

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Metil alkohol atau yang lebih dikenal dengan sebutan metanol merupakan produk industri hulu petrokimia yang mempunyai rumus molekul  $\text{CH}_3\text{OH}$ . Metanol mempunyai berat molekul 32,043 g/mol dan berwujud cair pada suhu lingkungan dan tekanan atmosferis. Titik didih metanol sebesar  $64,7^\circ\text{C}$  dan titik leburnya sebesar  $-98,68^\circ\text{C}$ . Metanol mempunyai sifat mudah menguap, tidak berwarna, mudah terbakar, dan beracun dengan bau yang khas.

Metanol merupakan bahan kimia dasar yang banyak digunakan dalam berbagai industri sebagai senyawa *intermediate* yang menjadi bahan baku berbagai industri antara lain: industri asam asetat, formaldehid, *Methyl Tertier Butyl Ether* (MTBE), *polyvinyl*, *polyester*, *rubber*, resin sintetis, farmasi, *Dimethyl Ether* (DME), dan lain sebagainya. Untuk Indonesia sendiri, 80% pembeli metanol adalah industri formaldehid yang menghasilkan *adhesives* untuk *plywood* dan industri *wood processing* lainnya. (*Indonesian Commercial Newsletter*, 2010)

Metanol juga diproyeksikan sebagai bahan bakar alternatif masa depan karena memiliki bilangan oktan yang tinggi dengan pembakaran yang lebih sempurna sehingga gas karbon monoksida sebagai hasil samping reaksi utama yang dihasilkan semakin sedikit. Selain dapat digunakan sebagai bahan bakar langsung,

metanol dapat dikonversikan menjadi etilen atau propilen pada proses *Methyl-to-Olefins* (MTO) yang dapat menghasilkan *hydrocarbon fuels*. (Nonam Park *et al.*, 2014)

Pendirian pabrik metanol merupakan hal yang sangat menjanjikan dengan alasan:

1. Kebutuhan metanol yang sangat besar
2. Harga produk yang menarik (harga metanol sebesar \$0,9525 per kg dan harga produk samping gas oksigen sebesar \$0,8931 per kg)
3. Harga bahan baku yang murah (harga CO<sub>2</sub> sebesar \$0,4490 per kg dan harga H<sub>2</sub>O sebesar \$0 karena diambil langsung dari laut)

Atas pertimbangan tersebut, pembuatan pabrik metanol dengan bahan baku CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub> merupakan langkah yang strategis dan menarik untuk dikaji lebih lanjut.

### **1.1.1 Ketersediaan Bahan Baku CO<sub>2</sub>**

Dalam penyediaan bahan baku, gas CO<sub>2</sub> dibeli langsung dari PT. Roda Manunggal Inti (RMI). PT RMI merupakan perusahaan yang bergerak di bidang energi ramah lingkungan yang fokus dalam bidang *recycle* emisi Gas *Carbon Dioxide* (CO<sub>2</sub>), pengembangan pembangkit listrik tenaga panas bumi dan jasa pengeboran di Indonesia. Kegiatan usaha yang dilakukan oleh PT RMI saat ini, mendukung upaya untuk mengurangi pemanasan global yang sejalan dengan motto perusahaan yakni “*Clean & Renewable Energy*”.

Melalui anak perusahaannya, PT RMI Krakatau Karbonindo Nusantara, PT RMI menjadi penyedia utama purifikasi Gas *Carbon Dioxide* (CO<sub>2</sub>) pertama di Indonesia yang mengolah emisi gas CO<sub>2</sub> menjadi CO<sub>2</sub> murni dan telah memproduksi gas CO<sub>2</sub> dengan kapasitas 21 ton/jam yang berlokasi di Cilegon, Provinsi Banten. (Rohmad, 2009)

