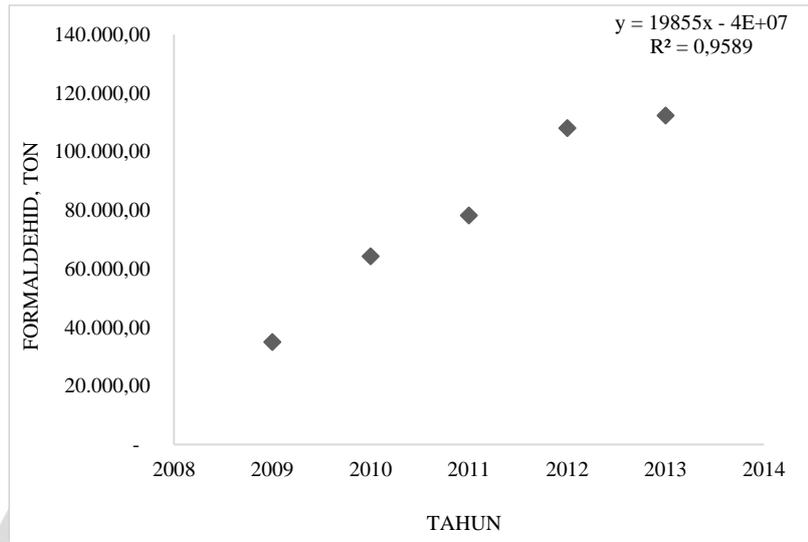
Konsumsi formaldehid di Indonesia dipengaruhi oleh tingginya minat beberapa industri pengembang produk yang menggunakan formaldehid sebagai bahan dasar atau bahan penunjang dalam proses produksinya. Informasi data perkembangan konsumsi formaldehid diperoleh dari Badan Pusat Statistik (2015) yang kemudian dirangkum pada Tabel 1.3.

Tabel 1. 3 Data Konsumsi Formaldehid di Indonesia

Tahun	Konsumsi (ton/tahun)
2009	34.946,97
2010	64.246,71
2011	78.210,48
2012	108.036,72
2013	112.324,74

(Sumber : Badan Pusat Statistik Indonesia, 2015)

Data dari Tabel 1.3 dapat dibuat grafik hubungan konsumsi formaldehid di Indonesia terhadap tiap waktunya yang diperlihatkan Gambar 1.5.



Gambar 1. 5. Tingkat Konsumsi Formaldehid di Indonesia

Estimasi jumlah konsumsi produk formaldehid di Indonesia pada tahun akan datang saat pabrik didirikan dapat dihitung dengan pendekatan menggunakan persamaan $y = -19.855x + 4E^{+07}$ yang mana nilai x merupakan variabel tahun dan y adalah jumlah prediksi konsumsi formaldehid. Hasil perhitungan estimasi konsumsi kebutuhan formaldehid di tahun 2032 adalah sebesar 345.360 ton/tahun.

1.1.1.4 Produksi Formaldehid di Indonesia

Kebutuhan formaldehid di Indonesia saat ini dipenuhi oleh produsen dalam negeri. Nama-nama perusahaan yang terdaftar sebagai produsen formaldehid pada data Kementerian Perindustrian dan Perdagangan Indonesia (2022) dirangkum di Tabel 1.4

Tabel 1.4. Daftar Produsen Formaldehid di Indonesia

Nama Produsen	Kapasitas (ton/tahun)
PT Belawan Deli Chemical Industry	30.000
PT Dover Chemical	24.540
PT Duta Pertiwi Nusantara	50.000
PT Dynea Mugi Indonesia	29.400
PT Putra Sumber Kimindo	48.000
PT Sabak Indah	36.000
PT Arjuna Utama Kimia	23.000
PT Pamolite Adhesive Industry	36.000
PT Borneo Karya Persada	35.000
Total	311.940

(Sumber : Kemenperidag, 2022)

Berdasarkan data pada Tabel 1.4 dapat diketahui bahwa 9 pabrik formaldehid yang beroperasi di Indonesia dapat menghasilkan formaldehid sebesar 311.940 ton/tahun.

