

Pra Desain Pabrik Metanol dari Batubara

I Made Deago Nugra Visesa, Aditya Luthfi Trianjani, Annas Wiguno, dan Kuswandi
Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: annas.w@chem-eng.its.ac.id

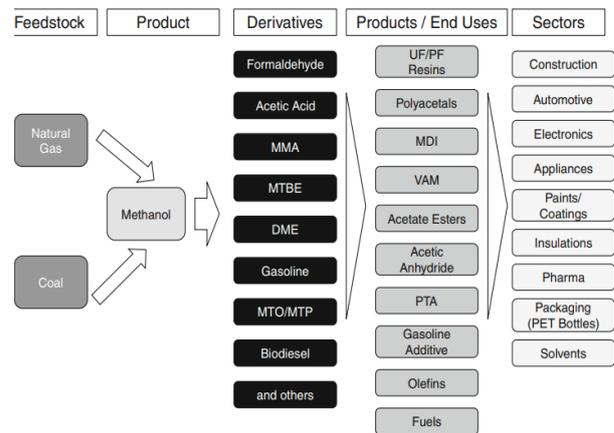
Abstrak—Salah satu komoditas yang diprioritaskan dalam petrokimia hulu berdasarkan RIPIN 2025-2035 adalah metanol. Hal ini dikarenakan metanol telah banyak digunakan di berbagai sektor industri kimia sebagai pelarut, sebagai *antifreeze*, dan gas *hydrate inhibitor* pada industri migas. Metanol juga merupakan bahan baku yang memiliki banyak produk turunan. Berdasarkan pertimbangan di atas, sebagai bentuk dukungan terhadap program pemerintah dan memajukan industri kimia nasional, dilakukan perencanaan pra desain pabrik metanol dengan bahan baku batubara kualitas rendah. Produksi metanol dari batubara melalui beberapa tahapan proses yaitu Preparasi Batubara, Proses Gasifikasi, Proses Purifikasi Syngas, Proses Sintesis Metanol, dan Proses Purifikasi Metanol. Rencana pendirian pabrik ini akan dilakukan selama dua tahun dengan umur pabrik selama 15 tahun. Untuk memproduksi Metanol sebanyak 630.000 ton/tahun, diperlukan *Operating Expenditures* (OPEX) sebesar \$110.382.415 dengan *Capital Expenditures* (CAPEX) sebesar \$205.310.456 total penjualan sebesar \$252.000.000. Sumber dana investasi berasal dari modal sendiri sebesar 40% dan modal pinjaman sebesar 60%. Berdasarkan analisa ekonomi, *Internal Rate of Return* (IRR) pabrik ini sebesar 28,69% dengan bunga sebesar 8% per tahun dan laju inflasi 2,18%. Sedangkan untuk *Pay Out Time* (POT) selama 6 tahun 6 bulan, *Break Even Point* (BEP) sebesar 29,62% kapasitas pabrik, dan *Net Present Value* (NPV) yang bernilai positif yaitu sebesar \$327.164.565.

Kata Kunci—Metanol, Batubara, Syngas.

I. PENDAHULUAN

SEKTOR industri kimia telah menjadi penggerak utama pembangunan ekonomi nasional yang dibuktikan dengan kemampuannya memberikan nilai signifikan dalam peningkatan lapangan kerja, devisa negara, serta mampu memberikan kontribusi dalam peningkatan nilai tambah produk dan pertambahan daya saing nasional. Kementerian Perindustrian melalui Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional (RIPIN) 2021-2035 menjadi pedoman bagi pemerintah dan pelaku industri dalam perencanaan dan pembangunan industri Indonesia. Salah satu komoditas yang diprioritaskan dalam petrokimia hulu RIPIN adalah metanol [1] Hal ini dikarenakan metanol telah banyak digunakan di berbagai sektor industri kimia sebagai pelarut, *antifreeze*, dan gas *hydrate inhibitor*. Metanol juga merupakan bahan baku yang memiliki banyak produk turunan. Gambar 1 [2] merupakan *value chain* dari metanol untuk penggambaran industri kimia metanol secara umum. Metanol (CH_3OH) merupakan senyawa organik dan alkohol alifatik paling sederhana dengan berat molekul 31,042 u.m.a.. Pada keadaan atmosfer berbentuk cairan yang ringan, mudah menguap, tidak berwarna, mudah terbakar, beracun dan memiliki bau yang khas [3]

Berdasarkan kualitas produk metanol yang diperjualkan secara internasional, terdapat 3 jenis *methanol grade* yaitu, Grade A dan Grade AA oleh ASTM D1152, dan *International Methanol Producers and Consumers*



Gambar 1. Value chain metanol.

Association (IMPCA). Spesifikasi masing-masing *grade* ditabulasikan dalam Tabel 1 [2]. *Feedstock* batubara dipilih dikarenakan keberadaannya yang melimpah di Indonesia, dengan sumber daya 143,73 miliar ton dan cadangan 38,81 miliar ton pada tahun 2020, yang sebagian besarnya digunakan dalam penjualan mentah dan pembangkitan energi tanpa pengembangan untuk menghasilkan produk dengan nilai jual yang lebih tinggi [4]. Sehingga, dengan program hilirisasi atau peningkatan nilai tambah batubara melalui pembuatan metanol dari batubara, diharapkan pemanfaatan batubara di Indonesia dapat lebih menguntungkan negara dan mengurangi impor metanol dan senyawa turunannya.

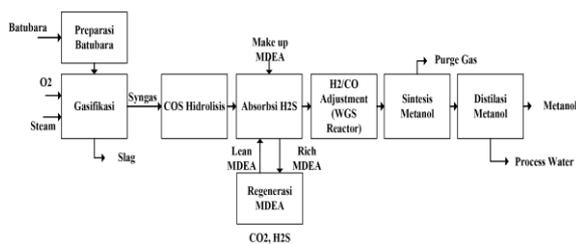
Potensi pengembangan untuk produksi metanol kedepannya dinilai masih cukup besar dengan nilai produksi yang dibutuhkan pada tahun 2025-2045 berkisar pada 7-9 juta ton/tahun [4]. Dengan meningkatnya kebutuhan metanol serta potensi batubara yang melimpah, maka terdapat peluang untuk mengembangkan proyek pabrik metanol di Indonesia. Serta, diharapkan dengan adanya pembangunan pabrik ini, jumlah impor metanol dapat berkurang dan Indonesia dapat memenuhi kebutuhan metanol dalam negeri tanpa harus bergantung dengan negara lain.