### **1.1.2 Kebutuhan Metanol**

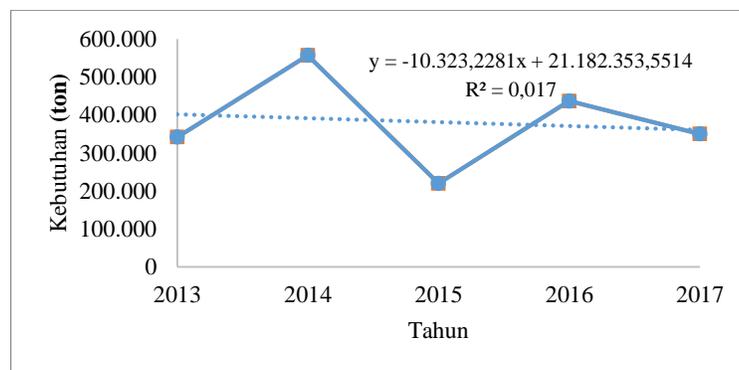
Saat ini Indonesia baru memiliki satu pabrik metanol yakni PT Kaltim Methanol Industri (PT KMI) (Airlangga Hartarto, 2016) dengan kapasitas terpasang sebesar 660.000 MTPY dan *Pure Methanol grade AA* (*purity min 99,85%*). Dalam prosesnya pabrik metanol ini menggunakan gas alam dari *Badak Gas Field Center* sebagai bahan baku. Produksi dari PT. Kaltim Methanol Industri telah dipasarkan berbagai wilayah Indonesia maupun luar negeri. Untuk pemasaran luar negeri dilakukan oleh *Sojitz Corporation* sebesar 70% (480.000 MT) dan sisanya 30% (180.000 MT) untuk wilayah Indonesia oleh PT. Humpuss. (Anonim, 2016)

Berikut data impor metanol di Indonesia dari tahun 2013 sampai tahun 2017 :

Tabel 1.1 Perkembangan Impor Metanol di Indonesia pada Tahun 2013 – 2017 ( Biro Pusat Statistik, 2018 )

Tahun	Kebutuhan Impor Metanol (ton/tahun)
2013	341.455,237
2014	557.361,725
2015	219.413,820
2016	436.987,818
2017	350.026,050

Dari tabel 1.1 kemudian dilakukan regresi linier untuk mendapatkan tren kenaikan impor metanol di Indonesia hingga didapatkan persamaan  $y = -10.323,2281x + 21.182.353,5514$ , dengan y adalah jumlah impor metanol pada tahun tertentu, sedangkan x adalah tahun.



Gambar 1.1 Perkembangan Impor Metanol di Indonesia pada Tahun 2013 – 2017

Dengan data kebutuhan impor tersebut, maka dapat diproyeksikan kebutuhan Metanol di masa yang akan datang :

Tabel 1.2 Proyeksi Kebutuhan Metanol tahun 2018-2024

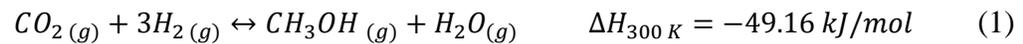
<b>Tahun</b>	<b>Kebutuhan Impor Metanol (ton/tahun)</b>
2018	350.079,246
2019	339.756,017
2020	329.432,789
2021	319.109,561
2022	308.786,333
2023	298.463,105
2024	288.139,877

Berdasarkan data statistik perdagangan luar negeri Indonesia, kebutuhan metanol di Indonesia cukup banyak. Dengan kapasitas produksi yang ada (180.000 ton/tahun metanol yang diproduksi PT KMI) masih belum bisa memenuhi seluruh kebutuhan metanol dalam negeri, sehingga menyebabkan adanya ketergantungan impor dari luar negeri.

Pentingnya metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) sebagai bahan baku untuk industri - industri lainnya, maka tujuan didirikan pabrik metanol ini adalah untuk memenuhi kebutuhan akan metanol di Indonesia serta menekan laju impor akan metanol tersebut. Pabrik akan beroperasi pada Tahun 2024, sehingga kapasitas yang dipilih sebesar 55.000 ton/tahun yaitu sekitar 51% dari kebutuhan dengan mempertimbangkan bahan baku yang tersedia.

## 1.2 Tinjauan Pustaka

Pada umumnya, metanol dapat diproduksi dari proses hidrogenasi karbon dioksida dengan bantuan katalis. Secara umum, reaksi sintesis metanol pada fase gas pada katalis berbasis Cu dapat disajikan sebagai berikut :



Reaksi diatas merupakan reaksi eksotermis dan terjadi penurunan jumlah mol atau volum. Untuk mencapai konversi kesetimbangan yang tinggi berdasar prinsip kesetimbangan, maka diinginkan proses yang memiliki tekanan tinggi dan bersuhu rendah. Namun di sisi lain, reaksi ini berlangsung atas bantuan katalis padat sehingga memerlukan suhu yang tinggi untuk mencapai kecepatan reaksi yang tinggi. Dengan demikian, diperlukan sebuah proses optimasi suhu demi mendapatkan konversi yang optimal.