Dari hasil keseluruhan data yang sudah diperoleh maka dapat dihitung kapasitas perancangan pabrik formaldehid sebagai berikut.

a. *Supply*

$$\text{Supply} = \text{kuantitas produksi} + \text{kuantitas impor}$$

$$\text{Supply} = 311.940 \text{ ton} + 2.524 \text{ ton}$$

$$= 311.942,524 \text{ ton}$$

b. *Demand*

$$\text{Demand} = \text{Peluang ekspor} + \text{kuantitas konsumsi}$$

$$= (0 \text{ ton} + 6.652,48 \text{ ton}) + 345.360 \text{ ton}$$

$$= 352.012,48 \text{ ton}$$

c. Kapasitas Prancangan

$$\text{Peluang Kapasitas} = \text{demand} - \text{supplay}$$

$$= 352.012,48 \text{ ton} - 311.942,524 \text{ ton}$$

$$= 40.069,926 \text{ ton}$$

Kapasitas pabrik formaldehid yang didirikan setidaknya memenuhi 60% dari peluang yang ada, sehingga kapasitas produksi yang diperoleh adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas produksi} &= 40.069,926 \text{ ton} \times 60\% \\ &= 24.041,96 \text{ ton} \approx 24.000 \text{ ton}\end{aligned}$$

Jika dibandingkan dengan kapasitas komersil pabrik formaldehid yang sudah ada, kapasitas 24.000 ton sudah termasuk dalam jajaran kapasitas minimum.

1.1.2 Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik pada suatu daerah merupakan salah satu strategi yang sangat kritical guna menentukan keberhasilan dan keberlangsungan proses produksi. Pabrik formaldehid kapasitas 24.000 ton/tahun ini direncanakan akan didirikan di Kabupaten Bontang, Kalimantan Timur tepatnya di Kawasan Ekonomi Kaltim (KEK) Maloy Batuta Trans Kalimantan. Hal ini dikarenakan di area tersebut merupakan lintasan Air Laut Kepulauan Indonesia II, yang merupakan salah satu lintasan jalur laut perdagangan internasional yang menghubungkan Pulau Kalimantan dan Sulawesi, serta jalur regional Trans Kalimantan.



Gambar 1. 6. Rencana Lokasi Didirikan Pabrik Formaldehid

(Sumber : Google Earth, 2022)

1.1.2.1 Faktor Primer

A. Bahan Baku

Lokasi pabrik sebaiknya dekat dengan bahan baku, sebab bahan baku sangat mempengaruhi kelangsungan hidup suatu pabrik. Bahan baku untuk memproduksi formaldehid adalah metanol yang di peroleh dari PT Kaltim Metanol Industri milik PT Pertamina di Kalimantan Timur dan udara diperoleh dari lingkungan. Lokasi pabrik yang dekat dengan sumber bahan baku maka akan menekan seminimal mungkin biaya pengangkutan dan transportasi bahan baku menuju tempat pengolahan. Pengaruh jarak antara proses pengolahan dengan sumber bahan baku mampu menjaga kualitas dari bahan baku sehingga kemungkinan terjadinya deflitis bahan baku akan dapat dikendalikan.

B. Transportasi dan Telekomunikasi

Transportasi merupakan salah satu elemen penting dalam keberlangsungan proses produksi pabrik dalam segi kemudahan dalam pemenuhan kebutuhan pelanggan dan pemasok. Pabrik formaldehid dari metanol direncanakan didirikan di Bontang karena mempertimbangkan jarak akses lokasi pabrik dengan pelabuhan dan serta jalan raya sehingga diharapkan mampu mempermudah pemasokan bahan baku dan pemasaran formaldehid ke beberapa daerah-daerah seperti pulau Jawa atau ke pulau-pulau lain di Indonesia hingga keluar negeri dapat berjalan dengan baik dan mudah. Provinsi Kalimantan Timur dilalui jalur darat berupa jalan raya dan jalur laut berupa 4 pelabuhan besar seperti Pelabuhan Samarinda, Pelabuhan Semayang, Pelabuhan Lok Tuan dan Pelabuhan Pondong. Sedangkan

telekomunikasi di daerah tersebut cukup baik dan berjalan dengan lancar.

C. Pemasaran

Pemasaran merupakan salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap studi kelayakan proses. Dengan pemasaran yang tepat akan menghasilkan keuntungan dan menjamin kelangsungan proyek. Lokasi di kawasan Bontang relatif strategis untuk pemasaran produk terutama bagi pabrik-pabrik yang menggunakan formaldehid. Kebutuhan formaldehida sebagai bahan utama dan pembantu dalam proses-proses pabrik kimia di Indonesia masih sangat dibutuhkan. Produk formaldehid yang dihasilkan di pabrik ini direncanakan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, yaitu sebagai bahan intermediat pada pembuatan phenol formaldehida, urea formaldehida, melamine formaldehida yang digunakan sebagai perekat pada industri *plywood*, *trioxane* yang banyak terdapat di Kalimantan khususnya Bontang dan di Jawa khususnya Cilegon. Jika kebutuhan pasar dalam negeri telah terpenuhi, maka produk formaldehid tersebut dapat dipasarkan di pasar internasional atau diekspor.

