

# BAB I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

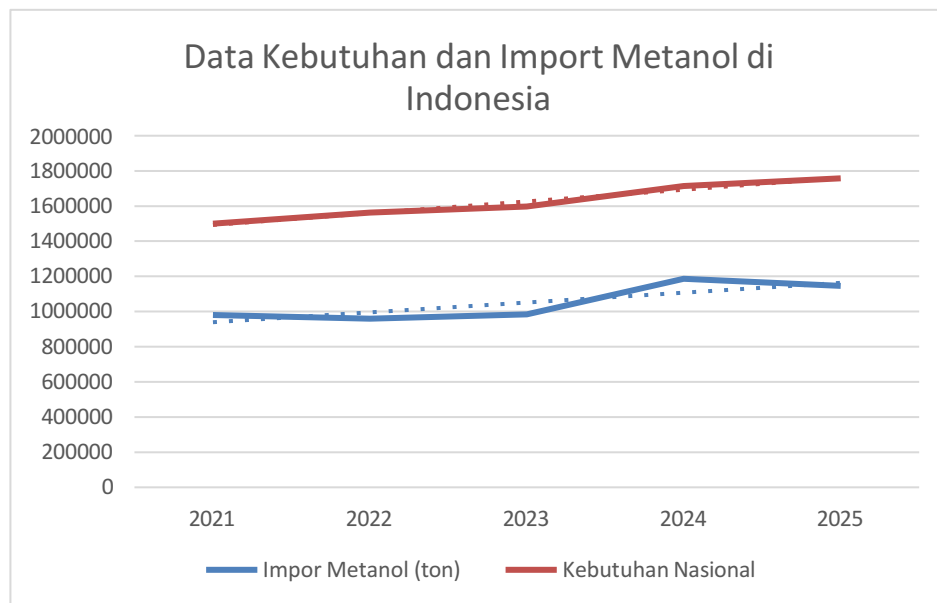
Pembangunan industri kimia memiliki fungsi krusial dalam mendukung perkembangan ekonomi nasional. Khususnya industri metanol menjadi salah satu sektor prioritas dalam *Roadmap Making Indonesia 4.0*. Industri metanol menempati posisi strategis pada sektor hilir karena berfungsi sebagai sumber bahan baku bagi berbagai proses di industri plastik, tekstil, farmasi, resin sintetis, insektisida, multipleks (*plywood*) dan lain-lain. Beragam produk turunan dapat diperoleh dari metanol, antara lain : *formaldehida*, MTBE (*methyl-tertiary butyl ether*), urea, serta digunakan sebagai bahan blending biodiesel. Metanol juga dapat diolah menjadi *Dimethyl Ether* (DME) yang berfungsi sebagai bahan bakar, dan saat ini menarik perhatian penelitian hidrogen sebagai pembawa energi (*energy carrier*) untuk mensuplai hidrogen pada sistem berbasis sel bahan bakar (Kemenperin, 2021).

Metanol dapat diproduksi dari bahan baku gas alam dan batubara. Pembuatan metanol dari gas alam yang mengandung  $\pm 88\%$  metana mampu menghasilkan metanol grade AA sesuai standar *International Methanol Producers and Consumers Association* (IMPCA). Selain itu, penggunaan gas alam dapat mengurangi ketergantungan pada sumber panas yang kurang ramah lingkungan dan mahal karena gas alam termasuk bahan bakar yang lebih bersih (intensitas karbon lebih rendah) dibandingkan batubara (Indonesia Investment, 2016)



Gambar 1. 1 Penyebaran Cadangan Gas Bumi Indonesia (ESDM, 2025)

Indonesia masuk peringkat ke-14 produsen *Natural Gas* terbesar di dunia tahun (Badan Informasi Panas AS EIA,2024) dan memproduksi kurang lebih dua kali lipat dari gas alam dari yang dikonsumsi. Pada 1 Januari 2025 Indonesia memiliki cadangan gas bumi sebanyak 55852 *billion standard cubic feet* (BSCF). Berdasarkan Neraca Gas Indonesia 2021-2030, Indonesia akan mampu memenuhi kebutuhan dalam negeri dari lapangan migas yang ada. Indonesia tahun 2030 juga diperkirakan akan mengalami surplus gas hingga 1715 juta standar kaki kubik per hari (MMSCFD) yang berasal dari beberapa proyek potensial (Migas ESDM,2022)..



**Gambar 1. 2 Data Kebutuhan dan Import Metanol di Indonesia**

*Roadmap Making Indonesia 4.0*, yang menjadikan biodiesel sebagai salah satu program mandatori nasional, berkontribusi terhadap peningkatan kebutuhan metanol sebagai bahan baku dalam produksi biodiesel. Awal periode biodiesel B20 tahun 2016, dilanjut periode biodiesel B30/B35 pada tahun 2021 hingga saat ini program Biodiesel B50 ditargetkan terealisasi tahun 2026. Program pemerintah mempengaruhi kebutuhan metanol terus meningkat sedangkan di Indonesia hanya ada satu pabrik yang memproduksi metanol dengan kapasitas produksi 660.000 *Tons Per Year* (TPY) yaitu PT. Kaltim Metanol Industri. Pada Gambar 1.2 diketahui angka kebutuhan metanol dari tahun 2021 hingga tahun 2025. Pada Tabel 1.1 kebutuhan metanol Indonesia tahun 2025 diperkirakan sekitar 2,3 juta TPY untuk mendukung program biodiesel campuran B50, estimasi kebutuhan metanol

untuk implementasi penuh B50 dari Dirjen EBTKE ESDM sebanyak 2,3 juta ton per tahun. Indonesia tahun 2025 melakukan impor metanol sebanyak 1640 *Tons Per Year* (TPY) untuk memenuhi permintaan pasar terhadap kebutuhan metanol domestik dan kebutuhan industri terkait metanol akan terus meningkat setiap tahunnya. Sehingga perlu dilakukan pengembangan industri metanol sebagai kontribusi untuk substitusi impor yang dapat meningkatkan pertumbuhan ekonomi nasional dan menekan defisit neraca perdagangan (Kementerian ESDM, 2025).

**Tabel 1. 1 Data Pemakaian Metanol di Indonesia tahun 2025**

| Sektor / Industri                  | Fungsi Metanol                     | Perkiraan Kebutuhan                                              |
|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Biodiesel (FAME B50)               | Bahan baku utama transesterifikasi | Sangat tinggi (mayoritas nasional ~2–2,3 jt ton) (ESDM, 2025)    |
| Formaldehida & resin               | Bahan baku kimia turunan           | Ratusan ribu ton (tergantung volume produksi) (UMS ETD-db, 2025) |
| Plastik / asam asetat / DME / MTBE | Bahan kimia dasar                  | Puluhan sampai ratusan ribu ton                                  |
| Migas / inhibitor / solvent        | Bahan proses                       | Ribuan ton                                                       |

Metanol dapat diproduksi menggunakan bahan baku gas alam dan batubara. Pembuatan metanol dari gas alam mampu menghasilkan produk metanol dengan grade AA (setara bahan bakar) berstandar *IMPCA*, sekaligus dapat mengurangi ketergantungan pada panas yang tidak ramah lingkungan dan mahal, hal ini dikarenakan gas alam adalah salah satu panas yang lebih bersih (intensitas karbon rendah) dibandingkan dengan batubara (Indonesia Investment, 2016).

Pada pabrik yang dirancang ini dilengkapi dengan *Carbon Capture Unit* (CCU) dalam upaya untuk mengurangi emisi sekaligus CO<sub>2</sub> yang ditangkap akan dijadikan sebagai tambahan feed untuk meningkatkan produksi metanol.

Sehingga perancangan pabrik metanol menjadi solusi yang tepat untuk meningkatkan produksi metanol di Indonesia yang akan memenuhi

kebutuhan metanol nasional, membantu memajukan industri hilir di Indonesia, mendukung upaya Indonesia dalam menanggulangi perubahan iklim dengan *Net Zero Emission* yang ditargetkan tercapai di tahun 2060 (Migas ESDM, 2021).