Selain reaksi diatas, terdapat reaksi lain yang dapat terjadi yaitu reaksi *water-gas shift*:

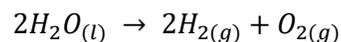


Pada sintesis metanol, pemilihan jenis katalis berperan penting dalam mempengaruhi kondisi operasi sintesis methanol. Masing-masing katalis memiliki aktivitas katalitik yang optimum pada kondisi tertentu, misal katalis Cu/Zn/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bekerja baik pada kondisi operasi suhu 180°C – 280°C dan tekanan 15 bar - 51 bar dimana dengan proses hidrogenasi karbon dioksida menggunakan katalis Cu/Zn/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> produk utama yang dihasilkan yaitu

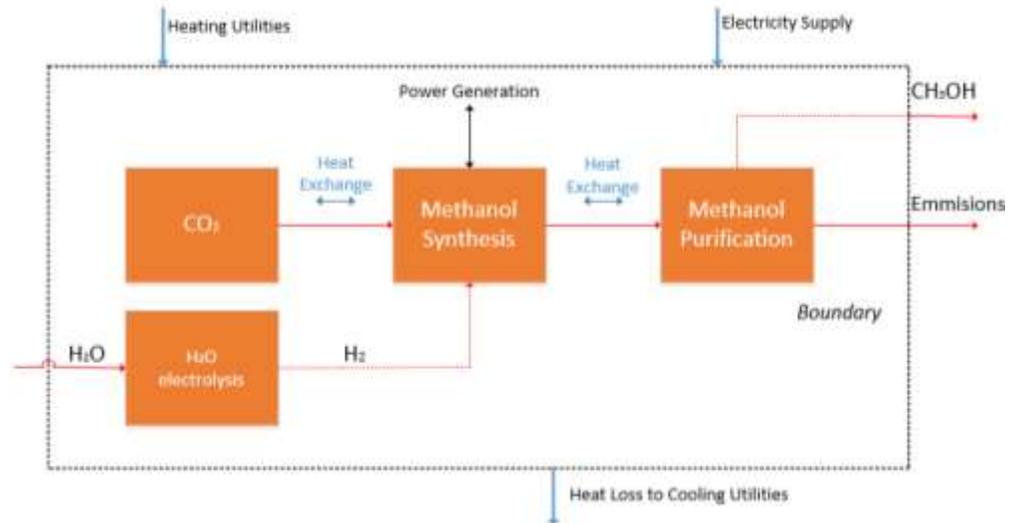
metanol, CO, dan air. Metan, dimetileter, dan metil formiat juga dihasilkan dari reaksi, tetapi selektivitas terhadap produk kurang dari 0,1%. (Saito *et al.*,1998) Berikut beberapa pemilihan proses dalam pembuatan metanol:

### **1.2.1 *Electrochemical Process***

Reaksi pembuatan metanol dari CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub> dimulai dengan pembuatan gas H<sub>2</sub> dari elektrolisis air. Elektrolisis air adalah peristiwa penguraian senyawa air menjadi gas O<sub>2</sub> dan gas H<sub>2</sub> dengan menggunakan arus listrik. Pada katoda, dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron, tereduksi menjadi gas H<sub>2</sub> dan ion hidroksida (OH<sup>-</sup>). Sementara itu pada anoda, dua molekul air lain terurai menjadi gas oksigen (O<sub>2</sub>), melepaskan 4 ion H<sup>+</sup> serta mengalirkan elektron ke katoda. Ion H<sup>+</sup> dan OH<sup>-</sup> selanjutnya mengalami netralisasi sehingga membentuk kembali beberapa molekul air. Reaksi keseluruhan yang setara dari elektrolisis air dapat dituliskan sebagai berikut.



Gas hidrogen yang dihasilkan dari elektrolisis dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan metanol. (Anonim, 2013) Sementara bahan baku lainnya, yaitu karbon dioksida dibeli langsung dari PT RMI Krakatau Karbonindo Nusantara.



Gambar 1.2 Produksi Metanol dengan *Electrochemical Process*

Pembuatan metanol dari *electrochemical process* yang menggunakan elektrolisis air untuk produksi H<sub>2</sub> masih jarang digunakan karena membutuhkan energi listrik yang tinggi. Tetapi, hasil dari unit elektrolisis tidak menimbulkan emisi dan juga menghasilkan produk samping berupa gas O<sub>2</sub>. Sehingga, penjualan dari gas O<sub>2</sub> dapat menutupi pengeluaran biaya listrik dari pabrik yang umumnya lebih banyak dipakai di unit elektrolisis.

