POTENSI PEMANFAATAN CO₂ DAN HIDROGEN SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF DI INDONESIA

The Potency Of Co₂ and Hydrogen Utilization as An Alternative Fuel in Indonesia

Tata Sutardi dan Abdul Hamid Budiman

Balai Besar Teknologi Konversi Energi (B2TKE)

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)

Gedung 621, Klaster Energi, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan 15314

Email: tata.sutardi@bppt.go.id

Diterima: 16 April 2020; Diperiksa: 8 Mei 2020; Revisi: 25 Mei 2020; Disetujui: 8 Juni 2020

Abstract

Indonesia has various types of energy sources, either from conventional energy sources or from new and renewable energy sources. Currently, Indonesia has a program to construct of 35 GW of coal-fired power plant, as well as an intensive development of Geothermal power plant, since it's reserve is abundant. The construction of these types of power plants has a potency to increase Green House Gas (GHG) production, and therefore it necessarily needs to be anticipated. In 2018, there was 543 million ton of CO₂ produced in Indonesia and about a half sourced from power generation sectors. Referring to the ratio of 1 to 1.5 of CO₂ converted with the process of hydrogenation, this indicates a promising amount of methanol can be obtained. However, there are some challenges need to be overcome to achieve this beneficiary. This paper encloses a description of each challenge, with the main description is on the potency of implementation in Indonesia. Some models from existing development are described, to identify the process of development. This information can be used as a consideration for the implementation in Indonesia.

Keywords: CO₂ utilization, Metanol formation, Hydrogen, Green House Gas, Geothermal power plant, Gas power plant

Abstrak

Indonesia memiliki variasi jenis sumber energi yang beragam, baik itu dari sumber energi konvensional ataupun sumber energi baru dan terbarukan. Pada saat ini Indonesia memiliki program pembangunan PLTU berbahan bakar batubara sebesar 35 GW, dan sedang digencarkannya pembangunan PLTP, mengingat potensi panas bumi yang berlimpah. Pembangunan kedua jenis pembangkit listrik tersebut berpotensi untuk meningkatkan produksi Gas Rumah Kaca (GRK), sehingga diperlukan antisipasi terhadap peningkatan ini. Pada tahun 2018, dihasilkan 543 juta ton CO₂ dari berbagai aktifitas di Indonesia, dan sekitar setengahnya merupakan sumbangsih dari pembangkit listrik. Mengacu pada angka rasio sekitar 1 sd 1,5 CO₂ dapat diubah menjadi metanol melalui proses hidrogenasi, maka ini menunjukkan bahwa potensi produksi metanol dengan memanfaatkan CO₂ yang ada sangat besar. Namun demikian, masih terdapat berbagai tantangan yang harus diatasi untuk mencapai kondisi tersebut. Makalah ini menyertakan informasi atas tantangan dalam pengembangan metanol tersebut, namun fokus utamanya adalah pada potensi penerapannya di Indonesia. Beberapa model yang sedang dikembangkan di dunia pada saat ini dijelaskan untuk mengidentifikasi proses yang sesuai dengan penerapannya di Indonesia. Informasi ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan untuk penerapan pembangunan fasilitas pemanfaatan CO₂ untuk menjadi metanol di Indonesia.

Kata kunci: pemanfaatan CO₂, gas rumah kaca, H₂, pembuatan metanol, PLTU dan PLTP

1. PENDAHULUAN

Batubara diprediksi masih akan menjadi sumber utama energi listrik di dunia, setidaknya hingga tahun 2040 (DOE/IEA., 2016; World Energy Council., 2016). Bahkan di Indonesia, batubara diproyeksikan akan menyumbang sekitar 50% dari total kapasitas pembangkit listrik (sekitar 332 GW)

pada tahun 2050 (PPIPE, 2020). Permasalahan utama dari penggunaan batubara sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) adalah gas buang karbon dioksida, CO₂, yang merupakan gas rumah kaca (GRK). Dengan demikian, peningkatan pembangunan pembangkit listrik berbahan bakar batubara ini berpotensi

meningkatkan produksi GRK di Indonesia. Pada sisi lain, Indonesia telah berkomitmen melalui COP-21 di Paris tahun 2015, untuk mengurangi tingkat emisi GRK sebanyak 29% dengan usaha sendiri melalui skema *Business as Usual* pada tahun 2030 dan 41% dengan bantuan internasional. Target angka penurunan emisi GRK Indonesia ini ditulis di dalam dokumen *Updated Nationally Determined Contribution* (NDC) Indonesia yang sedang disusun dan akan disahkan oleh Presiden RI.