D. Sumber Daya Manusia

Tenaga kerja merupakan modal utama pendirian suatu pabrik. Sebagian besar tenaga kerja yang dibutuhkan adalah tenaga kerja yang berpendidikan kejuruan atau menengah dan sebagian sarjana. Ketersediaan tenaga kerja yang melimpah di Indonesia membuat produksi formaldehid akan berjalan lancar. Sumber Daya Manusia (SDM) dapat diperoleh dari daerah sekitar lokasi pabrik. Penduduk Provinsi Kalimantan Timur berdasarkan data BPS Kaltim pada Tahun 2020

didominasi oleh penduduk laki-laki yang berjumlah 1.961.634 jiwa dan penduduk perempuan sebanyak 1.804.405 jiwa. Prosentase jumlah penduduk Kabupaten Bontang Tahun 2020 menurut umur kelompok umur (0-19) sebesar 34,57 % ; kelompok umur (20-54) sebesar 54,44 %; dan kelompok umur 55 ke atas sebesar 10,98 %.

Pembagian penduduk Provinsi Kalimantan Timur Tahun 2020 menurut ijazah yang dimiliki sebagian besar tamat SMA 24,53 %, memiliki ijazah SMP sebanyak 13,39 %, tamat SD sebesar 17,12 % dan Perguruan Tinggi mencapai 7,06%. Upah Minimum Regional di Kabupaten Bontang, Kalimantan Timur menurut data BPS Provinsi Kalimantan Timur Tahun 2021 adalah sebesar Rp. 3.182.706,00. Berdasarkan dari paparan data diatas menunjukkan bahwa Provinsi Kalimantan Timur memiliki kualifikasi sumber daya manusia yang sesuai dengan kebutuhan. Selain itu faktor kedisiplinan dan pengalaman kerja juga menjadi prioritas dalam perekrutan tenaga kerja, sehingga diperoleh tenaga kerja yang berkualitas. Sedangkan tenaga ahli dapat didatangkan dari luar.

E. Utilitas

Utilitas yang diperlukan dalam pabrik ini adalah air, bahan bakar dan listrik. Sarana kebutuhan air dapat dipenuhi dengan baik dan murah karena area kawasan ini memiliki sumber aliran sungai, seperti sungai Bontang, Nyerakat, Busuk dan Badak. Sarana yang lain seperti bahan bakar dapat dipasok dari PT Megah Anugrah Energi dan kebutuhan listrik diperoleh dari PLN.

1.1.2.2 Faktor Sekunder

A. Kebijakan Pemerintahan dan Masyarakat

Sesuai dengan kebijakan pengembangan industri, pemerintah telah menetapkan daerah Bontang sebagai Kawasan industri terbuka bagi investor asing. Pemerintah sebagai fasilitator telah memberikan kemudahan-kemudahan dalam perizinan, pajak dan hal-hal lain yang menyangkut teknis pelaksanaan pendirian suatu pabrik.

Masyarakat Kalimantan timur merupakan campuran dari berbagai suku bangsa yang hidup saling berdampingan dengan industri, sehingga dapat dipastikan mendapat sambutan baik dan dukungan dari masyarakat setempat dan dapat meningkatkan taraf hidup masyarakat.

B. Geografi

Bontang merupakan suatu daerah yang terletak di daerah kawasan industri dan pesisir pantai yang memiliki kondisi alam yang sangat menunjang. Daerah Bontang dan sekitarnya telah direncanakan oleh pemerintah sebagai salah satu pusat pengembangan wilayah produksi industri. Penentuan lokasi pabrik merupakan hal yang sangat penting yang akan menentukan kelancaran perusahaan dalam menjalankan operasinya. Dari pertimbangan tersebut maka area tanah yang tersedia memenuhi persyaratan untuk pembangunan sebuah pabrik. Pertimbangan lain dalam segi geografi dikarenakan Kabupaten Bontang merupakan daerah yang belum termasuk padat penduduknya, beberapa area masih tersedia lahan kosong sehingga memungkinkan terdapat banyak lahan yang dimanfaatkan untuk perluasan pabrik.