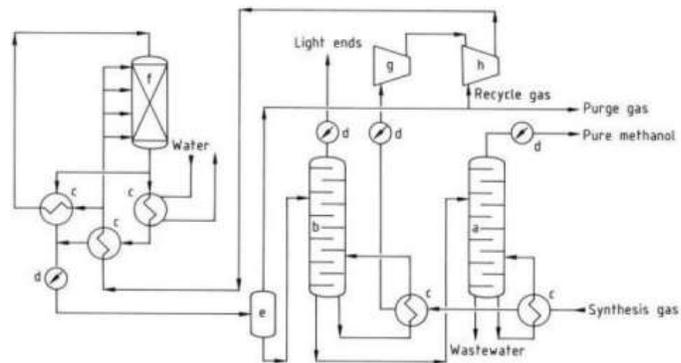
### 1.2.2 Teknologi Proses yang dibuat oleh Beberapa Perusahaan

#### a. Proses Sintesis Metanol Tekanan Rendah – ICI

Proses ini mulai dikembangkan pada tahun 1960 – an oleh perusahaan pengembangan proses *Imperial Industries, Ltd.* Proses

sintesis ini menggunakan tekanan rendah dengan katalis berbasis Cu. Penggunaan katalis Cu sudah dikembangkan pada tahun 1920 – an, tetapi penggunaan katalis tersebut belum digunakan dalam proses sintesis metanol pada saat itu. Hal tersebut dikarenakan katalis berbasis Cu dapat teracuni jika terdapat senyawa sulfur pada umpan reactor sehingga proses sintesis metanol tekanan rendah dengan katalis berbasis Cu dapat dikembangkan saat tersedia teknologi pemisahan sulfur dari *syngas*.

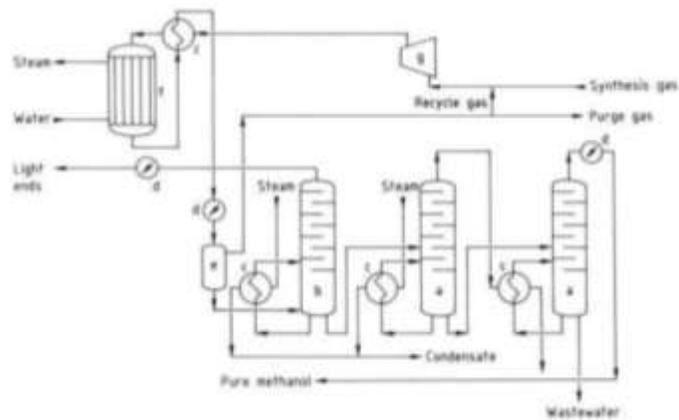
Proses ini menggunakan umpan *syngas* yang mengandung karbon monoksida, karbon dioksida, hidrogen, dan metana. Untuk mengatur rasio CO/H<sub>2</sub> digunakan *shift-converter*. Umpan kemudian dinaikkan tekanannya hingga 50 atm pada kompresor jenis sentrifugal, kemudian diumpankan ke dalam reaktor jenis *quench* pada suhu operasi 270°C. *Quench converter* berupa *single bed* yang mengandung katalis pendukung yang bersifat inert. Hasil reaksi berupa *crude methanol* yang mengandung air, dimetil eter, ester, besi karbonil, dan alkohol lain. Hasil reaksi tersebut kemudian didinginkan dan *crude methanol* dipurifikasi dengan cara distilasi. Dalam pengembangannya, karena dianggap kurang menguntungkan, ICI mengganti jenis reaktor yang digunakan dari *quench reactor* menjadi *tube* berpendingin yang pada prinsipnya sama dengan yang digunakan oleh Lurgi (Lee, 1990).



Gambar 1.3 Diagram Proses Sintesis Metanol Tekanan Rendah – ICI

b. Proses Sintesis Metanol Tekanan Rendah – Lurgi

Pada proses sintesis metanol dengan teknologi Lurgi, digunakan reaktor yang beroperasi pada kisaran suhu 220–260°C dan kisaran tekanan 40 – 100 bar. Desain reaktor berbeda dari pendahulunya, teknologi ICI. Pada teknologi Lurgi digunakan reaktor *quasi isothermal shell and tube*, reaksi metanol terjadi *di tube side* yang berisi katalis dan pada *shell side* dialirkan pendingin. Selain itu, pada teknologi ini, peranan reaktor juga sebagai pembangkit steam bertekanan 40-50 bar (Lee,1990).