Selain dari pembangkit listrik berbahan bakar batubara yaitu PLTU, Indonesia memproyeksikan untuk peningkatan pembangkit listrik dari sumber energi baru dan terbarukan, salah satunya adalah dari energi panas bumi (*geothermal*). Hingga Desember 2019, diperkirakan potensi energi panas bumi di Indonesia adalah sekitar 23,9 GW, dan baru dimanfaatkan sekitar 8,9% atau setara dengan 2,13 GW (EBTKE, 2019). Namun, Pembangkit Listrik Tenaga Panas bumi (PLTP) ini juga pada umumnya menghasilkan CO₂, dan besarnya sangat bervariasi tergantung pada sumber yang ada. Secara rata-rata, diperkirakan setiap 1 MW listrik dari PLTP menghasilkan sekitar satu per delapan (12,5%) CO₂ dari pembangkit listrik berbahan bakar batubara pada kapasitas yang sama (Wikipedia., 2020).

Dengan demikian, peningkatan kapasitas daya listrik melalui pembangunan pembangkit seperti yang disebutkan di atas berpotensi untuk meningkatkan produksi GRK di Indonesia. Untuk itu, agar ini sejalan dengan komitmen Indonesia untuk menurunkan emisi GRK, maka diperlukan strategi penurunan GRK dengan konsep memanfaatkan CO₂ (*CO₂ utilization*). Konsep ini dapat menjadi suatu terobosan bagi pemerintah Indonesia untuk menjalankan komitmen penurunan GRK di tengah upaya meningkatkan kapasitas pembangkit listrik yang sedang dilakukan. Proyeksi pertumbuhan kapasitas pembangkit listrik dari berbagai sumber energi di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 1.

Gambar 1. Proyeksi pertumbuhan pembangkit di Indonesia (PPIPE., 2020)

2. BAHAN DAN METODE

Makalah ini dibuat dengan cara mengumpulkan data melalui berbagai literatur untuk kemudian direview agar mendapatkan informasi yang

dibutuhkan. Informasi yang dibutuhkan meliputi potensi jumlah CO₂ di Indonesia, status teknologi pemanfaatan CO₂ dan Hidrogen dalam pembuatan metanol, serta informasi terkait biaya dan keekonomiannya.

2.1. Potensi Emisi CO₂ di Indonesia

Sumber emisi CO₂ dapat berasal dari berbagai sektor atau aktifitas, diantaranya adalah: kilang minyak, pembangkit listrik, aktifitas rumah tangga, transportasi, industri dan lain sebagainya. Proyeksi pertumbuhan CO₂ dari berbagai sektor tersebut, dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2. Proyeksi pertumbuhan CO₂ dari berbagai sumber dan sektor aktifitas di Indonesia (PPIPE, 2020)

Berdasarkan informasi yang terlihat pada Gambar 2, dapat dilihat bahwa sektor pembangkit listrik memiliki kontribusi terbesar dalam menghasilkan CO₂, dan ini berpotensi terus meningkat seiring dengan pertumbuhan kebutuhan listrik di Indonesia. Oleh sebab itu, upaya pemanfaatan CO₂ dari pembangkit listrik sangat relevan untuk dikembangkan.

2.2 Status Pengembangan Sintesa Metanol

Pasar global untuk kebutuhan metanol terus meningkat. Pertumbuhan kebutuhan metanol sekitar 6% per-tahun, dan pada tahun 2019 terserap sekitar 83 juta metrik Ton di dunia (Klein, T., 2020). Diperkirakan kebutuhan ini terus meningkat, dan hal inilah yang mendorong berkembangnya industri metanol.

Metanol dapat disintesa dari bahan baku berupa gas alam, batubara atau biomassa/*renewable sources*. Seiring dengan perkembangan teknologi proses, pada saat ini pembuatan metanol juga dikembangkan dengan memanfaatkan gas CO₂. Metanol dari hasil pemanfaatan CO₂ ini sering disebut sebagai *low carbon metanol* (Klein, T., 2020). Pada proses ini, CO₂ direaksikan dengan H₂, yang dalam hal ini didapat melalui proses elektrolisa. Energi listrik yang digunakan untuk proses elektrolisa, diupayakan bersumber dari energi terbarukan. Metanol yang dihasilkan melalui proses ini, sering disebut sebagai *Renewable metanol*.

Pada saat ini, beberapa perusahaan di dunia telah melakukan komersialisasi produksi metanol tersebut. Beberapa perusahaan tersebut seperti

yang terlihat pada Tabel 1, diantaranya adalah CRI, Innogy, GPIC, Methanex, Qafac, dan SABIC (Klein, T., 2020). Selain kegiatan komersial, upaya peningkatan kelayakan secara ekonomi, penelitian dan pengembangan produksi metanol ini juga dilakukan.