1.2 Tinjauan Pustaka

Formaldehid adalah gas tidak berwarna dengan bau yang tajam. Gas formaldehid larut dalam air, alkohol dan pelarut polar lainnya. Formaldehid memiliki tingkat reaktivitas kimia yang tinggi dan stabilitas termal yang baik dibandingkan dengan senyawa karbonil lainnya. Safriet (1991) menjelaskan produk formalin di Amerika Serikat diproduksi dengan menggunakan 2 tahap yaitu melakukan hidrogenisasi metanol dan mengoksidasi metanol dengan bantuan katalis perak sehingga menghasilkan formaldehid, gas hidrogen dan air. Beberapa jenis proses yang dapat digunakan untuk membuat formaldehid adalah sebagai berikut.

1.2.1 Hidrokarbon

Proses hidrokarbon ini adalah proses yang dikembangkan pada awal perkembangan industri formaldehid. Proses ini merupakan proses oksidasi langsung dari hidrokarbon alifatik. Bahan baku yang digunakan pada umumnya dari etilen dengan katalis asam, seperti asam borat atau asam fosfat atau garamnya dari campuran tanah diatom (*clay*). Selain itu bahan baku pembuatan formaldehid juga bisa berasal dari gas alam seperti metana.

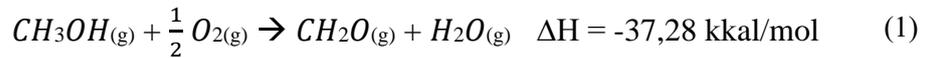
Jika menggunakan natural gas sebagai bahan baku maka reaksi berjalan pada suhu 430 – 480°C dan tekanan 7 - 20 atm dengan katalis aluminium fosfat atau *metal oxide*. Proses ini memiliki kelemahan yaitu produknya mengandung 34% – 36% metanol, 20% – 23% formalin, 5% – 6% aetaldehid dan sejumlah besar aldehid, keton, alkohol serta air. Menurut Keyes (1965), diperlukan pemurnian untuk mendapatkan formaldehid dengan kemurnian tertentu sehingga proses menjadi mahal dan hasilnya kurang memuaskan.

1.2.2 Silver Catalyst

Proses ini menggunakan katalis perak di dalam *fixed bed multitube reactor*. Industri produk formaldehid secara umum menggunakan bahan baku metanol yang dengan mudah dapat 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 (Cheng, 1994). Hal ini dapat dinyatakan oleh reaksi secara simultan yang digambarkan dalam persamaan (1) dan (2).

Reaksi Oksidasi :



Reaksi Dehidrogenasi :



(Othmer,1953)

Reaksi keseluruhan dari proses ini berlangsung secara eksotermis dan terjadi pada suhu yang tinggi dikisaran 560 – 620°C dan tekanan sedikit di atas tekanan atmosfer. Konversi yang diperoleh 65 – 75% dan *yield* yang diperoleh sekitar 85 - 89,1%.

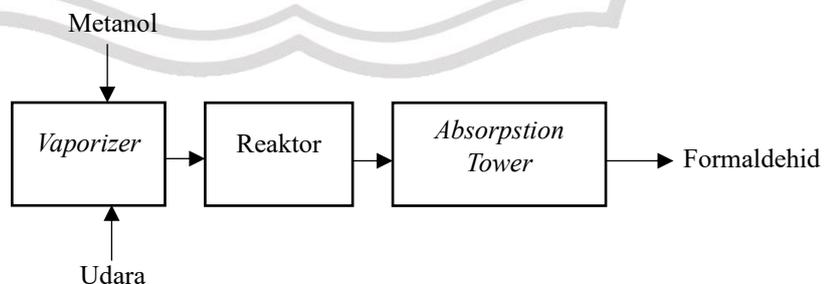
Pada proses ini awalnya umpan metanol dan air masuk secara bersama-sama ke *vaporizer* untuk diuapkan, setelah itu udara yang telah dimurnikan direaksikan dengan methanol dalam reaktor katalitik, di reaktor ini terjadi reaksi oksidasi metanol menjadi formaldehid. Kemudian hasil produk keluar reaktor didinginkan dengan cepat, selanjutnya dialirkan ke menara absorber dimana metanol, air, dan formaldehid terkonversi di dasar menara. Produk dimurnikan di dalam menara destilasi untuk mendapatkan kemurnian yang diinginkan (Mc Ketta, 1983).