## 1.2 Tujuan

Tujuan dari pendirian pabrik metanol yang akan didirikan adalah sebagai berikut:

- a. Mengurangi ketergantungan *import* metanol.
- b. Mendukung berkembangnya industri dan pabrik yang menggunakan bahan baku *Flue gas*.
- c. Mendukung target *Net Zero Emission* pada tahun 2060 bagi pemerintah Indonesia untuk menanggulangi perubahan iklim.

## 1.3 Tinjauan Pustaka

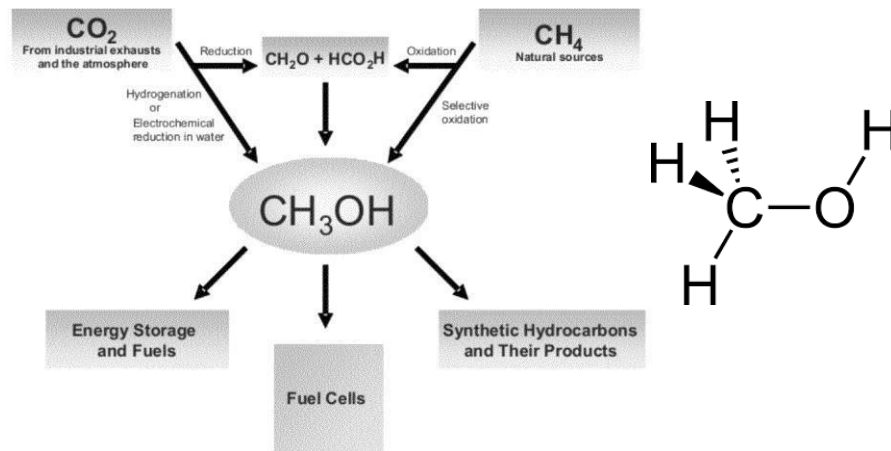
### 1.3.1 Metanol

Metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) adalah senyawa organik teroksigenasi cair yang paling sederhana, dengan berat molekul 32,042 g/mol. Metanol (metil alkohol) merupakan cairan tidak berwarna, larut dalam air dengan bau alkohol ringan, mudah disimpan dan diangkut. Metanol membeku pada suhu  $-97,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , mendidih pada  $64,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dan memiliki densitas 0,791 pada  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Pakash, 2012).

Umumnya, proses produksi metanol yaitu mereaksikan *synthesis gas* (campuran  $\text{H}_2$  dan  $\text{CO}$ ) menjadi metanol. Tergantung bahan baku yang digunakan, *synthesis gas* dapat dihasilkan dengan beberapa cara. Proses tersebut banyak digunakan untuk menghasilkan *synthetic gas* antara lain: gasifikasi batubara, proses *steam reforming* gas alam, dan pirolisis minyak berat (Salimy & Alimah, 2015).

Metanol dari bahan baku  $\text{C}_1$ , dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk pembakaran internal mesin dan *direct Methanol fuel cells* (DMFC). metanol dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar atau aditif, baik dalam sel bahan bakar atau melalui pembakaran, sebagai bahan baku dalam produksi bahan kimia dasar (misalnya formaldehida), dan bahan bakar cair

(misalnya, bensin, oksimetilen eter, bahan bakar jet), juga sebagai pelarut. Bahan bakar metanol saat ini menarik minat yang signifikan, terutama di Cina, di mana konsumsi metanol untuk aplikasi termal (misalnya, *boiler*, kiln, kompor memasak), di bagian transportasi sebesar 5,7 Mton per tahun 2019. Metanol juga digunakan sebagai aditif bahan bakar, prekursor untuk sintesis organik, dan yang paling penting adalah media untuk penyimpanan H<sub>2</sub> (12,6% berat H<sub>2</sub>) (Lacerda de Oliveira Campos dkk., 2022).



**Gambar 1. 3 Metanol (Prakash, 2012)**

**Tabel 1. 2 Properti Metanol**

| Keterangan                       | <i>Methyl Alcohol, Wood Alcohol</i> |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| Senyawa Kimia                    | CH <sub>3</sub> OH                  |
| Berat Molekul (g/mol)            | 32,04                               |
| Komposisi Senyawa (%)            |                                     |
| Karbon                           | 37,5                                |
| Hidrogen                         | 12,5                                |
| Oksigen                          | 50                                  |
| <i>Melting Point</i> (°C)        | -97,6                               |
| <i>Boiling Point</i> (°C)        | 64,6                                |
| <i>Density</i> pada 20 °C (kg/m) | 791                                 |

|                                          |        |
|------------------------------------------|--------|
| Kandungan Panas (kcal/kg)                | 5420   |
| (kcal/mol)                               | 173,6  |
| <i>Energy of vaporization</i> (kcal/mol) | 9,2    |
| <i>Flash Point</i> (°C)                  | 11     |
| <i>Autoignition temperature</i> (°C)     | 455    |
| <i>E/plosive limits in air</i> (%)       | 7 – 36 |

Sumber: (Olah, 2018)

### 1.3.2 Spesifikasi Produk *Methanol*

Produk metanol yang diharapkan dari *Methanol Plant* ini adalah metanol dengan grade AA yang memenuhi standar dan mutu dari *International Methanol Producers and Consumes Association (IMPCA)*, dengan spesifikasi sebagai berikut.

**Tabel 1. 3 Spesifikasi Metanol**

| No. | Karakteristik                                                           | Metode              | Spesifikasi                            |
|-----|-------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------------|
| 1.  | Kadar Aseton, mg/kg                                                     | <i>IMPCA</i> 001-14 | Maks. 30                               |
| 2.  | Keasaman (asam asetat), mg/kg                                           | ASTM D 1613-12      | Maks. 30                               |
| 3.  | Alkalinitas (NH <sub>3</sub> ), mg/kg                                   | ASTM D 1614-09      | Maks. 30                               |
| 4.  | <i>Appearance</i>                                                       | <i>IMPCA</i> 003-98 | Jernih, bebas dari zat tersuspensi     |
| 5.  | Zat yang dapat di karbonisasi (uji pencucian asam sulfat), Skala Pt- Co | ASTM E 346-08       | Maks. 30                               |
| 6.  | Klorida (Cl <sup>-</sup> ), mg/kg                                       | <i>IMPCA</i> 002-98 | Maks. 0,1                              |
| 7.  | Warna, Skala Pt-Co                                                      | ASTM D 1209-11      | Maks. 5                                |
| 8.  | Distilasi pada 760 mmHg, °C                                             | ASTM D 1078-11      | Maks. 1,0 °C<br>termasuk 64,6 ± 0,1 °C |
| 9.  | Kadar etanol, mg/kg                                                     | <i>IMPCA</i> 001-14 | Maks. 10                               |

|     |                                                |                     |                                     |
|-----|------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|
| 10. | Hidrokarbon                                    | ASTM D 1722-09      | <i>Pass test</i>                    |
| 11. | <i>Non-Volatile Matter</i> , mg/1000 mL        | ASTM D 1353-13      | Maks. 8                             |
| 12. | <i>Odour</i>                                   | ASTM D 1296-12      | Karakteristik, bebas dari bau asing |
| 13. | Uji Waktu Kalium Permanganat pada 15 °C, menit | ASTM D 1363-11      | Min. 60                             |
| 14. | <i>Spesific Gravity</i> , 20/20 °C             | ASTM D 4052-11      | 0,792-0,793                         |
| 15. | <i>Tri Methil Amine</i> , mg/kg                | ASTM E 346-08       | Maks. 0,05                          |
| 16. | Total <i>Iron</i> , mg/kg                      | ASTM E 394-09       | Maks. 0,1                           |
| 17. | <i>Water Content</i> , % wt                    | ASTM E 1064-12      | Maks. 0,1                           |
| 18. | <i>Sulfur</i> , mg/kg                          | ASTM E 1064-12      | Maks. 0,5                           |
| 19. | Kemurnian, % wt                                | <i>IMPCA</i> 001-14 | Min. 99,85                          |

Sumber: [kaltimmetanol.com/product.html](http://kaltimmetanol.com/product.html)