Tabel 1. Perkembangan komersialisasi metanol melalui pemanfaatan emisi CO₂ dan renewable H₂

Methanol category	Commercial	Feasibility and R&D
Renewable methanol	<ul style="list-style-type: none"> ■ CRI (IC) ■ Innogy (GER) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Advanced Chemical Technologies (CAN) ■ Asahi Kasei (JPN) ■ Blue Fuel Energy (CAN) ■ bse Engineering (GER) ■ Catalytic Innovations (USA) ■ CRI (CN/GER) ■ Gensoric (GER) ■ Infraser (GER) ■ Liquid Wind (SE) ■ MeCO₂ (GER) ■ Neo-H₂ (USA) ■ Port of Antwerp (BE) ■ Quantum Technologies (CAN) ■ STEAG (GER) ■ Swiss Liquid Future (CH) ■ thyssenkrupp (GER) ■ USC (USA) ■ ZASt (GER)
Low carbon methanol	<ul style="list-style-type: none"> ■ GPIC (BAH) ■ Methanex (CAN) ■ QAFAC (QAT) ■ SABIC (KSA) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Carbon2Chem (GER) ■ FRESME (SE) ■ GasTechno (USA) ■ Haldor Topsoe (DEN) ■ Maverick Synfuels (USA) ■ NCF (CN) ■ OPTIMEOH (GER)

2.3. Status Kajian Keekonomian Proses Sintesa Metanol

Tingkat keekonomian dari proses pembuatan metanol dengan memanfaatkan CO₂ dan H₂ sangat bergantung pada kondisi proses, dan pilihan teknologi yang digunakan. Hasil kajian tekno ekonomi dari literatur (Zhang H. dkk, 2019), dengan model studi kasus pada kapasitas produksi 100 kilo ton metanol per tahun, dengan memanfaatkan 150 kilo ton CO₂, dan menggunakan energi listrik sebanyak 800 GWh untuk elektrolisa air mendapatkan H₂. Kajian tekno ekonomi tersebut, menggunakan asumsi-asumsi seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Asumsi perhitungan tekno ekonomi (Zhang H. dkk, 2019)

Economic Parameter	Value	Unit
Project lifetime	25	year
Loan interest rate	10	%
Annual operating hours (AOH)	7200	hours/year
Exchange rate (€ to \$)	1.18	-
Electricity price (import)	73.16	\$/MWh
Methanol price	504	\$/ton
Catalyst (methanol reactor)	21.36	\$/kg
Catalyst lifetime (methanol reactor)	4	year
Oxygen price	177	\$/ton
Carbon dioxide captured	59	\$/ton
Carbon dioxide trading	5.9	\$/ton
Process water price	0.4756	\$/ton
Operator salary	52,900	\$/year

Dengan menggunakan model MCP (*Minimum Cost Point*) dalam perhitungan desainnya, maka diperlukan biaya investasi sebesar 134 juta USD. Hasil perhitungan tekno ekonomi dari data di atas menunjukkan bahwa *payback time* akan dicapai dalam waktu 13,5 tahun. Tentu saja hasil ini bukanlah hal yang menarik dari potensi bisnis

(tidak *feasible*). Hasil studi ini juga menunjukkan bahwa faktor utama yang berpengaruh dalam komponen perhitungan di atas adalah biaya listrik. Apabila *rate* biaya listrik pada simulasi awal di atas dikurangi menjadi 47 USD/MWh, maka akan di dapat *payback time period* yang lebih cepat, yaitu sekitar 4,6 tahun. Bahkan, lebih lanjut lagi, jika penurunan biaya listrik dilakukan sehingga biayanya menjadi 24 USD/MWh, maka akan didapat *payback period* yang lebih singkat, yaitu hanya 2,8 tahun. Dengan demikian, dapat dilihat bahwa biaya listrik memiliki peran yang sangat penting dalam hal pencapaian tingkat keekonomian dari bisnis ini.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Konsep Pemanfaatan CO₂

Setidaknya terdapat sepuluh upaya/produk yang dapat dilakukan/didapat dengan memanfaatkan CO₂ (Hepburn, C dkk., 2019), yaitu: pembuatan produk kimia (*chemical stock*), pembuatan bahan bakar, pembuatan produk dari *microalgae*, pembuatan *concrete* untuk bangunan, dimanfaatkan untuk proses *oil recovery* (*enhancement oil recovery process*), pemanfaatan sebagai *bioenergy* melalui *carbon capture and storage* (BECCS), pengaturan cuaca (*enhanced weathering*), pemanfaatan pada penanaman hutan, meningkatkan *organic carbon content* pada lahan/tanah, dan sebagai *biochar*. Makalah ini fokus membahas pada proses pemanfaatan CO₂ menjadi bahan bakar (*fuel*) melalui proses hidrogenisasi membentuk metanol. Metanol, dikenal sebagai metil alkohol atau spiritus, adalah senyawa kimia yang memiliki rumus kimia CH₃OH, dan merupakan bentuk alkohol paling sederhana. Pada keadaan atmosfer berbentuk cairan yang ringan, mudah menguap, tidak berwarna, mudah terbakar, dan beracun dengan bau yang khas. Metanol umumnya digunakan sebagai bahan pendingin anti beku, pelarut, bahan bakar dan sebagai bahan aditif bagi industri.

