

BAB II
STUDI KELAYAKAN AWAL

2.1 Seleksi Proses

Dalam melakukan seleksi proses ini dilakukan dengan mempertimbangkan proses-proses yang dapat digunakan, berikut beberapa pemilihan proses:

2.1.1 Proses *pre-treatment*

Pre-treatment bahan baku berupa produksi hidrogen yang dilakukan sebelum memasuki reactor adalah proses elektrolisis air. Macam-macam proses elektrolisis air adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Perbandingan Proses Pre-Treatment Elektrolisis Air

Perbandingan	Elektrolisis alkali	Elektrolisis PEM	SOEC
Proses	KOH atau NaOH	Membrane	Oksida padat
Efisiensi energi	59-70%	65-82%	40-60%
Temperature	60-80°C	20-200°C	600-900°C
Kemurnian	99%	99,5%	99%
Aplikasi	Komersial	Near-term	Mediate-term
Kelebihan	Elektrolit dan elektroda lebih murah dan lebih banyak tersedia di pasaran namun tidak mempengaruhi performa sel elektrolisis, desain sel elektrolisis relatif sederhana,	Ramah lingkungan, efisiensi energi tinggi, desain lebih sederhana	Elektroda stabil secara termal dan kimia karena temperature operasi yang cukup tinggi
Kekurangan	Persiapan awal cukup lama dan laju pembentukan	Elektroda yang digunakan berasal dari logam mulia	Material elektroda mengalami

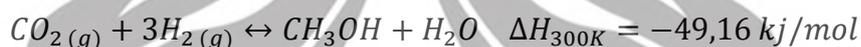
	hidrogen yang tidak cepat	sehingga biaya operasi mahal dan masa pakai terbatas	degradasi sehingga diperlukan perlakuan tambahan untuk memisahkan hidrogen dari uap air
--	---------------------------	--	---

(Chi, 2018)

Pre-treatment elektrolisis air untuk menghasilkan hidrogen yang dipilih adalah elektrolisis alkali dengan menggunakan larutan elektrolit KOH 25% berdasarkan pertimbangan pada kondisi operasi yang rendah sehingga tingkat keselamatan tinggi, biaya pembelian alat dan biaya operasi yang cukup murah, tingkat efisiensi energi yang tinggi dibandingkan SOEC dan kemurnian yang tinggi.

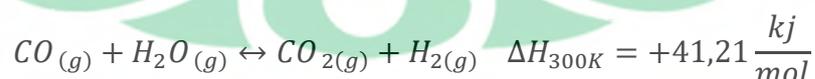
2.1.2 Proses sintesis metanol

Metanol dapat diproduksi dengan hidrogenasi karbondioksida dengan bantuan katalis. Reaksi sintesis metanol merupakan reaksi katalitik. Secara umum, reaksi sintesis metanol pada fase gas adalah sebagai berikut:



reaksi tersebut adalah reaksi eksotermis dan terjadi penurunan jumlah mol/volum. Agar dapat mencapai komversi kesetimbangan yang tinggi, maka diperlukan proses yang memiliki tekanan tinggi dan bersuhu rendah. Namun, reaksi ini terjadi atas bantuan katalis padat sehingga membutuhkan suhu yang tinggi agar kecepatan reaksi tinggi. Maka, diperlukan optimasi suhu agar didapatkan konversi yang optimal.

Reaksi lain yang dapat terjadi yaitu reaksi water gas shift:



Berikut beberapa proses pembuatan metanol:

- a. Proses sintesis metanol tekanan rendah -ICI

Proses ini menggunakan katalis berbasis Cu. Umpan yang digunakan berupa syngas yang mengandung karbon dioksida, karbon monoksida, hidrogen dan metana. Tekanan yang digunakan yaitu 50 atm dengan suhu operasi 270°C. reactor yang digunakan yaitu reactor jenis quench. Hasil dari reaksi berupa crude metanol yang mengandung air, dimetil eter, ester, besi karbonil dan alcohol. Hasil reaksi kemudian dipurifikasi dengan distilasi (Lee, 1990).

b. Proses sintesis metanol tekanan rendah -Lurgi

Suhu yang digunakan pada teknologi lurgi ini beroperasi pada kisaran 220-260 dengan tekanan 40-100 bar. Reaktor yang digunakan yaitu reaktor *quasi isothermal shell and tube*, reaksi produksi metanol terjadi di tube side dan air pendingin dialirkan pada *shell tube* (Lee, 1990).