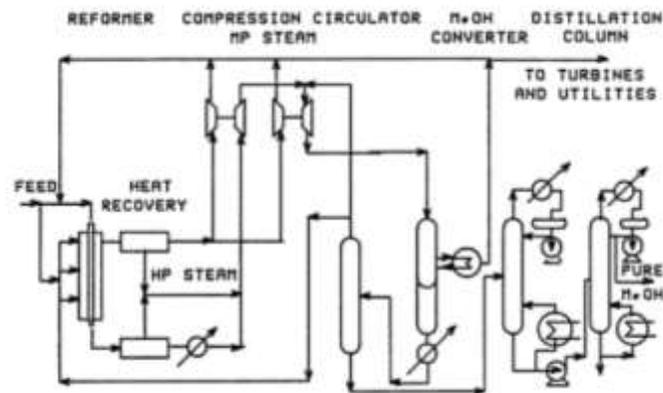


Gambar 1.4 Diagram Proses Sintesis Metanol Tekanan Rendah – Lurgi

c. Proses Sintesis Metanol Tekanan Rendah dan Sedang – Mitsubishi Gas Chemical (MGC)

Pada proses sintesis metanol dengan teknologi MGC, sintesis metanol masih menggunakan katalis berbasis tembaga (Cu) dengan kondisi operasi reaktor pada kisaran suhu 200–280°C dan kisaran tekanan 50 – 150 atm. Pada awalnya perusahaan Jepang ini menggunakan tekanan 150 atm, namun kemudian dikembangkan untuk tekanan kurang dari 100 atm. Proses MGC menggunakan reaktor dengan *double-walled tubes* dimana pada bagian anulus diisi dengan katalis. *Syngas* mengalir melalui pipa bagian dalam sedangkan pipa bagian luar dialiri oleh air pendingin (Ullmann,2005). Proses MGC menggunakan hidrokarbon sebagai umpan. Umpan dihilangkan kandungan sulfurnya sebelum masuk ke *steam reformer* yang beroperasi pada 500°C. Arus keluar dari *steam reformer* bersuhu 800 – 850°C dan

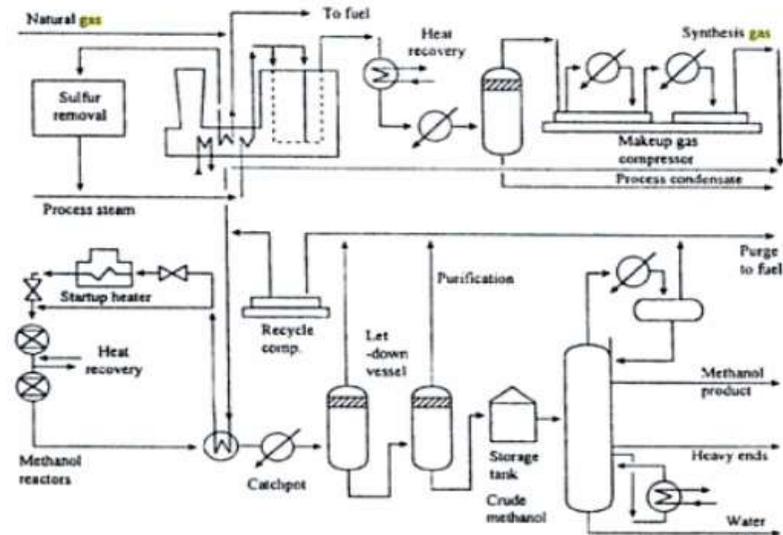
mengandung karbon monoksida, karbon dioksida, dan hidrogen. Selanjutnya *syngas* yang dihasilkan dinaikkan tekanannya dengan kompresor sentrifugal dan dicampur dengan arus *recycle* sebelum diumpankan ke dalam reaktor (Lee,1990).



Gambar 1.5 Diagram Proses Sintesis Metanol Tekanan Rendah/Sedang–MGC

d. Proses Sintesis Metanol Tekanan Sedang – Kellogg M.W.