Proses pembuatan metanol dari batubara dibagi menjadi 5 proses utama, yaitu preparasi batubara, gasifikasi, purifikasi syngas, sintesis metanol, dan purifikasi metanol. Gambaran keseluruhan proses dapat diilustrasikan melalui diagram blok pada Gambar 2. Seleksi proses pada proses persiapan batubara adalah pemilihan tipe pereduksi ukuran batubara. Persyaratan ukuran partikel batubara yang diperbolehkan agar reaksi gasifikasi *entrained flow* dapat berlangsung optimal adalah <0.1 mm atau sekitar *mesh* 140 [5]

Unit pereduksi ukuran terdiri atas beberapa jenis berdasarkan gaya yang diaplikasikan, yaitu *impact*, *attrition*, *shear*, dan *compression*. Alat pereduksi ukuran juga dapat dikelompokkan berdasarkan ukuran *feed* dan hasil ukuran hasil reduksi yang memanfaatkan satu ataupun lebih pengaplikasian gaya, yaitu *crusher*, *grinder*, *ultrafine grinder*, dan *cutter*. Dikarenakan size yang diinginkan adalah <0.1mm, diperlukan alat pereduksi ukuran lanjutan berupa

Tabel 1. Grade Metanol

Properti	Grade A	Grade AA	IMPCA
Metanol (min wt%)	>99.85%	>99.85%	99.85%
Specific Gravity (20°/20°)	0.7928	0.7928	0.971-0.973
Distillation range (°C) [note must contain 64.6°C +/- 0.1°C @760mm]	1	1	1
Air (max wt%)	0.15	0.10	0.10
Acetone + Aldehydes (ppm)	<30	<30	<30
Acetone (ppm)	<30	<20	<30
Ethanol (ppm)	<30	<10	<50
Residu (mg/L)	<10	<10	<10
Chloride (mg/kg)			<0.5
Sulphur (mg/kg)			<0.5
Keasaman (acetic acid; mg/kg)	<30	<30	<30
Permanganate (@15 min)	>30	>30	>60



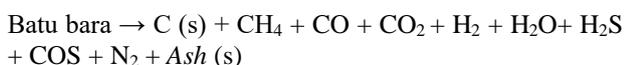
Gambar 2. Blok diagram proses pembuatan metanol dari batubara.

grinder yang mampu mereduksi hingga ukuran bubuk dan lolos pada mesh 200. Perbandingan yang dilakukan adalah antara ball mill dan rolling compression mill dikarenakan kemampuan keduanya untuk menghasilkan produk sesuai spesifikasi mesh yang dianjurkan. Dipilih rolling compression mill sebagai grinder batubara dengan keunggulan utama pada konsumsi energi yang jauh rendah [6]

Proses utama kedua adalah gasifikasi, yang merupakan metode konversi secara termokimia bahan bakar padat menjadi bahan bakar gas syngas dalam wadah gasifier dengan menyuplai agen gasifikasi oksigen. Pada proses gasifikasi umumnya terdiri dari tiga proses, yaitu pirolisis, oksidasi, dan gasifikasi [7] Deskripsi proses-proses tersebut adalah sebagai berikut:

1) Zona Pirolisis (Devolatilisasi)

Pirolisis atau devolatilisasi disebut juga sebagai gasifikasi parsial. Zona pirolisis beroperasi pada suhu 1500°C. Hasil dari pirolisis adalah karbon, ash, dan gas-gas ringan. Seluruh komponen yang dihasilkan berupa fase gas kecuali karbon yang dalam fase solid. Sehingga komponen yang berfase gas akan keluar dari bagian atas gasifier, sedangkan unsur C akan turun ke bawah atau zona selanjutnya untuk bereaksi dan membentuk syngas. Reaksi pirolisis:



2) Zona Oksidasi/Pembakaran (Combustion)

Proses zona pembakaran menghasilkan CO, CO₂, dan uap air yang dibantu dengan oksigen yang disuplai oleh Air Separation Unit. Reaksi-reaksi pembakaran sebagai berikut:



Tabel 2.

Prediksi Produksi, Konsumsi, Ekspor, dan Impor Metanol di Indonesia Pada Tahun 2025 (dalam juta ton)^[12]

Kualitas	Total Sumber	Jumlah (%)	Total	Jumlah (%)
	Daya		Cadangan	
Kalori Rendah	47.702,65	33.27	8.914,00	34.51
Kalori Sedang	76.244,97	53.18	14.761,21	57.15
Kalori Tinggi	15.821,74	11.03	1593,88	6.17
Kalori Sangat Tinggi	3.961,54	2.52	558,25	2.17
Total	143.370,90	100	25.827,34	100

Tabel 3.

Prediksi Produksi, Konsumsi, Ekspor, dan Impor Metanol di Indonesia Pada Tahun 2025 (dalam ton)

Tahun	Produksi (Ton)	Konsumsi (Ton)	Impor (Ton)	Ekspor (Ton)
2025	866.433	5.637.386	0	3.153.382



3) Zona Gasifikasi

Pada zona ini terjadi reaksi yang spesifik terjadi pada reaktor gasifikasi. Reaksinya sebagai berikut:

a. Reaksi Boudouard:



b. Reaksi Water Gas:



c. Reaksi Shift Conversion:



d. Reaksi Metanasi:



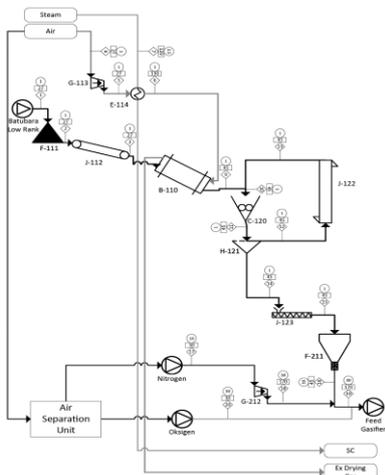
Reaksi Boudouard merupakan reaksi endotermis yang menghasilkan CO. Reaksi water gas dan shift conversion merupakan reaksi utama pada gasifikasi batubara karena pada reaksi ini dihasilkan syngas H₂ dan CO beserta dengan CO₂ sebagai hasil samping. Dan yang terakhir reaksi samping metanasi yang menghasilkan metana dalam jumlah yang sedikit [8]