c. Proses sintesis metanol tekanan rendah dan sedang – Mitshubishi Gas Chemical (MGC)

Pada proses ini, katalis yang digunakan yaitu tembaga (Cu) dengan tekanan berkisar 50-150 atm dan suhu 200-280°C. proses MGC menggunakan reaktor *double-walled tubes* yang katalisnya berada pada bagian anulus. Syngas dialirkan dengan pipa bagian dalam sedangkan bagian luar dialiri dengan air pendingin. Umpan yang digunakan pada proses MGC adalah hidrokarbon. Umpan tersebut sebelum memasuki steam reformer dihilangkan kandungan sulfurnya. Hasil keluaran steam reformer adalah karbon monoksida, karbon dioksida dan hidrogen (Lee, 1990).

d. Proses sintesis metanol tekanan sedang – Kellog

Proses ini menggunakan katalis tembaga yang bekerja pada kisaran suhu 200-280°C dengan tekanan 100-150 atm. Reaktor yang digunakan berbentuk bulat dan didalamnya berisi tumpukan katalis. Syngas sebagai umpan mengalir melalui bed reactor yang tersusun aksial berseri. Panas yang dihasilkan dikontrol dengan *intermediate coolers* (Lee, 1990).

e. Proses metanol tekanan sedang – Nissui Topsoe

Umpan yang digunakan berupa syngas. Syngas mengalir secara radial melalui katalis bed. Suhu operasi berkisar antara 200-310°C dengan tekanan diatas 150 bar. Reaktor yang digunakan memiliki tipe adiabatik dengan 3 aliran radial yang memiliki satu tumpukan katalis dan penukar panas internal (Lee, 1990).

f. Proses metanol tekanan rendah

CO₂ dan H₂ diumpungkan ke dalam *LOGIC reactor*. *LOGIC reactor* menggunakan prinsip internal gas circulation dimana reaktas gas masuk dan dikonversi di dalam reaktor, kemudian uap produk yang berbentuk gas dikondensasikan secara *in situ* di dalam reaktor sehingga produk yang dihasilkan berfase liquid. Tekanan yang digunakan pada proses ini yaitu dijaga 50 bar. Pada prosesnya, dua zona suhu dibuat di dalam reaktor untuk menggeser kesetimbangan kimia. Zona pertama yakni zona katalis yang beroperasi pada suhu 473–533 K untuk memastikan kinerja katalis yang optimal dimana di zona ini terjadi reaksi antara CO₂ dan H₂ menggunakan katalis Al₂O₃ yang berada di bagian bawah reaktor. Di zona kedua suhu diturunkan di bawah titik embun untuk mengembunkan produk sehingga keluaran dari reaktor berfase liquid yang berada di bagian atas reaktor.

Tabel 2. 2 kelebihan dan kekurangan macam-macam teknologi proses

teknologi	kelebihan	kekurangan
ICI	Teknologi konvensional dan paling banyak diterapkan	Efisiensi termal rendah, sering terjadi kerusakan katalis
Lurgi	Efisiensi termal dan selektivitas yang tinggi, suhu lebih stabil	Kapasitas produksi tidak terlalu besar
MGC	Profil suhu ideal, katalis yang dibutuhkan sedikit	Biaya reactor mahal dan rumit
Kellog	Kecepatan dan kapasitas produksi tinggi	Tingginya kondisi operasi, menurunkan selektivitas
Nissui Topsoe	Kecepatan dan kapasitas produksi tinggi	Tingginya kondisi operasi menurunkan selektivitas
LOGIC	Konversi dan kecepatan produksi tinggi, profil suhu ideal	Belum diterapkan dalam skala komersial

(Lee, 1990)

Teknologi proses yang digunakan yaitu *LOGIC reactor* karena memiliki tingkat konversi yang tinggi, kecepatan produksi tinggi dan kondisi operasi yang ideal. Namun memiliki kekurangan yaitu belum diterapkan dalam skala pabrik namun sudah terbukti dalam skala laboratorium. Hal ini menjadi tantangan dalam mendesain teknologi baru untuk memproduksi methanol.