**Tabel 1. 4 Sifat Kimia dan Sifat Kimia Metanol**

| Sifat Kimia dan Sifat Fisika Metanol |                |
|--------------------------------------|----------------|
| Nama Bahan                           | Metanol        |
| Tampilan                             | Bersih         |
| Bau-bauan                            | Bau alkohol    |
| Ambang bau                           | 4.2-5960 ppm   |
| Titik lebur                          | -97,8°C        |
| Kisaran titik didih                  | Tidak tersedia |

| Sifat Kimia dan Sifat Fisika Metanol |                         |
|--------------------------------------|-------------------------|
| Tingkat penguapan                    | 4.1 (butil asetat = 1)  |
| Temperatur autosulutuan              | 464 °C                  |
| Batas bawah ledakan                  | 5.5 %                   |
| Batas atas ledakan                   | 36.5 %                  |
| Rapatan Uap (udara=1)                | 1.1 (@ 20 °C)           |
| Kelarutan air                        | Tidak tersedia          |
| Viskositas                           | 0.8 cP (20 °C, dinamis) |
| Solubilitas                          | Tidak tersedia          |
| Keadaan fisika                       | Cairan                  |
| Warna                                | Tidak berwarna          |
| kadar pH                             | Tidak berkenaan         |
| Titik didih                          | 64.6°C                  |
| Titik beku                           | -97,6°C                 |
| Flamabilitas                         | Tidak berkenaan         |
| Titik nyala                          | 11°C                    |
| Suhu dekomposisi                     | Tidak tersedia          |
| Tekanan uap                          | 12.8 kPa @20°C          |
| Gravitasi Spesifik                   | 792 kg/m <sup>3</sup>   |
| Koefisien partisi                    | -0,77                   |
| Viskositas, kinematik                | Tidak tersedia          |
| Kepadatan                            | 0,791-0,793             |

Sumber: Methanex

### 1.3.3 Sejarah Teknologi Proses Pabrik Metanol

Proses produksi metanol industri konvensional melalui gas sintesis. Sebagian besar proses komersial dioperasikan dalam fase gas menggunakan katalis berbasis tembaga. Perbedaan utama di antara proses produksi metanol adalah dalam desain reaktor dan pengaturan katalis. Kemurnian yang diinginkan dari metanol yang dihasilkan mempengaruhi konfigurasi distilasi dan bahan baku yang dipilih. Ketika mempertimbangkan proses yang diketahui untuk produksi metanol, produksi dan pemurnian gas sintesis sangat penting karena efek biaya secara menyeluruh (Basile & Dalena, 2018).

Saat ini, sekitar 90% metanol dihasilkan dari gas alam (Blug dkk., 2014). Alur proses untuk produksi metanol paling sederhana relatif mudah, melibatkan tiga langkah dasar berikut (Basile & Dalena, 2018):

- Produksi gas sintesis;
- Konversi *syngas* menjadi *crude* metanol;
- Distilasi (*crude* metanol) untuk mencapai kemurnian yang diinginkan.

Berikut beberapa teknologi proses yang dibuat oleh beberapa perusahaan: (Basile & Dalena, 2018)

- a. Proses Sintesis Metanol Tekanan Tinggi - BASF
- b. Proses Sintesis Metanol - ICI's 100 atm
- c. Proses Sintesis Metanol Tekanan Rendah - Haldor Topsoe A/S
- d. Proses Sintesis Metanol - Kvaerner
- e. Teknologi Sintesis Metanol - Krupp Uhde's
- f. Proses Sintesis Metanol - Lurgi
- g. Proses Syntex LPM Process
- h. Proses Sintesis Metanol – *Liquid Phase*

Proses Imperial Chemical Industries (ICI) merupakan landasan sejarah dalam bidang sintesis metanol, yang merupakan terobosan nyata menuju proses tekanan rendah untuk sintesis metanol. Pada awal tahun 1900-an, pencapaian sintesis metanol yang efisien dengan tekanan operasi yang lebih rendah masih sulit dilakukan karena laju reaksi kimia relatif lambat dan memerlukan peralatan dengan ukuran yang sangat besar. Dengan kemajuan teknologi dan pengembangan bahan maupun peralatan yang dirancang lebih

baik, penelitian selanjutnya berfokus pada pencarian sistem sintesis katalitik yang lebih aktif pada tekanan 100 atm (Basile & Dalena, 2018).

Berdasarkan kemajuan teknologi pada tahun 1960-an, *Imperial Chemical Industries* (ICI) mengusulkan sistem katalis  $\text{Cu/ZnO/Al}_2\text{O}_3$  yang mampu memastikan kinerja yang cukup baik pada suhu yang rendah. Pada tahun 2002 proses metanol tekanan rendah ICI diakuisisi oleh Johnson Matthey. Pada tahun 2003 sekitar 65% dari produksi metanol di dunia didasarkan pada proses tekanan rendah ICI. Proses ini ditandai dengan investasi yang lebih rendah dan biaya proses. Kondisi pengoperasian konverter berkisar antara 50-100 bar dan 240- 260°C. Skema proses sering dibagi menjadi dua bagian utama, yang pertama berfokus pada reformasi gas alam dan yang kedua pada konversi *syngas* menjadi metanol. Investasi modal untuk bagian manufaktur *syngas* biasanya lebih tinggi daripada sintesis metanol. Oleh karena itu, keuntungan pabrik terkait dengan integrasi panasnya yang efisien di antara unit-unit yang terlibat dalam dua tahap ini. Ekonomi proses global sangat bergantung pada *heat recovery* dan manajemen integrasi panas, serta skema *recycle*, pemurnian, dan pemisahan. Selain itu, masa pakai katalis memainkan peran penting dalam pemeliharaan dan peningkatan proses, sehingga secara langsung memengaruhi produktivitas pabrik. Teknologi proses yang digunakan pada pabrik ini, yaitu ICI karena sudah *proven* dan paling banyak digunakan pada industri metanol. Tabel 1.5 berikut merupakan beberapa teknologi proses sintesis metanol (Basile & Dalena, 2018):

**Tabel 1. 5 Teknologi Sintesis Metanol**

| No | Spesifikasi                                                   | Lurgi                                                                | Nissue Topsoe                                            | ICI                                         | MGS                                                    | Kellog                                                   |
|----|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 1. | Kondisi<br>Operasi:<br>-Tekanan (bar)<br>-Suhu (°C)           | 40-100<br>220-260                                                    | 100-200<br>200-310                                       | 50-100<br>240-260                           | 50-150<br>200-280                                      | 100-150<br>200-280                                       |
| 2. | Reaktor:<br>-Karakteristik<br>-Jumlah reaktor<br>-Pendinginan | <i>Shell &amp; tube</i><br>1<br>Air pendingin<br>( <i>on shell</i> ) | Adiabatis (radial)<br>3-4<br><i>Intermediete coolers</i> | <i>Quench</i><br>1<br><i>Cold quench</i>    | Annular<br>1<br>Air Pendingin<br>( <i>outer tube</i> ) | Adiabatis (aksial)<br>3-4<br><i>Intermediete coolers</i> |
| 3. | Kelebihan                                                     | Efisiensi termal dan selektivitas yang tinggi, suhu lebih stabil     | Kecepatan dan kapasitas produksi tinggi                  | Sudah terbukti yang paling banyak digunakan | Profil suhu ideal, katalis yang dibutuhkan sedikit     | Kecepatan dan kapasitas produksi tinggi                  |
| 4. | Kekurangan                                                    | Kapasitas produksi tidak terlalu besar                               | Tingginya kondisi operasi, menurunkan selektivitas       | Efisiensi termal rendah, kerusakan katalis  | Rumit, biaya reaktor mahal                             | Tingginya kondisi operasi, menurunkan selektivitas       |

Sumber: (Basile & Dalena, 2018)

Sintesis metanol pertama kali dilakukan dengan menggunakan katalis  $\text{ZnO/Cr}_2\text{O}_3$  yang dikembangkan oleh *Baden Aniline and Soda Factory* (BASF), dikenal dengan proses tekanan tinggi pada 250-350 bar dan suhu 300-400°C. Setelah itu *Imperial Chemical Industries* (ICI) memperkenalkan katalis berbasis tembaga ( $\text{Cu/ZnO/Al}_2\text{O}_3$ ). Keberadaan logam Cu dan Zn

berguna untuk meningkatkan keaktifan katalis sehingga memungkinkan berlangsungnya reaksi pada tekanan dan temperatur yang lebih rendah yaitu 50-100 bar dan 220-280°C.