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

1.2.2.1 *Incomplete Conversion and Distillative Recovery of Methanol (ICDRM)*

Proses ini merupakan proses pembuatan formaldehid dimana konversi yang terjadi tidak sempurna. Campuran yang terdiri dari uap metanol murni dan udara segar diumpankan ke

dalam *vaporizer*. Hasil keluaran dari *vaporizer* dicampur dengan *steam* dan selanjutnya dimasukkan ke dalam reaktor. Produk keluaran reaktor dimasukkan ke dalam unit absorpsi, campuran yang masuk ke unit absorpsi adalah 42 wt% formaldehid dan termasuk metanol. Campurannya adalah umpan yang masuk kolom distilasi, yang mana produk bawahnya mengandung 55 wt % formaldehid 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 zat organik lainnya. Hasil dari proses pembakaran dikembalikan ke reaktor sebagai *diluent inert* (Cheng, 1994). Konversi metanol yang diperoleh adalah 77% – 78%, dengan *yield* 91 – 92 %, dan suhu operasi yang digunakan 590 – 650 °C. Katalis yang digunakan adalah perak dengan masa efektif berkisar antara (3 – 8 bulan). Formalin yang dihasilkan dari oksidasi parsial menghasilkan metanol yang tidak bereaksi yang kemudian didestilasi kembali dan hasil keluaran dialirkan ke dalam *vaporizer*. Ulmans (1988) menyebutkan kerugian dari proses ini adalah konversi reaksi yang kecil dibandingkan proses lainnya dan suhu operasi yang digunakan tinggi. Proses pembentukan formaldehid dengan metode ini diilustrasikan di dalam Gambar 1.7.

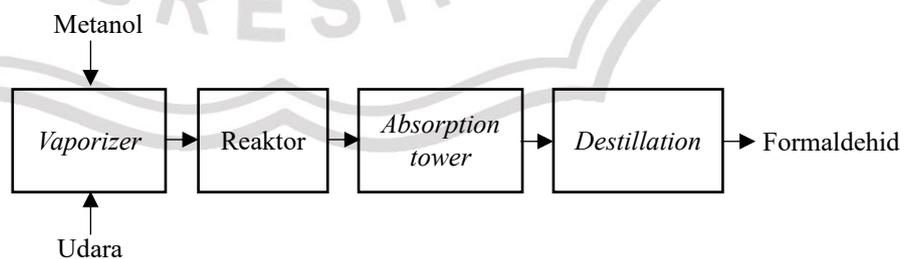


Gambar 1. 7. Diagram Blok Proses IDCRCM

1.2.2.2 Complete Conversion of Methanol

Complete Conversion of Methanol memiliki prinsip proses oksidasi metanol menjadi formaldehid menggunakan reaktor *fixed bed multitube reactor* dalam kondisi adiabatik dengan rasio 60% metanol dan 40% udara. Panas yang dibutuhkan untuk mengevaporasi metanol menggunakan *heat exchanger* berasal dari satu rangkaian dengan *stage* pertama kolom absorpsi (Ullmann, 1987).

Suhu operasi yang digunakan pada proses ini lebih besar daripada proses konversi tidak sempurna, yakni 680 – 720°C pada tekanan atmosferik. Proses operasi dengan metode ini disebutkan unit absorpsi terdiri dari kolom absorpsi *multiple* dengan *recycle* larutan formaldehid pada setiap *stage*. Produk akhir dari larutan sekitar 50 – 55 wt % formaldehid yang dapat diperoleh dari *stage* pertama jika *off gas* dikembalikan untuk mengurangi penggunaan air pada umpan, sebaliknya larutan 40 – 44 % berat formaldehid dibentuk *yield* sebanyak 85% – 91% (Cheng, 1994). Kelemahan pada proses ini adalah umur katalis yang digunakan pendek (3 – 8 bulan), dan suhu operasi yang cukup tinggi sehingga kebutuhan *steam* cukup banyak. Proses pembentukan formaldehid dengan metode ini diilustrasikan pada Gambar 1.8.

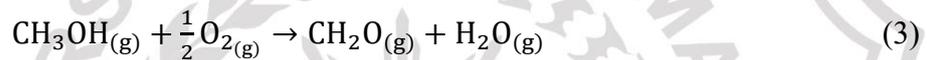


Gambar 1. 8. Diagram Blok Proses *Complete Conversion of Methanol*

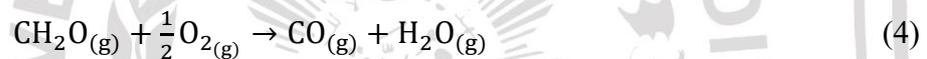
1.2.3 Mixed Oxide Catalyst (Haldor Topsoe)