Tabel 3. Reaksi pembentukan Metanol (Mustafaa, A., 2020; Sutardi, T., 2019; Sutardi, T., 2020)

Reaksi	Enthalpi	No
CO ₂ (g) + H ₂ (g) → CO(g) + H ₂ O(g)	+40,9 kJ/mol	(1)
CO(g) + 2H ₂ (g) → CH ₃ OH(g)	-90,8 kJ/mol	(2)
CO ₂ (g) + 3H ₂ (g) → CH ₃ OH(g) + H ₂ O	-49,9 kJ/mol	(3)

Reaksi pembentukan metanol dapat dilihat pada Tabel 3. Sebagaimana dilihat pada tabel tersebut, bahwa secara keseluruhan reaksi Hidrogenisasi terhadap CO₂ merupakan reaksi eksotermik (reaksi nomor 3). Namun demikian, proses ini akan diawali oleh reaksi yang memerlukan energi (endotermik), sebagaimana

dapat dilihat pada reaksi nomor 1. Dengan demikian, reaksi ini lebih sulit terjadi dan diperlukan energi awal untuk menciptakan kondisi reaksi sehingga dapat berlangsung. Oleh sebab itu pada umumnya digunakan katalis sebagai media pendorong reaksi hidrogenasi ini (Stangeland, K., 2020).

Pada Tabel 3, dapat dilihat bahwa selain CO_2 , dibutuhkan Hidrogen (H_2) untuk pembuatan metanol. Hidrogen umumnya didapat melalui proses elektrolisa air (H_2O) yang memerlukan energi listrik. Berdasarkan studi kasus yang disampaikan pada bagian keekonomian, dapat dilihat bahwa komponen biaya listrik memiliki pengaruh yang sangat penting. Sehingga, diupayakan biaya pembelian listrik untuk kebutuhan elektrolisa ini dapat diminimalisir. Salah satu upayanya adalah dengan memanfaatkan daya listrik dari sumber energi terbarukan. Meskipun, dalam hal ini akan diperlukan biaya investasi yang lebih tinggi. Dengan *lifetime* yang lama dari peralatan untuk proses sintesa metanol dan menggunakan sumber energi listrik terbarukan, diharapkan mampu menurunkan biaya listrik yang digunakan, sehingga bisnis ini menjadi lebih *feasible*.

3.2. Pemanfaatan Hidrogen

Hidrogen merupakan unsur paling melimpah di alam semesta, yang ditemukan di banyak senyawa kimia, tetapi sebagai gas, hidrogen jarang terjadi secara alami. Produksi hidrogen yang dilakukan dalam skala besar memiliki potensi untuk memainkan peranan penting dalam mengatasi perubahan iklim. Memproduksi hidrogen dengan metode rendah karbon berpotensi mengurangi emisi yang dihasilkan oleh karbon dioksida. Produksi hidrogen memainkan peran kunci dalam masyarakat industri mana pun, karena hidrogen diperlukan untuk banyak proses kimia. Pada tahun 2019, sekitar 70 juta ton hidrogen diproduksi setiap tahun di seluruh dunia untuk berbagai kegunaan, seperti penyulingan minyak, produksi amonia dan metanol dan juga sebagai bahan bakar pada sektor transportasi.

Pada dasarnya, hidrogen dapat diproduksi melalui proses termokimia, elektrolisa dan biologi. Proses pembuatan hidrogen melalui proses termokimia/ *thermochemical process* dilakukan dengan melibatkan penggunaan panas dan reaksi kimia untuk melepaskan gas hidrogen dari senyawa karbon seperti gas alam, biomassa dan batu bara. Adapun contoh proses produksi hidrogen dengan proses termokimia adalah *steam methane reforming*, *coal gasification* dan *biomass gasification*. Pada produksi hidrogen melalui elektrolisa, maka diperlukan air dan tenaga listrik untuk menguraikan air menjadi hidrogen dan oksigen. Sedangkan proses produksi hidrogen melalui proses biologi/*biological process* melibatkan penggunaan bakteri dan alga. Pada proses ini dihasilkan biohidrogen yang dihasilkan dari bahan-bahan terbarukan seperti biomasa, limbah biomasa, limbah pertanian maupun limbah

industri melalui proses biologi yang melibatkan mikroba.

Mayoritas hidrogen dihasilkan dari metana, menggunakan *steam methane reformers* (SMRs) yang meledakkan gas alam dengan suhu tinggi dan *steam* bertekanan tinggi. Proses ini merupakan proses intensif energi yang membutuhkan bahan bakar fosil dan aliran limbah karbon dioksida, sehingga penggunaannya terbatas untuk dekarbonisasi sistem energi. Untuk memproduksi 1 kg hidrogen dengan menggunakan elektrolisa diperlukan sekitar 50 kWh listrik. Oleh karena itu sumber listrik yang digunakan menjadi faktor dalam produksi hidrogen dengan proses elektrolisa. Hidrogen yang dihasilkan melalui proses elektrolisa dengan menggunakan listrik yang dihasilkan dari sumber energi terbarukan, maka hidrogen yang dihasilkan adalah bahan bakar nol karbon, metode ini diharapkan memainkan peran yang semakin penting di masa depan.