Sebagian besar proses sintesis metanol beroperasi dalam fase gas dan menggunakan katalis berbasis tembaga. Secara khusus, katalis yang paling umum digunakan dalam industri produksi metanol tekanan rendah adalah formulasi CuO/ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan komposisi tergantung pada pabriknya. Kandungan CuO berkisar antara 20 dan 80% berat, sedangkan ZnO bervariasi dari 15 hingga 50% berat, kandungan alumina antara 4 dan 30% berat. Cu biasanya dianggap sebagai situs aktif, sedangkan sejumlah kecil atom Zn direduksi dari ZnO dan didekorasi pada nanopartikel Cu pada antarmuka. ICI mampu menghasilkan metanol pada tekanan sekitar 5 MPa (Basile & Dalena, 2018).

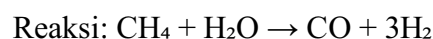
#### **1.4 Pemilihan Proses**

Pabrik metanol modern merupakan unit proses terintegrasi yang mengkonversi hidrokarbon (misalnya gas alam) serta CO<sub>2</sub> (misalnya dari *Flue gas*) menjadi metanol melalui serangkaian reaksi kimia yang meliputi *reforming*, konversi *syngas*, dan sintesis metanol. Pemilihan teknologi proses yang tepat sangat penting untuk memenuhi kriteria efisiensi, produktivitas, operasi yang andal, serta dampak lingkungan dan keselamatan kerja. Pada sub-bab ini dibahas perbandingan berbagai opsi teknologi termasuk aspek teknis proses, kondisi operasi, dan pertimbangan lingkungan/keselamatan untuk unit *reforming* (*steam reforming*, *dry reforming* dan *bi-reforming*) serta *Methanol synthesis*.

##### **1.4.1 Pemilihan *Reforming***

*Reforming* bertujuan menghasilkan *syngas* (campuran CO dan H<sub>2</sub>) yang kemudian disintesis menjadi metanol. Ada tiga opsi yang digunakan untuk pemilihan *reforming*:

##### **1. *Steam Reforming***



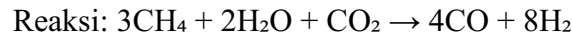
Teknologi yang paling matang secara komersial sejak dekade 1950-an.

2. *Dry Reforming*



Menggunakan  $\text{CO}_2$  langsung sebagai reagen.

3. *Bi-Reforming* (kombinasi *Steam Reforming* dan *Dry Reforming*)



Menyeimbangkan rasio  $\text{H}_2/\text{CO}$  untuk keperluan sintesis metanol

**1.4.1.1 Aspek Teknis Proses**

1. *Steam Reforming*:

- Teknologi paling mapan dengan banyak referensi industri.
- Produktivitas  $\text{H}_2$  tinggi karena reaksi menghasilkan 3 mol  $\text{H}_2$  per mol  $\text{CH}_4$ .
- Membutuhkan *steam* berlebih (*Steam/Carbon* ratio tinggi) untuk mencegah pembentukan coke.
- Sangat endotermik, sehingga memerlukan *furnace* eksternal dengan konsumsi panas besar.

2. *Dry Reforming*:

- Menggunakan  $\text{CO}_2$  sebagai salah satu reagen, sehingga mengurangi jejak karbon.
- Cenderung menghasilkan rasio  $\text{H}_2/\text{CO}$  rendah ( $\sim 1$ ) yang kurang ideal untuk sintesis metanol langsung.
- Rawan coking tanpa dukungan katalis yang tepat.

3. *Bi-Reforming*

- Menggabungkan kelebihan *Steam Reforming* dan *Dry Reforming* untuk menghasilkan *syngas* dengan rasio  $\text{H}_2/\text{CO}$  mendekati 2, persis kebutuhan sintesis metanol.
- Cocok dengan feedstock yang mengandung  $\text{CO}_2$  tinggi seperti *Flue gas* hasil carbon capture.
- Menurunkan kebutuhan *steam* relatif terhadap *steam reforming* saja.

Dalam konteks penggunaan feedstock *Flue gas* dari *carbon capture* yang mengandung  $\text{CO}_2$ , *bi-reforming* memiliki keunggulan teknis karena menghasilkan *syngas* yang lebih seimbang dan mengurangi beban *steam*

sekaligus memanfaatkan CO<sub>2</sub> sebagai reagen.

#### 1.4.1.2 Aspek Kondisi Operasi

1. *Steam Reforming*

Temperatur operasi umumnya 800–900 °C, tekanan 20–30 bar.

High *steam*/CH<sub>4</sub> ratio ( $\geq 2.5$ ) diperlukan untuk mengurangi *coke*.

2. *Dry Reforming*

Temperatur lebih tinggi: 850–950 °C, tekanan lebih rendah (1–10 bar).

Rawan *coke* tanpa catalyst promoter.

3. *Bi-Reforming*

Temperatur operasi 850–900 °C, tekanan 20–30 bar untuk integrasi langsung dengan loop sintesis metanol.

Rasio CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> dan *steam*/CH<sub>4</sub> dipilih sedemikian sehingga rasio *syngas* (H<sub>2</sub>/CO) mendekati 2.

*Bi-reforming* memberikan kombinasi tekanan tinggi dan rasio H<sub>2</sub>/CO yang unggul untuk produksi metanol, sedangkan *dry reforming* lebih cocok untuk *syngas* produksi rendah tekanan atau jika tujuan utama adalah pemanfaatan CO<sub>2</sub> tanpa mempertimbangkan integrasi tekanan tinggi.

#### 1.4.1.3 Aspek Lingkungan dan Keselamatan

1. *Steam Reforming*:

- Membutuhkan panas eksternal tinggi → emisi CO<sub>2</sub> jika sumber panas tidak bersih.
- Penanganan *steam* bertekanan tinggi menuntut proteksi terhadap *equipment failure*.

2. *Dry Reforming*:

- Memanfaatkan CO<sub>2</sub> *feedstock* → potensi penurunan jejak karbon.
- Rawan pembentukan *coke* → potensi hotspot dan kerusakan katalis → harus ada kontrol operasi ketat.

3. *Bi-Reforming*:

- Integrasi CO<sub>2</sub> dan *steam* mengurangi emisi relatif karena penggunaan CO<sub>2</sub> *feedstock* secara produktif.
- Kontrol temperatur dan distribusi gas penting untuk keamanan

operasional karena panas reaksi tinggi.

Dari sisi lingkungan, proses yang memanfaatkan CO<sub>2</sub> sebagai reagen (*dry reforming* dan *bi-reforming*) unggul di atas *steam reforming* murni. Dari sisi keselamatan operasional, *bi-reforming* sedikit lebih kompleks tetapi risiko coking lebih rendah dibanding *dry reforming*, sekaligus memberikan profil gas yang optimal untuk sintesis metanol.

#### 1.4.2 Pemilihan Sintesis Metanol

Beberapa konfigurasi reaktor sintesis metanol yang umum digunakan:

1. Reaktor piston / *fixed bed* dengan *bed catalyst* Cu/ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (teknologi konvensional industri)
2. Reaktor *slurry* / *multi-tubular* dengan katalis serbuk
3. Reaktor bifase atau *membrane reactor* (riset / pilot)

##### 1.4.2.1 Aspek Teknis Proses

- Katalis Cu/ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> adalah yang paling banyak diterapkan karena memiliki aktivitas tinggi pada suhu moderat.
- Reaksi sintesis metanol ( $4\text{CO} + 8\text{H}_2 \rightarrow 4\text{CH}_3\text{OH}$ ) eksotermik, sehingga kontrol suhu diperlukan untuk menghindari deactivation katalis.

Berikut operasi tipikal sintesis metanol:

- Temperatur operasi: 220–270 °C
- Tekanan operasi: 50–80 bar
- Rasio H<sub>2</sub>/CO ideal: 2–2.2

##### 1.4.2.2 Aspek Kondisi Operasi

**Tabel 1. 6 Kondisi Operasi Sintesis Metanol**

| Parameter         | Rentang                               |
|-------------------|---------------------------------------|
| Temperatur        | 220–270 °C                            |
| Tekanan           | 50–80 bar                             |
| Catalyst          | Cu/ZnO/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| Feed syngas ideal | H <sub>2</sub> /CO $\approx$ 2        |

Proses ini dirancang untuk mengoptimalkan konversi metanol per *pass*, meminimalkan kebutuhan recycle dan memaksimalkan umur katalis.