Reaksi *Haldor Topsoe (mixed oxide catalyst)* menggunakan katalis campuran senyawa yang terdiri *Dimethyl ether, Methyl formate, Dimethoxy methane,* dan *Carbon dioxide*, katalis ini mempunyai umur sekitar 12 – 15 bulan. Reaktor yang digunakan adalah *fixed bed multitube*, dengan suhu operasi sekitar 280 – 590°C dan dengan tekanan mendekati tekanan atmosfer. Konversi metanol 98% dengan kemurnian formaldehid 37%. Udara yang berlebih digunakan untuk memastikan konversi mendekati sempurna dikisaran 98,4%, dan untuk menghindari terjadinya ledakan (kisaran untuk metanol 6,7 – 36,5% volume dalam udara). *Yield* yang diperoleh sekitar 94,4% (Mc. Ketta, 1983). Reaksi yang terjadi selama proses dituliskan di persamaan (3) dan (4).

Reaksi utama :



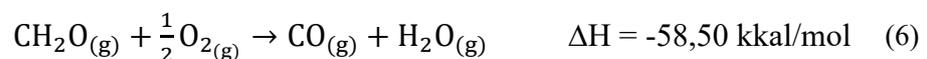
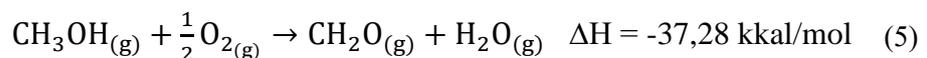
Reaksi samping :



1.2.4 Metal Oxide Catalyst (Formox Process)

Metode *metal oxide catalyst* merupakan proses pembuatan formaldehid menggunakan metanol dengan menggunakan katalis campuran logam yaitu *iron molybdenum oxide*, katalis ini mempunyai umur sekitar (12 – 18 bulan). Metanol uap dicampur dengan udara dan *recycle gas* kemudian direaksikan dengan katalis dalam sebuah reaktor *fixed bed multitube* dengan suhu operasi 300 – 400°C dan tekanan 1 – 1,5 atm, konversi yang diperoleh bisa mencapai 98% dengan *yield* 94,4% (Mc. Ketta,1983). Reaksi dituliskan di dalam persamaan (5) dan (6).

Reaksi yang terjadi :



(Hadianto, 2001)

Perbandingan dari tiap proses dirangkum pada Tabel. 1.5.

Tabel 1. 5. Perbandingan Proses

Parameter	Hidrokarbon	Silver Catalyst		Mixed Oxide Catalys (Haldor Topsoe)	Metal Oxide Catalyst (Formox Process)
		Incomplete Conversion and Distilative Recovery of Metanol (ICDRM)	Complete Conversion of Methanol		
Suhu Operasi	430 – 480 °C	590 – 650 °C	680 - 720°C	280 – 590 °C	300 – 400 °C
Tekanan Operasi	7 – 20 atm	Lebih besar dari atmosfer		Mendekati tekanan atmosfer	1 – 1,5 atm
Konversi	-	77 – 78%	-	98,4 %	98,4%
Yield	-	91 - 92 % mol	85% - 91%	94,4%	94,4%
Katalis	Aluminium phospat	Katalis perak		Dimethyl ether, Methyl formate, Dimethoxy methane, Carbon dioxide	Iron molybdenum oxide
Umur Katalis	-	3 – 8 bulan		12 – 15 bulan	12 – 18 bulan

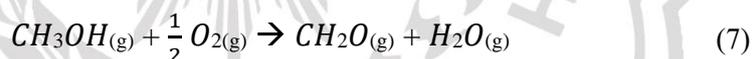
Berdasarkan data Tabel 1.5, proses yang dipilih dalam prarancangan pabrik formaldehid adalah *Metal Oxide Catalyst (Formox Process)* dengan pertimbangan :

- Suhu operasi proses tidak terlalu tinggi (300 – 400 °C) dibanding proses lain.
- Konversinya yang diperoleh 98% dengan *yield* formaldehid sebesar 94,4%.
- Tekanan yang digunakan atmosferik.
- Umur katalis lebih lama (12 – 18 bulan) dibandingkan proses lain.

1.3 Tinjauan Termodinamika

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 dituliskan di dalam persamaan (7).



Harga ΔH_f° 298 dari masing-masing komponen dapat dilihat pada Tabel 1.6 berikut.