Teknologi proses gasifikasi batubara untuk pembuatan syngas yang dipilih adalah entrained-flow gasifier. Pada entrained-flow gasifier batubara dialirkan ke dalam gasifier secara co-current (searah) atau bersama-sama dengan medium penggasifikasi berupa uap air (steam) dan oksigen, bereaksi pada tekanan atmosfer. Batubara ukurannya dihaluskan sampai sekitar 0,1 mm, diumpankan dengan reaktan gas ke dalam chamber dimana reaksi gasifikasi terjadi seperti halnya sistem pembakaran bahan bakar berbentuk serbuk [4].

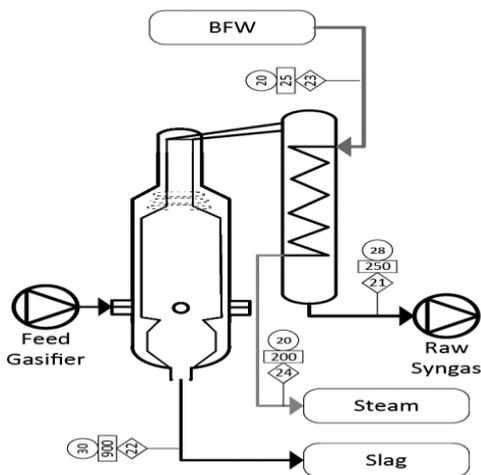
Proses utama ketiga adalah purifikasi syngas dan penyesuaian rasio angka stoikiometrik. Proses purifikasi syngas diawali dengan konversi karbon sulfida (COS) menjadi H₂S dengan bantuan steam melalui reaksi:



Dilakukan absorpsi kimia dengan pelarut untuk mengurangi kandungan sulfur seperti hidrogen sulfida (H₂S), karbon sulfida (COS) dan karbon dioksida (CO₂) karena kandungan tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada alat proses serta menyebabkan kematian katalis pada reaktor. Umumnya pelarut yang digunakan untuk menyerap CO₂ dan



Gambar 3. Process flow diagram preparasi batubara.

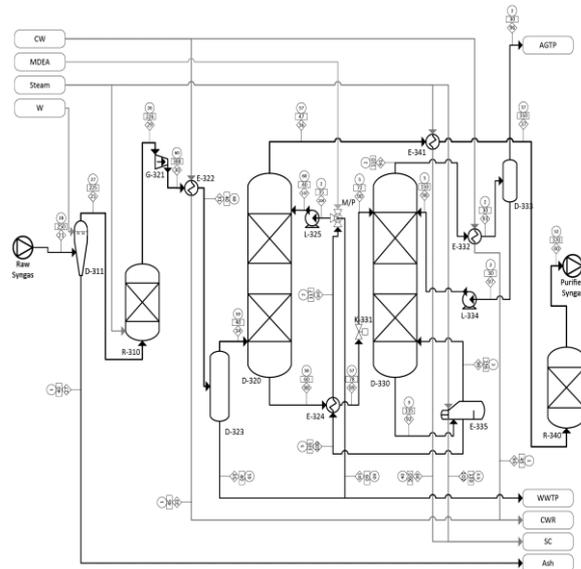


Gambar 4. Process flow diagram gasifikasi.

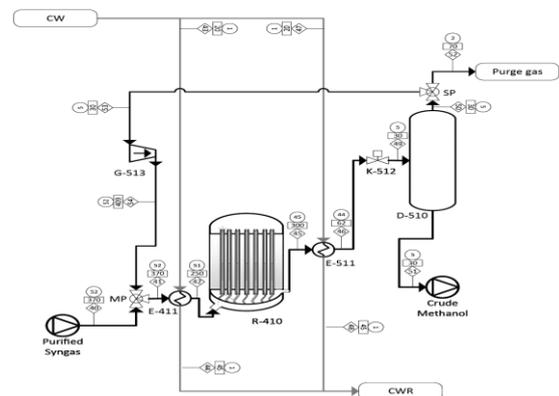
H₂S adalah senyawa alkanolamine yaitu *methyl-diethanolamine* (MDEA). Pada proses ini, mekanisme pengurangan kandungan acid gas berlangsung dalam dua tahap, yaitu absorpsi fisik dan kemudian diikuti reaksi kimia antara CO₂ dengan H₂S dengan bantuan pelarut amina. Kondisi operasi pada kolom absorber umumnya memiliki tekanan yang tinggi. Tekanan yang tinggi ini mengakibatkan solubilitas gas dalam zat cair tinggi sehingga gas mudah terlarut dalam zat cair. Selain itu, kondisi suhu dalam kolom absorber umumnya lebih rendah karena solubilitas gas dalam zat cair berbanding terbalik dengan suhu. Suhu tinggi menyebabkan energi kinetik zat gas sehingga molekul-molekulnya bergerak lebih cepat dan sukar larut dalam zat cair.

Sistem amine merupakan salah satu metode acid gas removal yang paling banyak dikenal dan mampu mengurangi kandungan acid gas hingga tingkat ppm, namun memerlukan energi tinggi pada proses regenerasi amine. Oleh karena itu, metode ini cenderung membutuhkan biaya operasi yang relatif tinggi. Selain itu, ada kemungkinan terjadinya solvent loss pada saat proses recovery [9].

Penyesuaian rasio angka stoikiometrik dibutuhkan karena rasio H₂/CO yang rendah dari hasil gasifikasi seperti batubara, produk *syngas* kekurangan hidrogen dengan rasio molar H₂/CO jauh di bawah 2 meskipun nilai stoikiometri SN sedikit di atas 2 diperlukan untuk sintesis metanol.



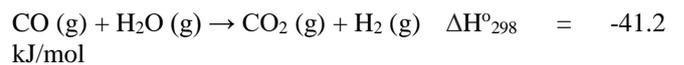
Gambar 5. Process flow diagram purifikasi syngas.