Elektroliser dapat diintegrasikan dengan jaringan dengan cara mengaktifkannya dan mengkonsumsi daya berlebih di siang hari (surya) atau malam (angin), hal tersebut mampu menjaga stabilitas jaringan sekaligus dapat memproduksi hidrogen secara ekonomis.

Energi terbarukan seperti matahari dan angin, dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan hidrogen secara ekonomis. Selain itu dengan menggunakan bioenergi atau bahan bakar fosil dengan sistem *Carbon Capture and Storage* (CCS) (Quarton, C.J dkk., 2020).

Hidrogen dapat digunakan pada banyak aplikasi energi seperti pemanas, transportasi, industri dan pembangkit listrik. Selain itu, hidrogen juga berpotensi sebagai perantara energi karena produksinya dapat menggunakan listrik atau panas, atau keduanya. Saat ini upaya penelitian dan pengembangan di bidang ini terus dilakukan seperti sistem modular, konsep terukur untuk sistem produksi hidrogen yang dapat dikirim, pengiriman dan penyimpanan hidrogen, dan pencairan. Siklus Hidrogen dari proses produksi sampai pemanfaatannya dapat digambarkan seperti pada Gambar 3.

Gambar 3. Siklus hidrogen (Quarton, C.J dkk., 2020)

Industri hidrogen telah banyak tersedia dan sektor industri telah menggunakan hidrogen sebagai bahan baku selama puluhan tahun.

Hidrogen di pasar bahan baku memiliki nilai perkiraan total sebesar USD 115 miliar dan diperkirakan akan terus bertambah secara signifikan di tahun-tahun mendatang, mencapai USD 155 miliar pada tahun 2022 (IRENA., 2018).

3.3. Potensi Penerapan di Indonesia

Dengan melihat sumber emisi CO₂ yang ada di Indonesia yang berasal dari pembangkit listrik, dan mempertimbangkan banyaknya potensi sumber energi terbarukan di Indonesia, maka pemanfaatan CO₂ dengan hidrogenasi untuk sintesa metanol menjadi alternatif yang menarik. Secara lebih spesifik, makalah ini mencoba menganalisa potensi aplikasinya pada area sumber pembangkit listrik, yaitu PLTU dan PLTP. Dari sisi lokasi pembangkit, PLTU cenderung terletak pada area dataran rendah atau di sekitar laut, sedangkan PLTP cenderung berada pada dataran tinggi. Tantangan berikutnya adalah mendapatkan sumber listrik untuk proses elektrolisa dari sumber energi terbarukan.

3.3.1. Penerapan pada Area PLTU

Komponen utama dari pembentuk metanol adalah CO₂ dan H₂. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah untuk mendapatkan sumber H₂. Tentunya sumber CO₂ dari PLTU dapat dikatakan berlimpah. Hanya saja penyiapan fasilitas berupa CO₂ storage dan proses pemurniannya harus disiapkan, sehingga dapat digunakan secara optimal untuk proses sintesa metanol. Selanjutnya adalah penyiapan fasilitas penyedia hidrogen. Hidrogen didapat melalui proses elektrolisa air yang pada PLTU tepi laut dapat bersumber dari air laut. Proses hidrogen memerlukan energi listrik, sehingga perlu dipenuhi kebutuhan listrik untuk penyiapan bahan baku hidrogen ini. Pada area tepi laut, terdapat potensi sumber daya energi terbarukan, seperti angin, gelombang, energi surya, dan sebagainya. Atau, jika PLTU tersebut memiliki kelebihan daya, maka daya lebih ini juga dapat dipertimbangkan untuk dimanfaatkan. Ilustrasi proses pembuatan metanol di area PLTU dapat dilihat pada Gambar 4.

Gambar 4. Alur proses pembuatan metanol untuk bahan bakar hasil pemanfaatan CO₂ dari sumber PLTU

Gambar 4 memberikan ilustrasi alternatif proses yang dapat dilakukan untuk memproduksi metanol pada area sekitar PLTU. Emisi gas buang hasil pembakaran batubara masuk ke dalam CO₂ plant untuk dipisahkan dari gas lain, kemudian ditampung di dalam tangki (*storage*). Pada bagian terpisah, air dielektrolisa untuk dipisahkan dengan oksigen, sehingga didapat gas H₂. Proses ini berlangsung di dalam suatu fasilitas elektrolisa plant. Proses elektrolisa memerlukan sumber listrik yang cukup besar, sehingga akan lebih ekonomis ketika listrik untuk proses tersebut bersumber dari energi terbarukan. Meskipun untuk pilihan ini perlu dilakukan investasi pembangunan fasilitas pembangkit listrik dari energi terbarukan.