Tabel 1.6. Nilai ΔH_f° 298 Tiap Komponen

Komponen	ΔH_f° 298 (kkal/gmol)
CH ₃ OH	-238,660
O ₂	0
CH ₂ O	-108,570
H ₂ O	-241,818

(Smith dan Van Ness, 2018)

Nilai ΔH_r° 298 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (8).

$$\Delta H^{\circ}_R \text{ 298} = \Delta H^{\circ}_f \text{ Produk} - \Delta H^{\circ}_f \text{ Reaktan} \quad (8)$$

$$\Delta H^{\circ}_R \text{ 298} = (\Delta H^{\circ}_f \text{ CH}_2\text{O} + \Delta H^{\circ}_f \text{ H}_2\text{O}) - (\Delta H^{\circ}_f \text{ CH}_3\text{OH} + \frac{1}{2} \Delta H^{\circ}_f \text{ O}_2)$$

$$\Delta H^{\circ}_R \text{ 298} = (-108,570 + (-241,818)) - (-238,660 + \frac{1}{2} (0))$$

$$\Delta H^{\circ}_R \text{ 298} = (-350,388) - (-238,660)$$

$$\Delta H^{\circ}_R \text{ 298} = -111,728 \text{ kJ/mol}$$

Harga $\Delta H^{\circ}_R \text{ 298}$ bernilai negatif, maka reaksi pembentukan formaldehid bersifat *eksotermis* atau menghasilkan panas selama reaksi berlangsung.

Energi Bebas Gibbs (ΔG°_f) digunakan untuk menentukan apakah reaksi berlangsung secara spontan, tidak spontan, atau berada dalam kesetimbangan. Jika nilai ΔG°_f adalah negatif maka reaksi dapat berjalan, jika bernilai positif maka reaksi tidak dapat berjalan, sedangkan jika ΔG°_f adalah nol maka reaksi bersifat spontan. Harga $\Delta H^{\circ}_f \text{ 298}$ Reaksi dan $\Delta G^{\circ}_f \text{ 298}$ Reaksi masing-masing komponen dapat dilihat pada Tabel 1.7.

Tabel 1.7. Nilai $\Delta G^{\circ}_f \text{ 298}$ Tiap Komponen

Komponen	$\Delta G^{\circ}_f \text{ 298}$ (kJ/mol)
CH ₃ OH	-161,960
O ₂	0,0
CH ₂ O	-102,530
H ₂ O	-228,572

(Smith dan Van Ness, 2018)

Nilai ΔG° dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (9).

$$\Delta G^{\circ} = \Delta G^{\circ} \text{ Produk} - \Delta G^{\circ} \text{ Reaktan} \quad (9)$$

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

$$\Delta G^{\circ} = (-102,530 + (-228,572)) - (-161,960 + \frac{1}{2} (0))$$

$$\Delta G^{\circ} = (-331,102) - (-161,960)$$

$$\Delta G^{\circ} = -169,142 \text{ kJ/mol}$$

Perhitungan harga konstanta kesetimbangan (K) dapat ditinjau dengan

menggunakan persamaan (11).

$$\Delta G^\circ = RT \ln K, \text{ Atau} \quad (10)$$

$$K = \exp^{-\left(\frac{\Delta G^\circ}{RT}\right)} \quad (11)$$

dengan,

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

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

T = Temperatur, K

K = Konstanta Kesetimbangan

(Smith dan Van Ness, 2018)

Dari persamaan (11) diatas dapat dihitung konstanta kesetimbangan pada $T_{\text{referensi}} = 298 \text{ K}$ dengan hasil sebagai berikut.

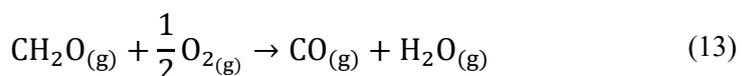
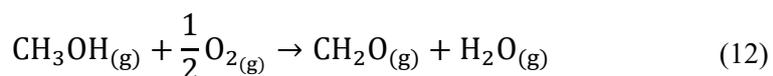
$$K = \exp^{-\left(\frac{-169,142}{0,008314 \times 298}\right)}$$

$$K = 4.4562 \times 10^{29} \rightarrow \text{nilai K sangat besar}$$

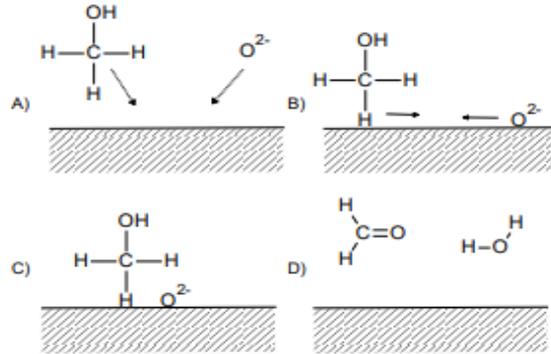
Dari perhitungan diatas harga $K > 1$ sehingga produk tidak dapat kembali menjadi reaktan sehingga dapat disimpulkan bahwa reaksi yang terjadi bersifat *irreversible*.