Gambar 6. Process flow diagram proses sintesis metanol.

$$SN = \frac{H_2 - CO_2}{CO + CO_2} \quad (1)$$

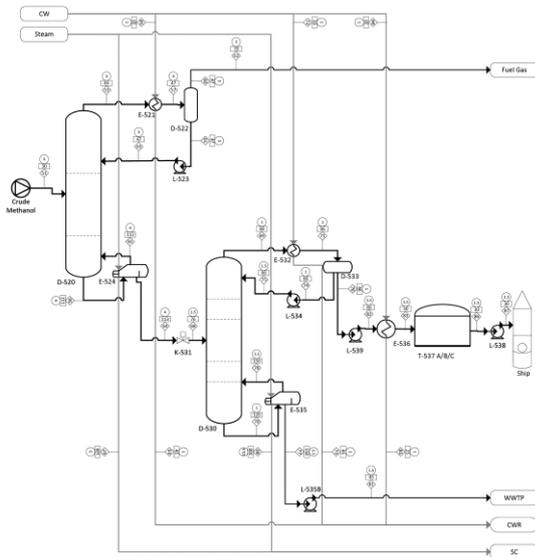
Gas yang kekurangan hidrogen dari gasifikasi harus dikonversi (setelah pengkondisian untuk melindungi katalis konversi) menjadi gas yang lebih kaya hidrogen. Reaksi *Water Gas Shift* CO dengan air harus dilakukan dalam aliran terpisah untuk mencapai hidrogen yang diinginkan konsentrasi dalam gas umpan gabungan untuk sintesis metanol. Perpisahan tergantung pada komposisi gas mentah dan tingkat konversi dalam reaktor *Water Gas Shift* (WGS). Reaksi *Water Gas Shift*:



Kesetimbangan WGS cenderung menghasilkan konsentrasi CO yang kecil. Proses utama keempat adalah sintesis metanol, dimana digunakan reaktor metanol dengan reaksi ekuilibrium sebagai berikut:

- a. $CO + 2H_2 \rightarrow CH_3OH$ -90,64 kJ/mol
- b. $CO_2 + 3H_2 \rightarrow CH_3OH + H_2O$ -49,67 kJ/mol
- c. $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$ +41 kJ/mol

Dipilih reaktor isothermal Mitsubishi Methanol Superconverter dengan lisensor Mitsubishi Gas Chemical yang menawarkan konversi *per pass* 55-67% dengan *yield* akhir metanol 15 mol% [10]



Gambar 7. Process flow diagram purifikasi metanol.

Pada proses utama terakhir, dikarenakan produk yang diinginkan adalah metanol dengan grade AA, purifikasi metanol harus dilakukan pada konfigurasi distilasi kolom ganda. Distilasi kolom ganda dibagi menjadi 2 bagian utama, yaitu kolom *light end* yang memisahkan gas ringan (*syngas* yang belum bereaksi) dan kolom *atmospheric* yang memisahkan metanol dengan air [11]

II. DATA DASAR PERANCANGAN

A. Ketersediaan dan Kualitas Bahan Baku

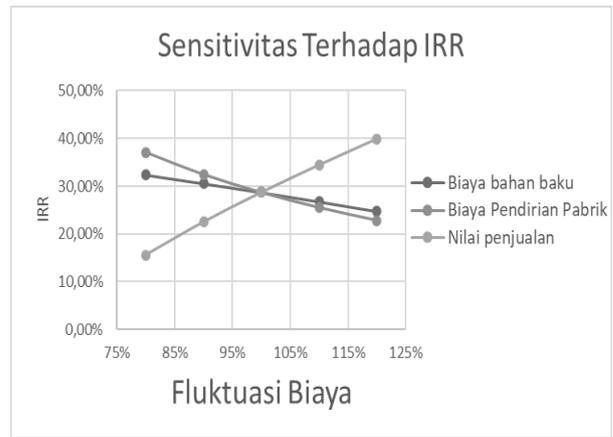
Ketersediaan sumberdaya batubara di Indonesia tersebar di hampir seluruh wilayah Indonesia. Provinsi Kalimantan Selatan dan Kalimantan Timur merupakan salah satu provinsi dengan ketersediaan batubara terbesar di Indonesia. Selanjutnya pada Tabel 2, disebutkan persebaran kualitas batubara di Indonesia.

Terdapat parameter kualitas batubara diantaranya karbon tertambat (*fixed carbon*, zat terbang (*volatile matter*), dan nilai kalori (*calorific value*). *Volatile matter* yaitu banyaknya zat yang hilang bila sampel batubara dipanaskan pada suhu dan waktu yang telah ditentukan (setelah dikoreksi oleh kadar *moisture*).

Fixed carbon menyatakan banyaknya karbon yang terdapat dalam material sisa setelah *volatile matter* dihilangkan. *Fixed carbon* atau kadar karbon merupakan kandungan utama dari batubara. Kandungan inilah yang paling berperan dalam menentukan besarnya *heating value* suatu batubara. Semakin banyak *fixed carbon*, maka semakin besar *heating value*-nya. Nilai kadar karbon diperoleh melalui pengurangan angka 100 dengan jumlah kadar *moisture* (kelembapan), kadar abu, dan jumlah zat terbang (*volatile matter*). Nilai ini semakin bertambah seiring dengan tingkat batubara [12]

B. Penentuan Kapasitas Produksi

Penentuan kapasitas pabrik metanol sangatlah penting dalam proses membangun suatu pabrik. Karena perusahaan membutuhkan angka pasti yang dilihat dari permintaan yang dibutuhkan di masa yang akan datang. Berdasarkan data Kementerian Perindustrian, kebutuhan metanol mengalami



Gambar 8. Grafik sensitivitas IRR.

peningkatan seiring berjalannya waktu. Hal ini menyebabkan kebutuhan metanol dalam negeri yang semakin tinggi. Jika diasumsikan pabrik akan beroperasi pada tahun 2025, maka untuk menghitung kapasitas pabrik pada tahun tersebut, harus menggunakan data perkiraan kebutuhan Metanol di Indonesia pada tahun 2025. Untuk menghitung data ekspor, impor, konsumsi, dan produksi pada tahun 2025, dapat menggunakan persamaan Max S. Peters dan Klaus D. Timmerhaus (2003) dapat diperoleh hasil prediksi jumlah produksi, konsumsi, dan ekspor impor pada tahun 2025 disajikan dalam Tabel 3 [13].