Pilot plant pemanfaatan CO₂ dari lignite coal power plant telah berhasil dibangun dan dioperasikan oleh RWE, sebuah perusahaan operator pembangkit listrik di Jerman. Proyek ini dikenal dengan nama MefCO2, dengan konsep memanfaatkan CO₂ yang diemisikan oleh pembangkit milik RWE bersama dengan H₂ yang diproduksi dari elektrolisa air yang listriknya bersumber dari kelebihan daya listrik pembangkit energi terbarukan (M. Project, 2019). Kapasitas dari *pilot plant* ini adalah 500.000 ton/tahun metanol, dengan rasio produksi sebanyak 1 ton metanol dihasilkan dari 1,5 ton CO₂. *Polymer Electrolyte Membrane* (PEM) *electrolyzer* dengan daya 600 kWel digunakan untuk menghasilkan 120 m³/jam H₂. Sebelumnya (pada tahun 2018), terdapat proyek yang mirip dan juga berlokasi di Jerman, yang dimotori oleh Thyssenkrupp. Hanya saja proyek *Carbon 2Chem* ini memanfaatkan CO₂ dari pabrik *steel*. Demikian juga terdapat beberapa proyek yang dilakukan di tempat lain.

Pada saat ini, pola pemanfaatan CO₂ di sekitar PLTU masih sangat jarang dilakukan. Hal utama adalah terkait permasalahan tekno ekonomi seperti yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya. Namun, pada umumnya permasalahan terkait tekno ekonomi ini akan terurai dengan perjalanan waktu dan perkembangan teknologi. Dari hasil perhitungan tekno ekonomi yang dilakukan (Zhang H. dkk, 2019), dapat dilihat bahwa faktor biaya listrik sangat berpengaruh. Listrik ini digunakan dalam proses sintesa metanol, khususnya untuk proses elektrolisa air menjadi H₂. Selain itu harga pasar metanol juga cukup menentukan, dan tentunya seiring dengan peningkatan kebutuhan produk ini, maka harga ini akan bergeser ke arah yang membuat bisnis ini lebih *feasible*. Khususnya di Indonesia, bahwa pengembangan PLTU masih akan dilakukan untuk periode yang cukup panjang, maka potensi penerapan sintesa metanol ini dapat dipertimbangkan.

3.3.2. Penerapan pada Area PLTP

Prinsip kerja proses pemanfaatan CO₂ untuk pembuatan metanol untuk diterapkan di area PLTP sangat mirip dengan pada penerapan di PLTU. Hanya saja, pada bagian ini, CO₂ yang dapat

dimanfaatkan bersumber dari proses di PLTP yang keluar bersama uap air (*steam*). Komponen yang diperlukan seperti CO₂ *purification* dan *storage*, elektroliser, dan metanol *plant* (seperti pada area PLTU).

Gambar 5. *Demo plant* pemanfaatan CO₂ untuk metanol di area PLTP, Islandia (CRI., 2020).

Pada proses sintesa metanol di area PLTP, *steam* yang keluar dari *steam wells*, dipisahkan dari air di bagian separator. CO₂ yang terkandung di dalam *steam* ini juga dipisahkan dan kemudian di tampung dalam suatu *storage*. Dari separator kemudian uap masuk ke dalam turbin untuk kemudian menggerakkan generator dan menghasilkan listrik. Sebagian listrik ini dapat digunakan untuk proses elektrolisa air, untuk menghasilkan H₂.

Salah satu contoh penerapan proses pembuatan metanol dari CO₂ pada area *geothermal* adalah terdapat di Svartsengi, Islandia (*demo plant*). Proyek ini dikerjakan oleh *Carbon Recycling International* (CRI), suatu perusahaan yang fokus pada pengembangan metanol, dan berkedudukan di Reykjavik, ibu kota Islandia. Gambar 5 di atas memperlihatkan lokasi dan posisi masing-masing fasilitas yang digunakan untuk memproduksi metanol. *Demo plant* ini memiliki kapasitas 4.000 ton/tahun, dengan memanfaatkan CO₂ sebanyak 5.600 ton/tahun, dan produksi H₂ sebanyak 800 ton/tahun (CRI-Iceland, 2020). CO₂ berasal dari operasional *geothermal*, dan H₂ berasal dari elektrolisa air dengan sumber listrik berasal dari *Renewable Energy Sources* (RES) yang diambil dari grid dan memiliki daya 7 MW (*base-load*).