2.2 Justifikasi Proses

2.2.1 Tahap Pre-treatment

Pada tahap ini bahan baku berupa CO₂ berasal dari *excess* produk PT Kaltim Parna Industri dan H₂ diperoleh dari proses elektrolisis air alkali menggunakan larutan KOH. Air untuk proses elektrolisis ini menggunakan air dari laut yang sudah melewati proses desalinasi dan demineralisasi. Elektrolisis merupakan penguraian elektrolit dalam sel elektrolisis oleh arus listrik. Air diuraikan dengan listrik dalam sel elektrolisis dan mengurai menjadi unsur-unsur pembentuknya. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Dari proses elektrolisis tersebut, pada bagian anode terbentuk gas oksigen dan pada katode terbentuk gas hidrogen. Gas-gas tersebut masih mengandung uap air sehingga dilakukan pemisahan menggunakan kondenser dan *flash drum*. Gas oksigen yang dihasilkan kemudian ditampung di dalam tangka penyimpanan sedangkan gas hidrogen digunakan dalam reaksi pada LOGIC reactor.

2.2.2 Tahap sintesis metanol

Sintesis metanol dengan metode hidrogenasi karbon dioksida menggunakan bahan baku berupa CO₂ dan H₂. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Proses produksi ini proses produksi tekanan tinggi dengan reactor LOGIC. Pada reaktor LOGIC, gas H₂ dan CO₂ masuk pada zona 1 yang merupakan zona katalis dan terjadi reaksi sintesis methanol. Suhu pada zona 1 yaitu 200°C dan tekanan 50 bar. Katalis yang digunakan yaitu CuO-ZnO-Al₂O₃. Koversi yang didapatkan yaitu 97%. Kemudian gas-gas pada zona 1, memasuki zona 2 yang merupakan zona kondenser yang merupakan tempat terjadinya kondensasi yang merubah fasa *condensable gas* menjadi cair yaitu berupa methanol dan air. Methanol dan air tersebut kemudian akan dipompakan ke tahap selanjutnya yang merupakan tahap pemurnian, sedangkan *uncondensable gas* berupa karbon dioksida dan hidrogen akan di-recycle ke zona katalis dan sebagian dan gas tersebut akan menjadi *purge gas* untuk menjaga tekanan dalam reaktor.

2.2.3 Tahap pemurnian

Hasil dari reaksi berupa campuran metanol dan air dipisahkan dengan metode distilasi. Proses distilasi digunakan untuk memisahkan komponen penyusun pada suatu campuran berdasarkan perbedaan titik didih atau perbedaan kemudahan menguap relatif berdasarkan komponen yang dipisahkan. Kondisi operasi yang digunakan yaitu pada tekanan 1,9 atm dan suhu 80°C. Dalam prosesnya, metanol sebagai produk atas karena memiliki titik didih yang lebih kecil dibandingkan air yaitu 64,7°C. Metanol yang menguap dalam proses distilasi berupa gas, kemudian dialirkan ke kondensor untuk mengubah fase menjadi liquid. Dihasilkan methanol dengan kemurnian 99,8% kemudian metanol yang telah dimurnikan disimpan dalam tangki metanol. Sedangkan air dari proses distilasi ini dapat di-recycle sebagai bahan baku produksi hidrogen pada proses elektrolisis air.

2.3 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

2.3.1 Spesifikasi bahan baku

1. Karbon Dioksida (CO₂)

Salah satu bahan baku utama dalam pembuatan metanol adalah karbon dioksida. Karbon dioksida didapatkan dari *excess product* PT Kaltim Parna Industri. Tabel berikut merupakan sifat fisis dari CO₂:

Tabel 2. 3 Sifat Fisika Karbon Dioksida

Parameter	Nilai/spesifikasi
Warna	Tidak berwarna
Bentuk	Gas
Suhu	30°C
Tekanan	1,27 Kg/cm ²
Kemurnian	99%
Impurities	1% (H ₂ O jenuh)

(Laporan kerja praktik PT.Kaltim Parna Industri)

Sifat kimia:

Gas karbon dioksida dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan asphyxiant. Dalam konsentrasi tinggi, CO₂ menyebabkan gejala sakit kepala, mual

dan muntah yang dapat menyebabkan pingsan. CO₂ dapat disimpan pada tempat tertutup di bawah 50°C yang berventilasi baik (Air Liquide, 2016).

2. Air Laut

Merupakan bahan baku yang digunakan untuk memproduksi gas H₂ melalui proses desalinasi, demineralisasi, dan elektrolisis:

Tabel 2. 4 Sifat Fisika Air Laut

Parameter	Nilai/spesifikasi
Massa Jenis	0,9982 gr/cm ³ (20°C)
Suhu	4 – 33 °C
pH	7,9– 8,3
Salinitas	30 – 33 %
Oksigen Terlarut	4– 6,4 mg/l

(Jurnal Ilmu Kelautan, 2018)

Sifat kimia

Secara umum air laut memiliki kandungan sebagai berikut.