Berdasarkan perhitungan prediksi dari Tabel 3, dengan mengasumsikan tidak ada impor metanol, diperoleh kebutuhan metanol nasional yang belum terpenuhi pada tahun 2025 sebesar: Kebutuhan Metanol nasional = Ekspor + Konsumsi – Produksi

$$= 3.153.382 + 5.367.386 - 866.433 = 7.924.335 \text{ ton}$$

Hal yang perlu diperhatikan juga adalah perusahaan perusahaan yang bergerak di bidang yang sama, dalam hal ini adalah perusahaan yang memproduksi metanol di Indonesia. Berdasarkan kementerian ESDM sudah terdapat PT Bumi Resources dan Powerindo Cipta Energy dengan kapasitas masing-masing sebesar 2.500.000 ton/tahun dan 600.000 ton/tahun. Dimana proyek ini pada tahun 2025 dapat menghasilkan 3,1 juta ton metanol per tahun untuk mengurangi impor metanol sehingga dapat memperbaiki neraca perdagangan. Dengan demikian masih tersisa sekitar 7,92 juta ton kebutuhan metanol nasional yang belum terpenuhi.

Jika diasumsikan pabrik akan memproduksi Metanol sebanyak 8 % dari kebutuhan nasional yang belum terpenuhi maka, kapasitas produksi pabrik Metanol yang akan didirikan adalah sebagai berikut:

$$\text{Kapasitas produksi pabrik} = 8\% \times 7.920.000 \text{ ton/tahun} = 636.360 \text{ ton/tahun}$$

Kapasitas yang diambil sebesar 630.000 ton/tahun.

C. Lokasi dan Ketersediaan Utilitas

Penentuan lokasi suatu pabrik adalah untuk membantu pabrik beroperasi atau berproduksi dengan lancar, efektif dan efisien serta memberikan keuntungan sebesar-besarnya sehingga dapat meminimalisir biaya produksi, distribusi dan memaksimalkan keuntungan dan juga tetap memperhatikan

ketersediaan lahan untuk melakukan ekspansi, lingkungan hidup yang aman, juga masyarakat sekitar. Terdapat dua kemungkinan lokasi pendirian pabrik metanol dari batubara yaitu di wilayah Kalimantan Selatan dan Kalimantan Timur.

Untuk pendirian pabrik metanol dari batubara ini, dipilih lokasi di daerah Kutai Timur, Kalimantan Timur dengan mempertimbangkan berbagai faktor yaitu ketersediaan bahan baku, lokasi pemasaran, ketersediaan listrik dan air, ketersediaan tenaga kerja, ketersediaan lahan, iklim yang dapat membuat pabrik menjadi lebih menguntungkan dibandingkan jika pabrik dibangun di daerah Kotabaru, Kalimantan Selatan.

III. URAIAN PROSES

Proses produksi Metanol dari batubara meliputi beberapa unit proses, yaitu unit preparasi batubara, unit gasifikasi *syngas*, unit purifikasi *syngas* dan penyesuaian rasio angka stoikiometrik, unit sintesis metanol, dan unit purifikasi metanol.

A. Unit Preparasi Batubara

Pada gambar 3, merupakan tahap awal batubara dari supplier yang sudah dalam ukuran 5-10 cm hasil *crusher* diterima dan dikumpulkan pada *Open Yard* (F-111). Batubara yang akan digunakan sebagai *feed* proses ditransportasikan dengan *Belt Conveyor* (J-112) menuju *rotary dryer* (B-110) untuk menghilangkan *surface moisture* dan meninggalkan *inherent moisture* dengan bantuan udara yang telah dikeringkan dari *Drying Air Heater* (E-114). Kemudian, batubara dikirim menuju *Rolling Compression Mill* (C-120) untuk direduksi ukurannya hingga <0.1 mm atau sebesar *mesh 140*. Batubara yang telah direduksi tersebut kemudian disaring dengan *Vibrating Screen* (H-113) yang memiliki spesifikasi *mesh 140*. Batubara yang tidak lolos proses penyaringan akan dibawa kembali menuju *hammer mill* dengan bantuan *Bucket Elevator* (J-114). Selanjutnya, batubara yang sudah siap untuk digunakan di dalam *gasifier*, dikirim menuju *Lock Hopper* (F-211) yang berfungsi sebagai pengatur *flowrate* aliran batubara ke dalam *Gasifier* dengan bantuan *Screw Conveyor* (J-123).

B. Unit Gasifikasi

Pada gambar 4, batubara kemudian disuplai ke bagian bawah *Gasifier* (R-210) melalui *pneumatic conveying* dengan N_2 bertekanan 30 bar. Pada reaksi gasifikasi, zona pembakaran dibantu dengan suplai oksigen yang didapatkan dari udara bebas melalui ASU. *Gasification Reactor* yang digunakan berjenis *entrained flow gasifier* oleh lisensor teknologi Shell dengan keunggulan konversi karbon >99% dan rasio *stoichiometric number* (SN) yang cukup besar yaitu ~0.49. Kondisi operasi *gasification reactor* ini berada pada tekanan 30 bar dan mencapai temperature tertinggi 1500°C dengan waktu tinggal rata-rata 0.5 sampai 4 detik. *Syngas* keluar *Gasifier* masih memiliki suhu yang sangat tinggi, yang dimanfaatkan sebagai pembangkit *steam* melalui *Waste Heat Boiler* dan menghasilkan *steam* pada kondisi sedikit *superheated* pada tekanan 20 bar dan temperatur 200°C.