CRI juga membuka kerja sama komersial untuk pengembangan sintesa metanol dengan teknologi mereka. Salah satunya yang sedang *ongoing* proses adalah di Norwegia. Kapasitas yang direncanakan adalah 50.000 ton/tahun metanol,

namun teknologi ini memanfaatkan sekitar 75.000 ton/tahun CO₂ yang bersumber dari emisi pembangkit listrik. Untuk kebutuhan elektrolisa digunakan sekitar 70 MW energi listrik yang diambil dari grid di Norwegia, yang diperkirakan akan menghasilkan sekitar 10.000 ton/tahun H₂. Nilai investasi proyek ini sekitar 100 juta Euro.

Penerapan teknologi pemanfaatan CO₂ di area PLTP juga sudah masuk di dalam rencana pengembangan oleh Pertamina, untuk diterapkan di Indonesia. Saat ini rencana pengembangan masih dilakukan di bawah koordinasi bagian *Research and Technology Center* (RTC)-Pertamina dan *Pertamina Geothermal Energy* (PGE). Direncanakan pada tahun 2021 akan dibangun untuk skala pilot, untuk dilakukan pengembangan dan studi, sehingga diharapkan pada tahun 2024 pembangunan untuk skala komersial dapat dilakukan.

Pembangunan *renewable metanol plant* di Indonesia sangat mungkin dilakukan, terlebih lagi dengan besarnya potensi PLTP yang ada. Fleksibilitas produk keluaran, yaitu dapat berupa listrik (dari PLTP) atau produk dalam bentuk *liquid* (dari hasil sintesa metanol) menjadi salah satu pertimbangan dan nilai tambah bagi pengembangan *metanol plant* ini. Hanya saja, pada saat ini, nilai keekonomian masih menjadi tantangan dalam pengembangannya.

3.4. Tantangan Terhadap Potensi Penerapan di Indonesia

Pembangunan fasilitas pemanfaatan CO₂ menjadi metanol, yang dapat dimanfaatkan secara langsung sebagai bahan bakar, atau bahkan diproses lebih lanjut menjadi bahan bakar alternatif yang lebih spesifik, sangatlah potensial untuk dilakukan di Indonesia. Hal ini dikarenakan pada saat ini, PLTU dan PLTP sedang banyak dibangun dan dikembangkan di Indonesia, khususnya untuk pemenuhan kebutuhan listrik. Pembangunan fasilitas pemanfaatan CO₂ sangat diperlukan untuk mengimbangi pembangunan kedua jenis pembangkit tersebut. Namun, memang masih terdapat beberapa kendala dalam upaya pembangunan fasilitas produksi metanol ini.

Kendala pertama, adalah dalam hal tingkat keekonomian. Hasil perhitungan tekno ekonomi (Zhang H. dkk, 2019) untuk harga *renewable metanol* dengan pemanfaatan CO₂ diperkirakan sekitar 500 USD/ton, sedangkan harga pasar metanol *conventional* sekitar 300 USD/ton (Methanex., 2020). Lebih jauh lagi untuk penerapan di Indonesia, hasil perhitungan tekno ekonomi dengan asumsi kapasitas 4.000 ton/tahun *renewable metanol* diperkirakan seharga hampir 5 kali lipat harga metanol konvensional (hasil presentasi Pertamina, 2020). Perbandingan ini memang belum merupakan perbandingan yang setara, namun jelas mengindikasikan masih tingginya harga *renewable metanol*. Hal inilah yang masih menjadi tantangan terbesar untuk penerapannya di Indonesia.

Kendala kedua adalah dalam hal pem-

bangunan pembangkit listrik sumber energi terbarukan. Pada saat ini, pembangunan pembangkit ini masih belum berkembang pesat. Sehingga, kondisi ini akan menjadi kendala dalam hal pemilihan pembangkit listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik pada proses elektrolisa air menjadi H_2 .

Kendala ketiga adalah dalam hal tidak jelasnya penerapan kebijakan pengurangan karbon (*carbon trade policy*) pada saat ini. Dengan lemahnya kebijakan terhadap pertukaran karbon ini, maka insentif yang dapat diterima bagi pelaku pengurangan emisi karbon menjadi tidak jelas, sehingga mengurangi daya tarik dalam penerapan upaya pengurangan CO_2 .

Kendala keempat yaitu dalam hal pengembangan sistem kelistrikan yang mampu mendukung kesetimbangan grid untuk penyediaan daya listrik pada fasilitas *electrolyzer*. Tentunya dalam pengembangan sistem ini diperlukan investasi pada infrastruktur yang ada. Dan tantangan lain, yang masih perlu dilakukan pengkajian secara lebih mendalam.

4. KESIMPULAN

Potensi pembangunan fasilitas pemanfaatan CO_2 bersama H_2 untuk menghasilkan metanol sangat mungkin untuk dilakukan di Indonesia. Hal tersebut dikarenakan potensi sumber energi terbarukan di Indonesia yang bervariasi, dan sangat besar kapasitasnya, sehingga berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai sarana pemenuhan kebutuhan listrik fasilitas *renewable metanol*.