1. unsur-unsur inorganik terlarut :
 - Cl, Na, SO₄, Mg, Ca, K (> 100 ppm)
 - Br, C, Sr, B, Si, F (1-100 ppm)
 - N, Li, Rb, I, Fe, Zn, dll (< 1 ppm)
2. Nutrien : Nitrat, Fosfat, Silikat
3. Gas Terlarut :
 - Gas utama : N₂, O₂, CO₂, H₂S
 - Gas lain : He, Ne, Ar, Xe

2.3.2 Spesifikasi bahan pendukung

1. Katalis CuO-ZnO- Al₂O₃

Tabel 2. 5 Sifat Fisika Katalis CuO-ZnO-Al₂O₃

Parameter	Nilai/spesifikasi
Warna	Putih
Bentuk	Solid
Diameter Partikel	5 mm
Diameter Pori	10 nm

<i>Catalyst bed voidage</i>	0,4
Densitas	1300 kg/m ³

(Martin, 2019)

Sifat kimia

Katalis CuO-ZnO- Al₂O₃ merupakan senyawa padatan dan berwarna putih. Senyawa CuO-ZnO- Al₂O₃ dapat menyebabkan iritasi pada mata dan kulit. Juga dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernafasan dan kerusakan pada paru-paru. CuO-ZnO- Al₂O₃ sebaiknya disimpan dalam wadah yang tertutup dan berventilasi baik (Lab chem, 2020).

2. Katalis kalium hidroksida

Kalium hidroksida (KOH) digunakan sebagai katalis atau pembuatan larutan elektrolit KOH yang digunakan untuk proses elektrolisis untuk menghasilkan hidrogen. Adapun spesifikasi kalium hidroksida yang digunakan yaitu:

Tabel 2. 6 Sifat Fisika Katalis KOH

Parameter	Nilai/spesifikasi
Warna	Putih
Bentuk	Solid
Berat molekul	56 g/mol
Titik didih	1320°C
Titik lebur	380°C
Densitas	1,05 gr/cm ³
Kadar	98%
Harga	\$785/ton

2.3.3 Spesifikasi produk

1. Metanol (CH₃OOH)

Metanol adalah hasil dari reaksi hidrogenasi karbon dioksida dan merupakan senyawa yang diinginkan. Berikut merupakan tabel sifat fisis dari 16ethanol:

www.itk.ac.id

Tabel 2. 7 Sifat Fisika Katalis Metanol

Parameter	Nilai/spesifikasi
Warna	Tidak berwarna
Bentuk	cair
Titik didih	64,7°C (Pada 1013 hPa)
Titik lebur	-97,8°C
Densitas (25C)	0,8 gr/l
Temperature kritis	240°C
Tekanan kritis	79547 hPa
Kemurnian	99,8%
Harga	\$550/ton

(Valtech, 2020)

Sifat kimia:

Metanol merupakan senyawa yang mudah terbakar. Dapat menyebabkan keracunan apabila tertelan, berkontak dengan kulit dan terhirup. Metanol dapat menyebabkan kerusakan pada organ tubuh. Metanol dapat disimpan di ruang dengan ventilasi yang cukup dan dalam kondisi dingin (Valtech, 2020)

2.3.4 Spesifikasi produk samping

1. Oksigen

Oksigen merupakan senyawa yang ikut dihasilkan dalam proses elektrolisis air. Berikut tabel sifat fisik dari oksigen:

Tabel 2. 8 Sifat Fisika Katalis Oksigen

Parameter	Nilai/spesifikasi
Warna	Tidak berwarna
Bentuk	Gas
Titik didih	-183°C
Titik lebur	-218,4°C
Temperature kritis	-118,15°C
Kemurnian	100%

(Airgas, 2018)

Sifat kimia:

Gas oksigen merupakan senyawa yang tidak berwarna. Gas oksigen ini dapat meningkatkan risiko api dan dapat membantu pembakaran. Kontak dengan bahan yang mudah terbakar dapat menyebabkan kebakaran. Pada kondisi tersebut, peningkatan tekanan akan terjadi dan dapat terjadi ledakan. Gas oksigen dapat disimpan di wadah tertutup dengan suhu tidak melebihi 52°C (Airgas, 2018).