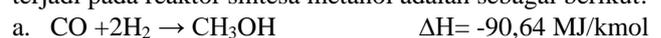
C. Unit Purifikasi Syngas dan Penyesuaian Nilai Stoikiometri

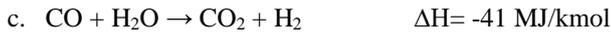
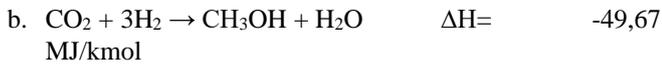
Pada gambar 5, proses purifikasi *syngas* diawali dengan *Syngas Scrubber* (R-311) untuk menghilangkan *fly ash* yang terbawa dari proses gasifikasi. Selanjutnya, *syngas* masuk ke dalam *COS Hydrolysis Reactor* (R-310) untuk mengkonversi COS menjadi H_2S dengan bantuan *steam*. Reaksi hidrolisis terjadi di COS reaktor hidrolisa dengan suhu operasi 300°C dan tekanan 28 bar dengan bantuan katalis TiO_2 sebagai *packing*. Setelah itu, *syngas* dikompresi hingga 60 bar dengan *Raw Syngas Compressor* (G-321) dan didinginkan menggunakan *Raw Syngas Cooler* (E-322) dari suhu 388 °C menjadi 40 °C. Kemudian, *syngas* dipisahkan kandungan *liquid* untuk meringankan beban absorber menggunakan *Flash Separator* (D-323). Selanjutnya *syngas* dialirkan menuju *Acid Gas Absorber* (D-320) yang beroperasi pada suhu 40°C dan tekanan 59 bar. Kolom absorber berguna untuk proses penghilangan CO_2 dan H_2S dengan bantuan larutan MDEA yang akan mengabsorb gas CO_2 dan H_2S . Produk bawah kolom absorber terkandung MDEA yang kaya akan CO_2 dan H_2S disebut *rich MDEA*. *Rich MDEA* didistilasi dalam *Amine Regenerator Column* (D-330) untuk memisahkan kandungan *acid gas* dengan MDEA yang diregenerasi. Komponen *acid gas* keluar dari bagian atas kolom sedangkan *lean MDEA* keluar sebagai *bottom product*. *Lean MDEA* didinginkan dengan *Lean/Rich Amine Heat Exchanger* (E-324). Untuk mengantisipasi MDEA yang hilang dalam sistem regenerasi, maka disuplai *make-up MDEA* yang selanjutnya dipompa dengan (L-325) hingga tekanan 59 bar sesuai dengan kondisi operasi kolom absorber. Sementara komponen *acid gas* yang keluar sebagai *top product* pada kolom regenerasi MDEA didinginkan dengan *Amine Regenerator Condensor* (E-331), yang kemudian masuk ke dalam *Reflux Drum Amine Regenerator* (D-333) dengan *top product* dialirkan menuju *Acid Gas Treatment Plant*. Proses absorpsi kimiawi dengan pelarut MDEA dapat mengurangi kandungan CO_2 dan H_2S hingga kandungan H_2S tersisa 1 ppm. Sehingga, *syngas* dapat digunakan sebagai bahan baku untuk diproses dalam *Water Gas Shift Reactor* (R-340) untuk disesuaikan rasio angka stoikiometriknya menjadi ~3. Komposisi CO yang masih berlebih dalam *syngas* dapat dikonversi menjadi H_2 melalui reaksi *water gas shift* melalui *Water Gas Shift Reactor* (R-340).

Sebelum masuk ke dalam reaktor WGS, *syngas* dipanaskan dengan *Sweet Gas Heater* (E-341) sampai temperatur 350°C. *Syngas* kemudian masuk dari bagian bawah reaktor, melewati *packed bed* berkatalis. Selanjutnya *syngas* keluar dari bagian atas reaktor dan selanjutnya akan masuk ke dalam proses sintesis metanol.

D. Unit Sintesis Metanol

Pada Gambar 6, *syngas* yang sudah dipurifikasi dan disesuaikan rasio SN-nya didinginkan terlebih dahulu melalui *Purified Syngas Cooler* (E-411) menjadi 250°C sebelum masuk ke dalam *Methanol Synthesis Reactor* (R-340). Proses sintesa metanol terjadi di dalam reaktor isothermal dengan teknologi lisensor Mitsubishi Superconverter. Reaksi yang terjadi pada reaktor sintesa metanol adalah sebagai berikut:





Reaksi (a) merupakan reaksi *overall* sintesa Metanol yang terdiri atas dua reaksi berlanjut, yakni sintesa metanol pada reaksi (b), dan dehidrasi metanol pada reaksi (c) [14]

Effluent reaktor metanol kemudian didinginkan dengan *Crude Methanol Cooler* (E-511) dari 300°C menjadi 62°C. Untuk memanfaatkan kandungan *syngas* yang belum bereaksi, dilakukan pemisahan awal *syngas* dan *crude methanol* dengan *Crude Methanol Flash Separator* (D-510) yang sebelumnya diekspansikan *Crude Methanol Expander Valve* (K-512). Produk atas kemudian masuk ke dalam *Splitting Point* untuk mengatur *recycle ratio* (8:2) *syngas* yang kembali sebagai *feed* reaktor metanol dan yang dibuang sebagai *purge gas*. *Syngas* yang di-*recycle* dikompresikan sampai 52 bar dengan *Syngas Recycle Compressor* (G-513), dan kemudian dicampurkan dengan *feed* awal hasil reaktor WGS melalui *Mixing Point*. Ini merupakan loop untuk proses sintesis metanol.

E. Unit Purifikasi Metanol

Selanjutnya pada Gambar 7, metanol yang telah dihasilkan proses sintesis metanol, bernama *crude methanol*, kemudian dipurifikasi untuk mendapatkan spesifikasi metanol produk grade AA.