Potensi penerapan *renewable metanol* pada area PLTU, dapat didorong dengan memulai pengembangan *renewable energy sources* di sekitar pantai. Dengan demikian, PLTU yang terletak di sekitar laut akan lebih berpotensi untuk diterapkan skema pemanfaatan CO_2 untuk *renewable metanol*.

Potensi pengembangan *renewable metanol* di area PLTP juga berpotensi dikembangkan, sehingga perlu dilakukan kajian lebih mendalam, pada aspek teknis dan ekonomis. Meskipun pada saat ini nilai keekonomiannya belum terpenuhi, namun tidak menutup kemungkinan akan terpenuhi di masa yang akan datang seiring dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan metanol di dunia.

Kegiatan penelitian dan pengkajian penerapan *renewable metanol* harus dikembangkan. Bahkan lebih jauh lagi melalui proses kerja sama strategis antara lembaga Litbangjirap dan badan usaha, khususnya badan usaha nasional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada tim PLTP B2TKE-BPPT, dan PT Pertamina, khususnya bagian RTC dan PGE untuk segala dukungannya melalui kegiatan sharing dan

diskusi. Semoga tulisan ini bermanfaat, khususnya dapat mendorong pengkajian lebih lanjut untuk penerapan *renewable metanol* di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- CRI-Iceland., 2020. <https://www.co2value.eu/wp-content/uploads/2019/09/2.-CRI.pdf>.
- DOE/EIA., 2016. International Energy Outlook 2016. US Energy Information Administration, vol. 0484
- EBTKE and ESDM., 2019. "http://ebtke.esdm.go.id/post/2020/03/27/2518/potensi.besar.belum.termanfaatkan.46.proyek.panas.bumi.siap.dijalankan#,"
- Hepburn, C., Adlen, E., Beddington, J., 2019. The technological and economic prospects for CO_2 utilization and removal, *Perspective, Nature*, vol. 575, pp. 87-97
- IRENA., 2018. *Hydrogen From Energy Power: Technology Outlook For The Energi Transition*. Retrieved from https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Sep/IRENA_Hydrogen_from_renewable_power_2018.pdf
- Klein T., 2020. *Metanol: A Future-Proof Fuel*. Futurefuelstrategies. <https://www.metanol.org/wp-content/uploads/2020/03/Future-Fuel-Strategies-Metanol-Automotive-Fuel-Primer.pdf>
- M. Project., 2019. <https://cordis.europa.eu/project/id/637016/reportin>.
- Methanex, 2020. <https://www.methanex.com/our-business/pricing>.
- Mustafaa, A., Lougou, B.G., Shuai, Y., Wang, Z., Tan, H., 2020. Current technology development for CO_2 utilization into solar fuels and chemicals: A review. *Journal of Energy Chemistry*, vol. 49, pp. 96-123
- Pertamina, 2020, Presentasi pengembangan dan rencana kerja sama untuk kegiatan PLTP.
- Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi (PPIPE), BPPT. 2020. Outlook Energi Indonesia 2020
- Quarton, C.J., Tlili, O., Welder, L., Mansilla, C., Blanco, H., Heinrichs, H., Leaver, J., Samsatli, N.J., Lucchese, P., Robinus, M and Samsatli, S., 2020. The curious case of the conflicting roles of hydrogen in global energy scenarios Sustainable energy Fuels, 4 pp. 80-95.
- Stangeland, K., Li, H and Yu, Z., 2020. CO_2 hydrogenation to metanol: the structure–activity relationships of different catalyst systems. *Energ. Ecol. Environ Springer*, vol. 5(4), pp. 272-285
- Sutardi, T., Paul, M.C and Karimi, N., 2019. Investigation of coal particle gasification processes with application leading to underground coal gasification. *Fuel*, vol. 237, pp. 1186-1202
- Sutardi, T., Wang, L., Karimi, N and Paul, M.C., 2020. Investigation of thermochemical process of coal particle packed bed reactions for development of UCG. *International Journal of Coal Science and Technology, Springer*, vol. 7, pp. 476-492.
- Sutardi, T., Wang, L., Karimi, N and Paul, M.C., 2020. Utilization of H_2O and CO_2 in coal particle gasification with an impact of temperature and particle size. *Energy & Fuel*, <https://dx.doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c02280>, 2020
- Wikipedia, 2020. https://id.wikipedia.org/wiki/Pembangkit_listrik_tenaga_panas_bumi.

World Energy Council., 2016. World Energy Resource - 2013 Survey. ISBN : 978 0 946121298, ed, p. 1.2.

Zhang H.dkk., 2019, *Techno-Economic Optimization of CO₂-to-Metanol with Solid-Oxide Electrolyzer*. Energies, MDPI, 2019, 12, 3742; doi:10.3390/en12193742