##### 1.4.2.3 Aspek Lingkungan dan Keselamatan

- Tekanan tinggi → potensi risiko kebocoran dan kerusakan seal, sehingga unit ini memerlukan sistem proteksi tekanan dan inspeksi berkala.
- Katalis  $\text{Cu/ZnO/Al}_2\text{O}_3$  relatif aman dibanding katalis berbasis nikel (yang toxic jika terhirup).
- Proses eksotermik → memerlukan heat removal system yang baik agar tidak terjadi run-away reaction.

**Tabel 1. 7 Perbandingan Singkat Aspek Teknis, Operasi, Lingkungan/Keselamatan**

| Aspek             | <i>Steam Reforming</i>        | <i>Dry Reforming</i>      | <i>Bi-Reforming</i>                  | <i>Methanol Synthesis</i>   |
|-------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| <b>Teknis</b>     | MAPAN, efisien $\text{H}_2$   | $\text{CO}_2$ utilization | <i>Syngas</i> optimal                | Metanol <i>yield</i> tinggi |
| <b>Operasi</b>    | T tinggi, banyak <i>steam</i> | T sangat tinggi           | Tekanan tinggi, moderat <i>steam</i> | Tekanan tinggi, suhu mod    |
| <b>Lingkungan</b> | Beban panas besar             | $\text{CO}_2$ sink rendah | $\text{CO}_2$ utilization            | Emisi rendah                |
| <b>Safety</b>     | <i>Steam/heat risk</i>        | <i>Coke risk</i>          | <i>Comple/control</i>                | High pressure risk          |

#### **Pemilihan Teknologi Proses:**

Berdasarkan kajian aspek teknis, kondisi operasi, serta aspek lingkungan/keselamatan, pilihan teknologi yang paling sesuai untuk pabrik metanol yang memanfaatkan *Flue gas* dan gas alam adalah:

##### **1. *Bi-Reforming***

- Mengoptimalkan pemanfaatan  $\text{CO}_2$  dari *Flue gas*
- Menghasilkan *syngas* dengan rasio  $\text{H}_2/\text{CO}$  yang cocok ( $\approx 2$ )
- Efisien panas relatif terhadap *steam reforming* murni

##### **2. *Methanol Synthesis* dengan katalis $\text{Cu/ZnO/Al}_2\text{O}_3$**

- Teknologi industri mapan
- Kondisi operasi moderate dan aman

- Konversi metanol tinggi dalam sistem *reaktor fi/ed bed* atau *multi-tubular*

Pemilihan proses *reforming* dan sintesis metanol dalam perancangan pabrik metanol didasarkan atas keseimbangan antara efisiensi teknis, kondisi operasi yang aman dan stabil, serta dampak lingkungan yang minimal. *Bi-reforming* dengan katalis Ni/CeO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dipilih sebagai unit *reforming* utama karena kemampuan integrasi CO<sub>2</sub> dari *Flue gas* dan menghasilkan *syngas* yang sesuai kebutuhan sintesis metanol. Selanjutnya, proses sintesis metanol menggunakan katalis Cu/ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan operasi pada tekanan dan suhu moderat untuk menghasilkan produk metanol berkualitas dengan produktivitas tinggi.

#### 1.4.3 Analisis Perbandingan dan Pembobotan Pemilihan Proses

Penentuan teknologi pembentukan gas sintesis (*syngas*) sebagai bahan baku produksi metanol dilakukan melalui analisis komparatif antara beberapa teknologi *reforming* yang umum digunakan di industri, yaitu *Steam Reforming*, *Dry Reforming*, dan *Bi-Reforming*. Ketiga teknologi tersebut memiliki karakteristik berbeda dalam hal sumber reaktan, rasio gas sintesis yang dihasilkan, serta kebutuhan energi proses.

Metode evaluasi dilakukan menggunakan matriks pembobotan kuantitatif yang diklasifikasikan ke dalam tiga parameter utama, yaitu aspek teknis proses, kondisi operasi, serta aspek lingkungan dan keselamatan. Pembobotan ditentukan berdasarkan tingkat kepentingan masing-masing parameter terhadap keberhasilan operasi pabrik metanol secara keseluruhan.

##### a) Aspek Teknis Proses (*Process Technicality*) – Bobot 0,50

Aspek teknis proses diberikan bobot terbesar yaitu 50%, karena keberhasilan proses *reforming* sangat menentukan kualitas gas sintesis yang dihasilkan untuk tahap sintesis metanol. Gas sintesis yang digunakan dalam produksi metanol harus memiliki rasio stoikiometri (H<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>)/(CO+CO<sub>2</sub>) mendekati 2, sehingga mampu menghasilkan konversi metanol yang optimal pada reaktor sintesis (Towler & Sinnott, 2021).

Selain itu, stabilitas operasi *reformer* serta ketahanan katalis terhadap

pembentukan karbon (*coking*) juga menjadi faktor penting dalam menentukan keberlanjutan operasi pabrik. Proses reforming yang tidak stabil dapat menyebabkan penurunan aktivitas katalis serta peningkatan biaya operasional akibat kebutuhan regenerasi katalis yang lebih sering.

Sub-kriteria yang dievaluasi pada parameter ini meliputi kesesuaian bahan baku dengan teknologi *reforming*, kemampuan menghasilkan rasio *syngas* yang sesuai untuk sintesis metanol, stabilitas katalis selama operasi, serta tingkat kematangan teknologi yang telah terbukti secara komersial di industri (Rostrup-Nielsen, 2011).

Dalam konteks prarancangan pabrik ini, aspek teknis menjadi prioritas utama karena gas sintesis yang dihasilkan harus memenuhi spesifikasi komposisi tertentu agar proses sintesis metanol dapat berlangsung secara optimal dan efisien.

b) Kondisi Operasi (*Operating Conditions*) – Bobot 0,20

Parameter kondisi operasi diberikan bobot 20% karena berkaitan dengan kebutuhan energi proses, spesifikasi material konstruksi peralatan, serta biaya utilitas yang diperlukan selama operasi pabrik. Proses *reforming* umumnya berlangsung pada temperatur tinggi (700–1000°C) dan tekanan menengah hingga tinggi, sehingga memerlukan sistem pemanasan yang besar serta material peralatan yang mampu menahan kondisi ekstrem tersebut (Towler & Sinnott, 2021).

Perbedaan kondisi operasi antar teknologi *reforming* akan mempengaruhi kebutuhan energi pemanasan, efisiensi termal proses, serta ukuran peralatan yang digunakan. *Steam reforming*, misalnya, memerlukan energi panas yang cukup besar untuk mempertahankan reaksi endotermik pada suhu tinggi. Sementara itu, *dry reforming* juga berlangsung pada temperatur tinggi namun memiliki kecenderungan pembentukan karbon yang lebih besar pada katalis.

Meskipun efisiensi energi penting dalam desain pabrik, parameter ini tetap ditempatkan di bawah aspek teknis karena keberhasilan produksi metanol sangat bergantung pada kualitas gas sintesis yang dihasilkan.

c) Aspek Lingkungan dan Keselamatan (*Environment & Safety*) – Bobot

0,30

Parameter lingkungan dan keselamatan diberikan bobot 30% karena semakin ketatnya regulasi industri terhadap emisi gas rumah kaca dan keselamatan proses. Evaluasi pada aspek ini difokuskan pada kemampuan proses dalam mengurangi emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), potensi pembentukan limbah atau produk samping yang berbahaya, serta risiko keselamatan akibat kondisi operasi suhu tinggi dan penggunaan gas mudah terbakar seperti hidrogen dan karbon monoksida (Speight, 2019).

Pemanfaatan CO<sub>2</sub> sebagai bahan baku dalam proses reforming menjadi salah satu faktor penting dalam evaluasi aspek lingkungan, karena dapat mendukung konsep pengurangan emisi karbon dan peningkatan efisiensi pemanfaatan sumber daya. Teknologi yang mampu memanfaatkan CO<sub>2</sub> secara langsung akan memberikan keuntungan tambahan dari sisi keberlanjutan lingkungan.

Selain itu, faktor keselamatan juga dipertimbangkan karena proses *reforming* melibatkan gas mudah terbakar serta kondisi operasi temperatur tinggi yang memerlukan sistem pengendalian proses dan proteksi keselamatan yang memadai.