1.4 Tinjauan Kinetika

Tinjauan kinetika reaksi bertujuan untuk menentukan kecepatan reaksi oksidasi metanol menjadi formaldehid. Proses pembentukan formaldehid dengan menggunakan katalis *iron molybdenum oxide* (Fe/Mo/O) menghasilkan dua jenis reaksi yaitu konversi metanol menjadi formaldehid dan kelebihan oksigen bereaksi dengan formaldehid yang menghasilkan karbon monoksida. Reaksi dituliskan di dalam persamaan (12) dan (13).



Menurut Hadiano (2001), untuk menentukan kinetika reaksi bisa dilakukan pengembangan mekanisme reaksi dipersamaan (12) – (13) dengan menggunakan teori Langmuir-Hinshelwood yang diilustrasikan Gambar 1.9.



Gambar 1. 9. Mekanisme kinetika reaksi pembentukan formaldehid dengan model Langmuir-Hinshelwood

(UCL Centre for Cosmic Chemistry and Physics, 2022)

Gambar 1.9 menggambarkan mekanisme kinetika reaksi pada permukaan katalis. Metanol dalam fase uap dan udara menempel pada permukaan katalis (A). Partikel kemudian berdifusi terhadap satu sama lain di permukaan katalis (B) saat jarak antar partikel cukup dekat maka terjadi reaksi dan membentuk formaldehid (C). Formaldehid terdesorpsi dari permukaan katalis (D). Proses reaksi yang terjadi dituliskan dipersamaan (14) – (18).



Sedangkan untuk mekanisme pada reaksi samping dijabarkan di dalam persamaan (19) dan (20).



Beberapa peneliti seperti Machiels dan Sleight (1982), Chung dkk (1988), Busca (1988) dan Piccoli (1992) mengemukakan bahwa tahap penentuan laju kinetika berasal dari gugus metoksi dari gas hidrogen yang kemudian membentuk formaldehid pasca diabsorpsi di dalam menara absorpsi. Hasil percobaan yang dilakukan Michels dan Sleight (1982) dengan menggunakan metanol terdenurasi diperoleh laju kinetika reaksi pada permukaan sebagai pengontrolnya. Kinetika reaksi tersebut dinyatakan di dalam persamaan (21) dan (22).

$$r_1 = \frac{k_{sr1} K_M K_{O_2} \cdot P_M P_{O_2}^{0.5}}{(1 + K_M P_M + K_{O_2} P_{O_2}^{0.5} + K_F P_F + K_W P_W + K_{CO} P_{CO})^2} \quad (21)$$

$$r_2 = \frac{k_{sr2} K_F K_{O_2} \cdot P_F P_{O_2}^{0.5}}{(1 + K_M P_M + K_{O_2} P_{O_2}^{0.5} + K_F P_F + K_W P_W + K_{CO} P_{CO})^2} \quad (22)$$

Persamaan (21) dan (22) juga digunakan oleh Makertihartha (2001) untuk melakukan penelitian serupa dengan fraksi metanol sebagai umpan sebesar 6% vol., suhu feed 150 – 200°C dan kondisi operasi dalam reaktor 260 – 300 °C sehingga diperoleh data konstanta laju reaksi yang dinyatakan dalam persamaan (23) dan (24).

$$k_{sr1} = 1,1072 \times 10^{13} e^{-\left(\frac{32.745,79}{RT}\right)} \quad (23)$$

$$k_{sr2} = 2,0246 \times 10^6 e^{-\left(\frac{16.904,63}{RT}\right)} \quad (24)$$

Sedangkan nilai konstanta tiap komponen dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (25) – (29).

$$\ln(K_M) = \frac{1}{R} \left(\frac{7.306,924}{T} - 14,1401 \right) \quad (25)$$

$$\ln(K_{O_2}) = \frac{1}{R} \left(\frac{9.073,059}{T} - 14,7963 \right) \quad (26)$$

$$\ln(K_F) = \frac{1}{R} \left(\frac{21.469,994}{T} - 46,8856 \right) \quad (27)$$

$$\ln(K_W) = \frac{1}{R} \left(\frac{10.279,956}{T} - 11,4554 \right) \quad (28)$$

$$\ln(K_{CO}) = \frac{1}{R} \left(\frac{16.835,278}{T} - 45,5079 \right) \quad (29)$$