Kellogg Co. memperkenalkan reaksi sintesis yang sangat berbeda, tetapi pada dasarnya merupakan reaktor tipe adiabatik. Reaktor berbentuk bulat dan didalamnya berisi tumpukan katalis. Gas sintesis mengalir melalui beberapa bed reaktor yang tersusun aksial berseri. Kebalikan dari proses ICI, panas reaksi yang dihasilkan dikontrol dengan *intermediate coolers*. Proses ini menggunakan katalis tembaga dan beroperasi pada rentang suhu 200-280°C serta tekanan 100-150 atm (Ullmann,2005)



Gambar 1.6 Diagram Proses Sintesis Metanol Tekanan Sedang – Kellogg

e. Proses Sintesis Metanol Tekanan Sedang –Nissui Topsoe

Skema reaktor dari proses Nissui Topsoe dari Denmark didesain oleh Nihin Suiso Kogyo of Japan. Reaktor yang digunakan bertipe adiabatik dengan aliran radial berjumlah tiga yang masing-masing memiliki satu tumpukan katalis dan penukar panas internal. Sintesis gas mengalir secara radial melalui katalis bed. Tekanan operasi dari proses ini diatas 150 bar dan suhu operasi 200-310°C. Produk pertama perlu didinginkan sebelum reaktor kedua,. Hasil pendinginan berupa uap (*steam*) bertekanan rendah. Katalis yang digunakan berupa Cu-Zn-Cr yang aktif pada 230-280°C dan 100-200 atm (Lee,1990).



Dari berbagai proses di atas, dipilih proses sintesis metanol menggunakan reaktor Lurgi (reaktor *fixed bed multitube*) dengan pertimbangan sebagai berikut :

a. Perpindahan Panas Baik

Dengan reaktor *multitube*, adanya *tube* akan memperluas bidang kontak antara reaktan dan media pendinginnya. Semakin luas bidang perpindahan panas, semakin cepat kecepatan perpindahan panasnya. Reaksi sintesis metanol merupakan reaksi eksotermis. Sehingga, perpindahan panas yang cepat diperlukan untuk mengontrol suhu reaksi sintesis metanol dengan baik.

b. Selektivitas Produk Tinggi

Pada proses ini digunakan katalis berbasis tembaga dengan pendukung berupa senyawa seng dan aluminium ( $\text{Cu/ZnO/Al}_2\text{O}_3$ ). Penggunaan katalis berbasis tembaga telah terbukti memiliki selektivitas tinggi terhadap produk metanol, sehingga mayoritas pabrik metanol saat ini menggunakan katalis tersebut.

c. Fabrikasi Reaktor Relatif Sederhana

Reaktor yang digunakan ini mirip dengan *heat exchanger* (HE) jenis *multitube*, yang merupakan alat yang umum digunakan di pabrik kimia. Dengan perkembangan teknologi pembuatan HE yang semakin maju, pembuatan reaktor dengan jenis ini relatif mudah dilakukan.

d. Kondisi Operasi Termasuk Kategori Rendah

Penggunaan jenis reaktor dan katalis pada proses Lurgi ini, kondisi operasi yang diperlukan tidak terlalu ekstrim ( $P < 100 \text{ atm}$ ,  $T < 300 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Sebagai pembandingan, proses sintesis metanol skala industri yang pertama kali didirikan (Proses BASF), memiliki tekanan operasi 300 atm dan dengan suhu yang ekstrim. Dengan kondisi operasi proses Lurgi, tebal alat yang dipakai cukup wajar, sehingga harga material reaktor relatif murah. Selain itu, kondisi operasi yang semakin rendah, berdampak pada *hazard* bawaan dari proses yang akan semakin rendah.

Dengan berbagai pertimbangan di atas, kami memutuskan untuk menerapkan proses produksi metanol yang menggunakan proses *electrochemical* untuk menghasilkan gas  $\text{H}_2$  dan  $\text{CO}_2$  hasil produksi dari PT. Roda Manunggal Inti (RMI). Dengan demikian, pasokan listrik untuk proses elektrolisis dapat diperoleh dari PLTU dengan pertimbangan:

1. Menciptakan pabrik yang ramah lingkungan.
2. Menawarkan opsi baru teknologi pembuatan metanol dalam skala industri dengan konsep elektrolisis.
3. Dengan harga metanol \$0,9525 per kg dan harga produk samping oksigen \$0,8931 per kg serta bahan baku  $\text{CO}_2$  \$0,4490 menjadikan pendirian pabrik metanol ini merupakan hal yang sangat menjanjikan.