**Tabel 1. 8 Analisis Perbandingan dan Pembobotan Pemilihan Proses**

| Aspek Penilaian                      | Parameter Evaluasi                                                                    | Bobot | Skor <i>Steam Reforming</i> | Skor <i>Dry Reforming</i> | Skor <i>Bi-Reforming</i> |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|
| <b>1. Aspek Teknis Proses (0,50)</b> |                                                                                       |       |                             |                           |                          |
| Kesesuaian Bahan Baku                | Gas alam sangat cocok sebagai feed utama dan teknologi telah mapan.                   | 0,10  | 90                          | 75                        | 85                       |
| Pemanfaatan CO <sub>2</sub>          | Tidak memanfaatkan CO <sub>2</sub> secara langsung dalam reaksi utama.                | 0,10  | 60                          | 90                        | 95                       |
| Rasio Syngas (H <sub>2</sub> /CO)    | Rasio H <sub>2</sub> tinggi (~3) sehingga perlu penyesuaian sebelum sintesis metanol. | 0,10  | 75                          | 65                        | 95                       |
| Stabilitas Katalis / Coking          | Risiko coking relatif rendah karena adanya steam berlebih.                            | 0,10  | 85                          | 60                        | 80                       |
| Kematangan Teknologi                 | Teknologi sangat matang dan banyak diterapkan secara industri.                        | 0,10  | 95                          | 70                        | 85                       |
| <b>2. Kondisi Operasi (0,20)</b>     |                                                                                       |       |                             |                           |                          |
| Temperatur Operasi                   | Beroperasi pada suhu tinggi 800–900°C dengan kebutuhan panas besar.                   | 0,10  | 75                          | 65                        | 80                       |

|                                                   |                                                                                                   |            |             |             |             |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| Tekanan Operasi                                   | Beroperasi pada tekanan menengah 20–30 bar sehingga mudah diintegrasikan dengan sintesis metanol. | 0,10       | 85          | 65          | 90          |
| <b>3. Aspek Lingkungan dan Keselamatan (0,30)</b> |                                                                                                   |            |             |             |             |
| Emisi Karbon                                      | Emisi CO <sub>2</sub> relatif tinggi karena kebutuhan panas furnace besar.                        | 0,15       | 65          | 80          | 90          |
| Risiko Operasi                                    | Risiko coking rendah namun membutuhkan pengendalian furnace dan steam tekanan tinggi.             | 0,10       | 80          | 65          | 75          |
| Efisiensi Energi                                  | Konsumsi energi relatif tinggi akibat kebutuhan steam dan furnace.                                | 0,05       | 70          | 75          | 85          |
| <b>TOTAL (<math>\sum(W_i \times S_i)</math>)</b>  |                                                                                                   | <b>1,0</b> | <b>78,5</b> | <b>71,0</b> | <b>87,5</b> |
| Kategori Penilaian                                | 0–25 = Kurang,<br>26–50 = Cukup,<br>51–75 = Baik,<br>76–100 = Sangat Baik                         |            | Sangat Baik | Baik        | Sangat Baik |

## 1.5 Kapasitas Produksi

Penentuan kapasitas produksi pabrik metanol memperhatikan beberapa faktor yang harus dipertimbangkan yaitu kapasitas minimum dari pabrik yang telah ada, ketersediaan bahan baku, dan kebutuhan pasar.

### 1.5.1 Kapasitas Pabrik yang telah Berdiri

Dalam penentuan kapasitas pabrik, hal penting yang harus diperhatikan adalah kapasitas pabrik yang telah ada, baik di dalam negeri maupun diluar negeri. Hal ini guna untuk memperkirakan kapasitas pendirian pabrik agar tidak terlalu jauh berbeda dari kapasitas pabrik yang telah ada. Kapasitas pabrik metanol yang telah berdiri dapat dilihat pada Tabel 1.5.

**Tabel 1.5** Kapasitas pabrik metanol yang telah beridiri di Dunia

| Pabrik Metanol                  | Lokasi    | Kap. (Ton/Tahun) | Sumber           |
|---------------------------------|-----------|------------------|------------------|
| George Olah, Vulcanol           | Islandia  | 1.700.000        | analytics.com    |
| CelanaseCanada,Edmonton,Alberta | Canada    | 765.000          | analytics.com    |
| Beaumont Metanol,Beaumont       | USA       | 840.000          | Thermofisher.com |
| Bio MCN                         | Belanda   | 1.000.000        | Thermofisher.com |
| PT.Kaltim Metanol Industri      | Indonesia | 660.000          | Kemenperin.go.id |

### 1.5.2 Kebutuhan Pasar

Kebutuhan pasar dipengaruhi oleh jumlah produksi nasional, *import*, *e/port* dan kebutuhan nasional. Untuk data import dan export tersedia di data BPS, sedangkan data produksi dari PT. Kaltim *Methanol* Industri tidak tersedia, asumsi PT. Kaltim *Methanol* Industri memproduksi sebanyak 660.000 ton per tahun. Kebutuhan nasional pada tabel 1.8 didapat dari persamaan:

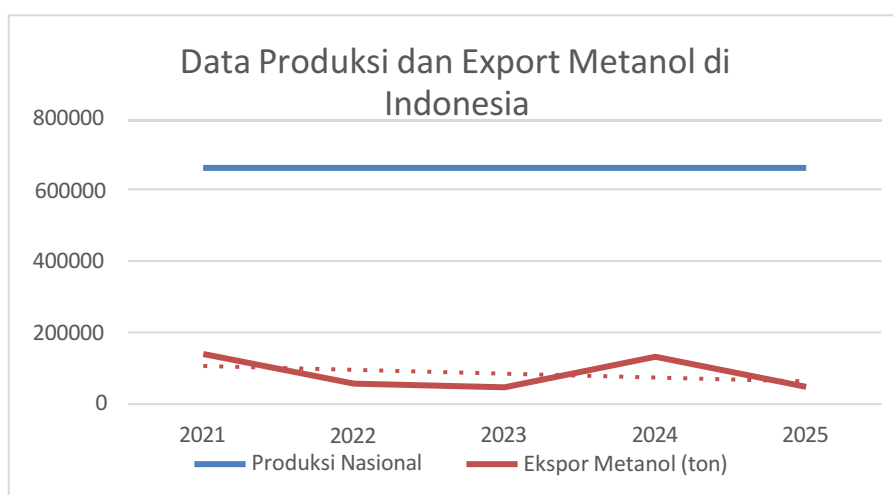
$$\text{Kebutuhan nasional} = \text{Impor} - \text{Ekspor} + \text{Produksi} \quad (1.1)$$

**Tabel 1. 9 Data Metanol tahun 2021 hingga 2025 (BPS,2025)**

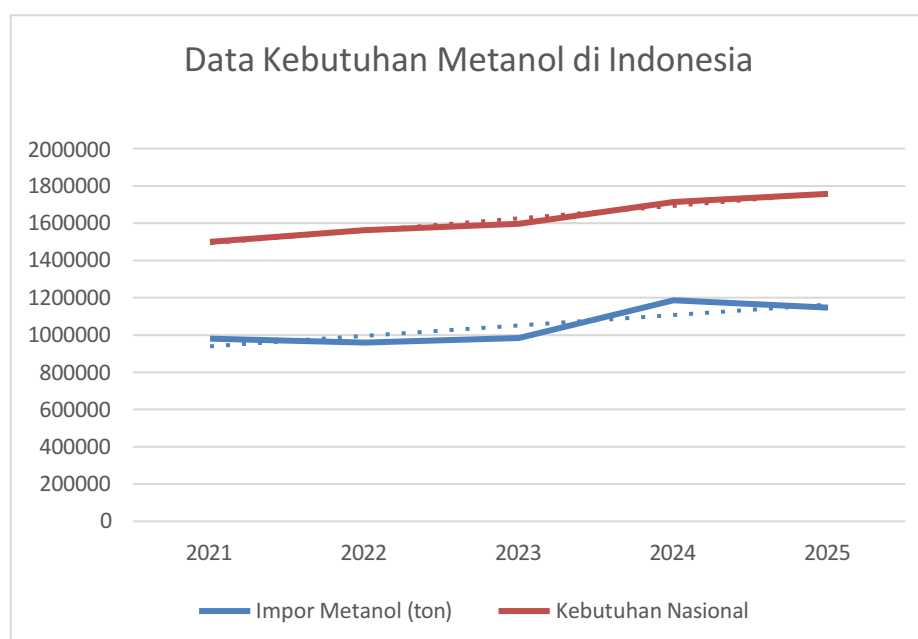
| Tahun | Produksi Nasional(TP Y) | Ekspor Metanol(TP Y) | Impor Metanol (TPY) | Kebutuhan Nasional(TPY ) |
|-------|-------------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|
| 2021  | 660000                  | 140141.5531          | 979974              | 1499833                  |
| 2022  | 660000                  | 57155.1506           | 959237              | 1562082                  |

|             |        |            |         |         |
|-------------|--------|------------|---------|---------|
| <b>2023</b> | 660000 | 47070.3745 | 984164  | 1597094 |
| <b>2024</b> | 660000 | 132,285    | 1186274 | 1713988 |
| <b>2025</b> | 660000 | 48789.688  | 1146427 | 1757637 |