Metode purifikasi yang digunakan adalah distilasi kolom ganda, yang terdiri dari *Light End* dan *Atmospheric*. Aliran bawah *Crude Methanol Flash Separator* (D-510) menuju pemisahan distilasi pertama yaitu *Light End Distillation Column* (D-520), yang memisahkan gas ringan (*syngas* yang belum bereaksi) dengan metanol/air. Setelah dilakukan pemisahan pada *Light End Distillation Column* (D-520), aliran atas akan menuju *purge gas* yang sama dengan bagian kecil aliran atas *Methanol Flash Separator* (D-510), sedangkan aliran bawah merupakan campuran metanol/air yang selanjutnya akan dipisahkan di bagian kedua distilasi yaitu *Atmospheric*. Pada *Atmospheric Distillation Column* (D-520), produk atas yang dihasilkan adalah metanol dengan grade AA yaitu min. 99,85 %wt yang akan dikirimkan menuju pendingin sebelum masuk ke dalam *storage tank* berkapasitas 14 hari dengan bantuan pompa *Methanol Pump* (L-539), sedangkan produk bawah adalah air proses yang akan lebih lanjut diproses di WWTP dengan bantuan pompa *Process Water Pump* (L-535B). Sebelum masuk ke dalam *Storage Tank* (T-537 A/B/C), produk metanol didinginkan dengan *Methanol Cooler* (E-536) sampai suhu 30°C. Dalam proses pengaliran menuju konsumen, metanol dikirim dengan bantuan kapal tanker yang datang 16 kali per bulan. Untuk menyuplai metanol ke kapal tanker, disiapkan pompa *Methanol Transfer Pump* (L-538).

IV. NERACA MASSA DAN ENERGI

Berdasarkan perhitungan neraca massa diperoleh bahwa dengan 79.545 kg/jam batubara dapat diolah untuk menghasilkan 630.000 ton/tahun atau sekitar 1.909.100 kg/jam Metanol. Dalam proses produksi dibutuhkan oksigen sebesar 2.558,4 kg/jam. Dari proses produksi Metanol dalam pra-desain pabrik ini, dihasilkan *waste water* sejumlah 26.055 kg/jam dan *purge gas* sejumlah 375.941 kg/jam. Selain itu,

berdasarkan perhitungan neraca energi pabrik ini akan membutuhkan utilitas berupa *steam* sejumlah 303.721,23 kg/jam, dan *cooling water* sejumlah 5.363.595,23 kg/jam. Adapun kebutuhan power yang dibutuhkan untuk pengoperasian pabrik metanol dari batubara sebesar 24.871,99 kW.

V. ANALISA EKONOMI

Analisa ekonomi merupakan parameter penting yang sangat diperlukan untuk analisa kelayakan berdirinya suatu pabrik. Pada pra desain pabrik metanol dari batubara ini dilakukan evaluasi atau studi kelayakan dan penilaian investasi berikut dengan analisa terhadap aspek sosial dan lingkungan yang diberikan oleh pabrik ini.

A. Asumsi-asumsi

Perhitungan analisa ekonomi ini dilakukan dengan menggunakan metode *discounted cashflow* yang nilainya diproyeksikan pada masa sekarang. Adapun asumsi-asumsi yang digunakan adalah sebagai berikut.

- Kapasitas produksi: 630.000 ton/tahun
- Modal investasi:
 - Modal sendiri (*equity*) = 40%
 - Modal pinjaman (*loan*) = 60%
- Umur pabrik: 15 tahun
- Pajak pendapatan yang terdapat pada Pasal 17 ayat 2 Tahun 2000
 - Rp 0 - Rp 50.000.000 = 5%
 - Rp 50.000.000 - Rp 250.000.000 = 15%
 - Rp 250.000.000 - Rp 500.000.000 = 25%
 - Lebih dari Rp 500.000.000 = 30%
- Basis perhitungan ekonomi: 1 tahun
- Nilai tukar rupiah [1US\$]: Rp.15.000
- Tahun pengadaan peralatan: 2022
- Tahun mulai konstruksi: 2022
- Lama konstruksi: 2 tahun
 - Tahun pertama menggunakan 50% modal sendiri dan 50% pinjaman
 - Tahun kedua menggunakan sisa modal sendiri dan modal pinjaman
- Tahun mulai beroperasi: 2025
- Pembayaran kepada kontraktor dengan modal pinjaman dilakukan secara diskrit dengan cara berikut:
 - Pada masa awal konstruksi (tahun pertama [2]) dilakukan pembayaran sebesar 50% dari modal pinjaman bank untuk keperluan pembelian tanah dan uang muka
 - Pada akhir tahun kedua konstruksi (tahun kedua [1]) dibayarkan sisa pinjaman bank
- Pengembalian modal pinjaman dalam 10 tahun = 10% per tahun
- Suku bunga bank: 8% akan dibayar dalam jangka waktu 10 tahun. (Sumber: Suku Bunga Dasar Kredit | BNI)
- Laju inflasi: 2,18 % (Sumber: Data Inflasi (bi.go.id)). Meliputi nilai kenaikan harga bahan baku dan biaya operasi (biaya bahan penolong, biaya utilitas serta biaya tetap)
- Kapasitas produksi:
 - Tahun I = 60%
 - Tahun II = 80%

c. Tahun III = 100%

16. Bahan baku utama yang diperlukan adalah batubara berkualitas rendah atau *low-rank coal*.

B. CAPEX dan OPEX

Capital Expenditures (CAPEX) adalah pembelian utama yang dilakukan perusahaan yang dirancang untuk digunakan dalam panjang, sedangkan *Operating Expenses* (OPEX) adalah pengeluaran sehari-hari yang dikeluarkan perusahaan untuk menjaga operasional bisnisnya.

1) Capital Expenditures (CAPEX)

CAPEX merupakan dana yang digunakan oleh perusahaan untuk memperoleh, meningkatkan, dan memelihara asset fisik seperti *property*, pabrik, bangunan, teknologi, atau peralatan. Pada perhitungan, nilai dari CAPEX yaitu sama dengan *Fixed Capital Investment* (FCI) dimana FCI meliputi asset-asset utama yang dimiliki perusahaan. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan nilai dari CAPEX yaitu sebesar \$205.310.456.

2) Operating Expenses (OPEX)

Penentuan OPEX atau Total Production Cost (TPC) terdiri dari biaya produksi langsung/*Direct Production Cost* (DPC), biaya tetap/*Fixed Cost* (FC), *Plant Overhead Cost* (POC), pengeluaran umum/*General Expenses* (GE), dan biaya pembangunan/*Manufacturing Cost* (MC). Sehingga berdasarkan perhitungan nilai dari TPC yaitu sebesar \$110.382.415.

C. Faktor Kelayakan Pendirian

Faktor-faktor yang perlu ditinjau untuk memutuskan layak atau tidaknya pabrik ini didirikan yaitu *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), *Pay Out Time* (POT), *Break Even Point* (BEP), dan Sensitivitas terhadap IRR.