Berdasarkan data kebutuhan impor metanol di Indonesia pada tabel 1.8 dapat dilihat bahwa kebutuhan metanol di Indonesia cukup besar. Kebutuhan *import* metanol di Indonesia mulai dari tahun 2021 sampai 2025 pertahun mengalami peningkatan.



**Gambar 1. 4 Data Produksi dan Expor Metanol di Indonesia (BPS,2025)**



**Gambar 1. 5 Kebutuhan Nasional dan Impor Metanol di Indonesia (BPS,2025)**

Dari data tabel 1.8 dapat dilakukan pencarian persen pertumbuhan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{persen pertumbuhan} = (\text{nilai akhir} - \text{nilai awal}) / \text{nilai awal} \quad (1.2)$$

**Tabel 1. 10 Persen pertumbuhan (BPS,2025)**

| Tahun     | Produksi Nasional | Ekspor Metanol | Impor Metanol | Kebutuhan Nasional |
|-----------|-------------------|----------------|---------------|--------------------|
| 2021      | -                 | -              | -             | -                  |
| 2022      | 0.00%             | -59.22%        | -2.12%        | 4.15%              |
| 2023      | 0.00%             | -17.64%        | 2.60%         | 2.24%              |
| 2024      | 0.00%             | 181.04%        | 20.54%        | 7.32%              |
| 2025      | 0.00%             | -63.12%        | -3.36%        | 2.55%              |
| Rata-rata | 0.00%             | 10.26%         | 4.41%         | 4.06%              |

Perhitungan persamaan 1.2 menghasilkan persen pertumbuhan sesuai dengan tabel 1.9. Kebutuhan pada tahun 2030 dengan peluang kapasitas pabrik yang ditujukan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri dan menutupi nilai impor dari luar negeri. Rumus menghitung kapasitas pabrik tahun 2030 dapat ditentukan melalui metode *discounted* sebagai berikut:

$$X = X_0(1+i)^n \quad (1.3)$$

Keterangan:

X = jumlah kapasitas pada tahun pabrik didirikan

X<sub>0</sub> = data terakhir

i = rata-rata pertumbuhan

n = selisih tahun pendirian pabrik (2030-2025 = 5 tahun)

**Tabel 1. 11 Rata-rata pertumbuhan dan nilai di tahun 2030 (BPS,2025)**

| Catatan               | Produksi Nasional | Ekspor Metanol | Impor Metanol | Kebutuhan Nasional |
|-----------------------|-------------------|----------------|---------------|--------------------|
| Rata-rata pertumbuhan | 0.00%             | 10.26%         | 4.41%         | 4.06%              |

|                             |        |          |         |            |
|-----------------------------|--------|----------|---------|------------|
| <b>Tahun 2030<br/>(TPY)</b> | 660000 | 79525.99 | 1422852 | 2145064.47 |
|-----------------------------|--------|----------|---------|------------|

Pabrik akan didirikan pada tahun 2030, diharapkan tidak ada lagi impor di tahun 2030 sehingga impor pada tahun 2030 diberhentikan. Gunakan tabel 1.10 untuk mencari nilai kapasitas pabrik dengan persamaan berikut (Max dkk., 1991) :

$$m1 + m2 + m3 = m4 + m5 \quad (1.4)$$

Keterangan :

$m1$  = nilai impor tahun 2030 (ton/tahun)

= 1.422.852 ton/tahun (Setelah dibangun pabrik tahun 2030, target impor = 0)

$m2$  = nilai produksi pabrik dalam negeri tahun 2030 (ton/tahun)

= 600.000 ton/tahun

$m3$  = kapasitas pabrik yang akan didirikan pada tahun 2030 (ton/tahun)

$m4$  = nilai ekspor tahun 2030 (ton/tahun)

$m4$  = 79525 ton/tahun

$m5$  = nilai konsumsi tahun 2030 (ton/tahun) = nilai kebutuhan nasional

= 2.145.064 ton/tahun

Sehingga:

$$m3 = (m4 + m5) - (m1 + m2) = 1.564.590 \text{ ton/tahun}$$

Kapasitas pabrik pada tahun 2030 sesuai hitungan  $m3$  adalah 1.564.590 ton/tahun atau setara dengan 3.650 ton/day agar impor metanol tahun 2030 = 0. Penulis mengambil kapasitas produksi pabrik metanol 85% dari nilai  $m3$  yang sudah dihitung maka :

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas pabrik} &= 85\% \times m3 \\ &= 85\% \times 1.564.590 \text{ ton/tahun} \\ &= 1.329.901,5 \text{ ton/tahun} \\ &= 3.643,57 \text{ ton/day (angka dibulatkan menjadi 3.650} \\ &\quad \text{ton/day)} \end{aligned} \quad (1.5)$$

Kapasitas pabrik metanol yang akan dibangun = 3.650 ton/day

### 1.5.3 Ketersediaan Bahan Baku

Pada perancangan pabrik metanol ini, terdapat beberapa bahan baku

yang akan digunakan yaitu *Flue gas* (CO<sub>2</sub>), *steam* (H<sub>2</sub>O) dan Gas Alam (CH<sub>4</sub>). *Flue gas* didapat dari gas buang hasil pembakaran di Pertamina RU IV Cilacap, *steam* didapat dari Utilities Pertamina RU IV Cilacap sedangkan gas alam didapat dari sambungan pipa PGN ke Pertamina RU IV Cilacap, Tabel 1.9

**Tabel 1. 12 Data Ketersediaan bahan baku CO<sub>2</sub> dan kebutuhan gas alam**

| <b>Jumlah Total <i>Flue gas</i> di RU IV Cilacap</b> |          |        |
|------------------------------------------------------|----------|--------|
| <b><i>Flue gas from Fuel Gas</i></b>                 | 15767.62 | TPD    |
| <b><i>Flue gas from Fuel Oil</i></b>                 | 3675.15  | TPD    |
| <b>TOTAL FLUE GAS</b>                                | 19442.77 | TPD    |
| <b>Kapasitas <i>Natural Gas</i></b>                  | 135.89   | MMSCFD |
| <b>Total 78% <i>Flue gas</i></b>                     | 15165.36 | TPD    |
| <b>Total 78% CO<sub>2</sub></b>                      | 2256.70  | TPD    |

*Sumber:* Data *Flue gas* RU IV Cilacap dan kebutuhan *Natural Gas*

Bahan baku gas alam didapat dari transmisi jalur pipa PGN yang memiliki kapasitas 350 MMSCFD - 500 MMSCFD (ESDM,2022) dan BFW yang diperlukan sebanyak 1675 TPD. *Natural Gas* yang diperlukan untuk pembangunan pabrik metanol dengan kapasitas 3.650 ton/day sebanyak 135,89 *Million Standard Cubic Feet per Day* (MMSCFD) dan *Flue gas* ideal yang diperlukan 78% dari total bahan baku agar fleksibilitas operasi terjaga sebanyak 15.165,36 ton/day, sehingga bahan baku *Flue gas* masih bisa dipenuhi oleh Pertamina RU IV Cilacap dan *Natural Gas* masih bisa dipenuhi sesuai desain pipa PGN.