1) Net Present Value (NPV)

Net Present Value merupakan selisih nilai modal atau kas masuk dengan pembelanjaan atau kas keluar. NPV digunakan untuk perhitungan modal guna menganalisa kemungkinan keuntungan suatu proyek maupun investasi yang akan dilakukan. Dengan asumsi percent equity sebesar 15% maka didapatkan nilai dari NPV sebesar \$327.164.565 dengan nilai WACC sebesar 10,8%. NPV yang bernilai positif menyatakan bahwa pabrik ini layak untuk didirikan.

2) Internal Rate of Return (IRR)

Perhitungan IRR menggunakan metode cash flow merupakan suatu tingkat bunga tertentu dimana seluruh pendapatan akan tepat menutup seluruh jumlah pengeluaran pabrik/perusahaan. Diperoleh nilai dari *i* (*discounted factor*) yaitu sebesar 28,69% yang mana lebih besar dari bunga bank yaitu sebesar 8%. Hal ini menunjukkan bahwa pabrik layak didirikan.

3) Pay Out Time (POT)

POT merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan modal suatu pabrik / perusahaan. Berdasarkan perhitungan didapatkan waktu pengembalian modal yang dibutuhkan dalam pendirian pabrik ini yaitu selama 6 tahun 6 bulan dimana masih kurang dari setengah umur pabrik sehingga pabrik masih layak didirikan.

4) Break Even Point (BEP)

BEP digunakan untuk mengetahui besarnya kapasitas produksi dimana biaya produksi total sama dengan hasil penjualan. BEP dipengaruhi oleh FCI, Biaya Variabel, Biaya Semi-Variabel, dan Total Penjualan. Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai dari BEP yaitu sebesar 29,62% atau sekitar 186.606 ton per tahun.

5) Sensitivitas terhadap IRR

Sensitivitas terhadap IRR digunakan untuk analisa terhadap perubahan-perubahan yang terjadi, misalnya terhadap kenaikan biaya bahan baku, dll. Variabel-variabel yang digunakan yaitu biaya bahan baku, biaya pendirian pabrik, dan biaya penjualan dengan basis per tahun.

Berdasarkan pada gambar 8, dapat disimpulkan bahwa perubahan terhadap biaya penjualan dan bahan baku sangat memberikan dampak terhadap perubahan IRR namun keduanya memberikan perbedaan dimana kenaikan biaya bahan baku berarti penurunan IRR sedangkan kenaikan biaya penjualan berarti kenaikan IRR. Tidak hanya itu, perubahan pada biaya pendirian pabrik juga memberikan perubahan yang cukup signifikan terhadap IRR.

VI. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian proses pada bab-bab sebelumnya, dapat disimpulkan hal-hal berikut ini; (1) Perencanaan Operasi: 24 jam/hari selama 330 hari (1 tahun); (2) Kapasitas Pabrik: 79.545 ton/jam batubara masuk; (3) Hasil produksi Metanol: 630.000 ton/tahun; (4) Lokasi Pendirian Pabrik: Kutai Timur, Kalimantan Timur; (5) Umur Pabrik: 15 Tahun; (6) Masa Kontruksi: 2 Tahun; (7) Analisa Ekonomi terdiri dari; (a) Permodalan, CAPEX: \$205.310.456, OPEX: \$110.382.415; (b) Penerimaan, Hasil penjualan/tahun: \$252.000.000; (c) Rentabilitas: Bunga Bank: 8%, Laju Inflasi: 2,18%, IRR: 28,69%, *Pay Out Time*: 6 Tahun 6 Bulan, *Break Even Point*: 29,62%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Perindustrian, *Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional (RIPIN) 2015-2035*. Jakarta: Kementerian Perindustrian, 2015.
- [2] A. , & D. F. Besile, *Methanol Science and Engineering*. Amsterdam: Elsevier, 2018.
- [3] E. Supp, *How to Produce Methanol from Coal*, 1st ed. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 1990.
- [4] Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, "Laporan Kinerja Kementerian ESDM Tahun 2022," Jakarta, 2022.
- [5] C. Higan and S. Tam, "Advances in coal gasification, hydrogenation, and gas treating for the production of chemicals and fuels," *Chem Rev*, vol. 114, no. 3, pp. 1673–1708, 2014.
- [6] L. G. Austin and O. Trass, *Size Reduction of Solids Crushing and Grinding Equipment*. New York: Springer Nature, 1997.
- [7] J. S. Brar, K. Singh, J. Wang, and S. Kumar, "Cogasification of coal and biomass: a review," *International Journal of Forestry Research*, vol. 2012, pp. 1–10, 2012, doi: 10.1155/2012/363058.
- [8] M. M. Khan, J. P. Mmbaga, A. S. Shirazi, J. Trivedi, Q. Liu, and R. Gupta, "Modelling underground coal gasification-A review," *Energies*, vol. 8, no. 11. MDPI AG, pp. 12603–12668, 2015. doi: 10.3390/en8112331.
- [9] A. Kohl and R. Nielsen, *Gas Purification*. Texas: Gulf Publishing Company, 1997.
- [10] V. Dieterich, A. Buttler, A. Hanel, H. Spliethoff, and S. Fendt, "Power-to-liquid via synthesis of methanol, DME or Fischer-tropsch-fuels: a review," *Energy and Environmental Science*, vol. 13, no. 10. Royal Society of Chemistry, pp. 3207–3252, Oct. 01,

2020. doi: 10.1039/d0ee01187h.
- [11] Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, "Road Map dan Pengembangan Batubara," Jakarta, 2021.
- [12] Muchjidin, *Pengendalian Mutu dalam Industri Batubara*, 1st ed. Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2006.
- [13] & T. Peters, *Plant Design and Economic for Chemical Engineering*, 4th ed. New York: McGraw-Hill, 1991.
- [14] R. Timsina, R. K. Thapa, B. M. E. Moldestad, and M. S. Eikeland, "Methanol Synthesis from Syngas: a Process Simulation," in *Proceedings of The First SIMS EUROSIM Conference on Modelling and Simulation, SIMS EUROSIM 2021*, Finland: Linköping University Electronic Press, 2021, pp. 444–449. doi: 10.3384/ecp21185444.