Dengan mempertimbangkan jumlah bahan baku di lokasi pabrik, kebutuhan metanol tahun 2030 dari persen pertumbuhan dan kapasitas pabrik yang telah berdiri, didapatkan kesimpulan bahwa di Pertamina RU IV Cilacap bisa membuat pabrik metanol dengan kapasitas 3.650 ton/day. Penulis merencanakan pembangunan Pabrik Metanol dengan kapasitas 3.650 ton/day, umpan utama berupa gas alam yang terdiri dari sebagian besar gas metana dan CO<sub>2</sub> dari *carbon capture*. Pemilihan umpan *Flue gas* ini karena penulis ingin berupaya membantu pemerintah dalam pemanfaatan *Natural Gas* dan membantu upaya pemerintah dalam menanggulangi perubahan iklim menuju

*Net Zero Emission 2060* Bahan baku gas alam didapat dari transmisi jalur pipa PGN yang memiliki kapasitas 350 MMSCFD - 500 MMSCFD (ESDM,2022) dan BFW yang diperlukan sebanyak 1675 TPD. *Natural Gas* yang diperlukan untuk pembangunan pabrik metanol dengan kapasitas 3.650 ton/day sebanyak 135,89 *Million Standard Cubic Feet per Day* (MMSCFD) dan *Flue gas* ideal yang diperlukan 78% dari total bahan baku agar fleksibilitas operasi terjaga sebanyak 15.165,36 ton/day, sehingga bahan baku *Flue gas* masih bisa dipenuhi oleh Pertamina RU IV Cilacap dan *Natural Gas* masih bisa dipenuhi sesuai desain pipa PGN.

Dengan mempertimbangkan jumlah bahan baku di lokasi pabrik, kebutuhan metanol tahun 2030 dari persentase pertumbuhan dan kapasitas pabrik yang telah berdiri, didapatkan kesimpulan bahwa di Pertamina RU IV Cilacap bisa membuat pabrik metanol dengan kapasitas 3.650 ton/day. Penulis merencanakan pembangunan Pabrik Metanol dengan kapasitas 3.650 ton/day, umpan utama berupa gas alam yang terdiri dari sebagian besar gas metana dan CO<sub>2</sub> dari *carbon capture*. Pemilihan umpan *Flue gas* ini karena penulis ingin berupaya membantu pemerintah dalam pemanfaatan *Natural Gas* dan membantu upaya pemerintah dalam menanggulangi perubahan iklim menuju *Net Zero Emission 2060*. Bahan baku gas alam didapat dari transmisi jalur pipa PGN yang memiliki kapasitas 350 MMSCFD - 500 MMSCFD (ESDM,2022) dan BFW yang diperlukan sebanyak 1675 TPD. *Natural Gas* yang diperlukan untuk pembangunan pabrik metanol dengan kapasitas 3.650 ton/day sebanyak 135,89 *Million Standard Cubic Feet per Day* (MMSCFD) dan *Flue gas* ideal yang diperlukan 78% dari total bahan baku agar fleksibilitas operasi terjaga sebanyak 15.165,36 ton/day, sehingga bahan baku *Flue gas* masih bisa dipenuhi oleh Pertamina RU IV Cilacap dan *Natural Gas* masih bisa dipenuhi sesuai desain pipa PGN.

Dengan mempertimbangkan jumlah bahan baku di lokasi pabrik, kebutuhan metanol tahun 2030 dari persentase pertumbuhan dan kapasitas pabrik yang telah berdiri, didapatkan kesimpulan bahwa di Pertamina RU IV Cilacap bisa membuat pabrik metanol dengan kapasitas 3.650 ton/day. Penulis merencanakan pembangunan Pabrik Metanol dengan kapasitas 3.650 ton/day,

umpan utama berupa gas alam yang terdiri dari sebagian besar gas metana dan CO<sub>2</sub> dari *carbon capture*. Pemilihan umpan *Flue gas* ini karena penulis ingin berupaya membantu pemerintah dalam pemanfaatan *Natural Gas* dan membantu upaya pemerintah dalam menanggulangi perubahan iklim menuju *Net Zero Emission 2060*.

## **1.6 Pemilihan Lokasi Pabrik**

Penentuan lokasi pembangunan pabrik menjadi faktor penting dimana didasarkan pada tempat dengan kemudahan transportasi, kemudahan bahan baku, kondisi lingkungan dan iklim. Pembangunan pabrik direncanakan akan berdiri di Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah dimana kondisi daerah sesuai dengan gambar 1.5. Pertimbangan pemilihan *Refinery Unit IV Cilacap* sebagai tempat pembangunan pabrik adalah sebagai berikut:

### **A. Transportasi dan Pemasaran**

Kabupaten Cilacap mempunyai akses transportasi yang strategis di dekat Samudra Hindia dan mendukung transportasi darat, sehingga hal ini memudahkan untuk mobilitas kebutuhan distribusi dan pemasaran produk.

### **B. Ketersediaan bahan baku**

Pertamina RU IV Cilacap diidentifikasi memiliki keunggulan kompetitif tertinggi dalam aspek keamanan pasokan bahan baku. Sebagai kilang dengan kapasitas produksi terbesar di Indonesia yang mencapai 348.000 barel per hari (bph), RU IV memiliki kemampuan throughput yang stabil untuk menjamin kontinuitas pasokan feedstock *Flue gas*. Strategi ketahanan panas nasional, efisiensi ekonomi, dan transisi panas yaitu dengan penyambungan pipa gas PGN ke seluruh Jawa salah satunya jalur gas Cisem II cabang distribusi Tegal → Cilacap yang akan dialirkan ke *Refinery Unit IV Cilacap* untuk kebutuhan gasifikasi. Baku gas alam yang diperoleh dari penyambungan pipa gas PGN ke *Refinery Unit IV Cilacap*. Penambahan unit *carbon capture* juga digunakan sebagai *supply feed* dari CO<sub>2</sub> yang ditangkap dari beberapa *Plant Refinery Unit IV Cilacap*. Sehingga pemilihan lokasi di *Refinery Unit IV Cilacap* akan memudahkan dalam pemasok bahan baku di

pabrik yang akan kami rancang.

C. Kesiapan infrastruktur utilitas

Dalam memenuhi kebutuhan listrik pada pabrik metanol, pasokan listrik didapat dari Unit Utilities dengan kapasitas total sebesar 112 MW terdiri dari turbin uap 4 x 8 MW dan 4 x 20 MW. Penambahan *daya* bisa dilakukan dengan melakukan sinergi BUMN dengan PT PLN Persero.

Dalam memenuhi kebutuhan air utilitas didapat dari unit Utilities yang diambil dari sungai donan sehingga memiliki pasokan air yang memadai.

D. Karakteristik geoteknik dan *daya* dukung tanah

Secara geologis, area kawasan industri Lomanis, Cilacap, memiliki struktur tanah yang relatif stabil dan telah terbukti mampu menopang beban statis maupun dinamis dari peralatan kilang berskala besar selama puluhan tahun. Stabilitas tanah ini sangat krusial untuk memitigasi risiko penurunan fondasi (*settlement*) yang dapat merusak integritas mekanik kolom distilasi dan reaktor bertekanan tinggi (Badan Geologi, 2025).

E. Kondisi klimatologi lokasi

Kondisi klimatologi di Cilacap mendukung operasional pabrik yang optimal sepanjang tahun. Berdasarkan data historis, suhu rata-rata harian berkisar pada 26°C dengan kelembapan relatif yang moderat (*Weather Spark*, 2024). Profil suhu lingkungan yang tidak ekstrem ini menguntungkan dari sisi termodinamika, karena mengurangi beban kerja pada sistem pendingin (*cooling water system*) dan meminimalkan kerugian panas akibat penguapan (*evaporative loss*) pada tangki penyimpanan.

F. Geografis Lokasi Pabrik

Terlihat pada maps pada gambar 1.6 dibawah ini adalah merupakan letak dimana Pabrik Metanol akan didirikan mengacu pada pertimbangan semua aspek diatas.



**Gambar 1. 6 Lokasi Pembangunan Pabrik Metanol ex Drum *Plant* RU IV Cilacap (Maps, 2025)**

### 1.7 Sarana Prasarana

Dalam memenuhi kebutuhan listrik, *steam*, *cooling water* pada pabrik metanol sudah terpenuhi di *Refinery* Unit IV Cilacap.