

## ***Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) untuk Pembangunan Berkelanjutan: Potensi dan Tantangan di Industri Migas Indonesia***

**Fiqya Fairuz Zaemi<sup>1, a)</sup> and Rian Cahya Rohmana<sup>2, b)</sup>**

<sup>1), 2)</sup>Teknik Perminyakan, Tanri Abeng University

<sup>a)</sup>Corresponding author: fiqyafairuz@student.tau.ac.id

<sup>b)</sup> rian@tau.ac.id

### **ABSTRAK**

Indonesia merupakan negara penghasil CO<sub>2</sub> yang besar, salah satunya berasal dari industri minyak gas bumi (migas). Indonesia berkomitmen di *Paris Agreement* untuk mengurangi emisi karbon sebesar 29 - 41% tahun 2030 dengan pengenalan energi bersih, terbarukan dan konversi energi. Skenario yang bisa dipilih adalah *sustainable development scenario* (SDS), khususnya teknologi *carbon capture, utilization and storage* (CCUS). Penelitian ini bertujuan untuk melihat peluang, tantangan, efek terhadap lingkungan serta pengaruh CCUS terhadap pembangunan berkelanjutan di industri migas Indonesia. Data yang digunakan adalah data yang sudah dipublikasikan, karena CCUS masih dalam tahap penelitian berbagai pihak di Indonesia. Potensi Indonesia menerapkan CCUS khususnya dalam penangkapan dan penyimpanan CO<sub>2</sub> sangat baik. Penangkapan CO<sub>2</sub> bersumber dari lapangan migas dan kapasitas penyimpanan CO<sub>2</sub> terdapat pada 3 bagian yaitu *saline aquifer*, lapisan batubara dan lapangan minyak dan gas yang telah ditinggalkan. CCUS di industri migas digunakan untuk *enhanced oil recovery* dan *enhanced gas recovery* dalam *saline formation* untuk memenuhi tujuan SDS dan pembangunan berkelanjutan. Namun, tantangan CCUS di Indonesia adalah pemerintah harus membuat peraturan dan kebijakan agar memberikan kepercayaan kepada investor dan pengembang. Sosialisasi tentang keselamatan dan keamanan operasi CCUS terhadap publik juga perlu dilakukan. Tantangan lain yaitu biaya yang diperlukan, infrastruktur dan lingkungan sekitar yang dijadikan penyimpanan CO<sub>2</sub>. CCUS adalah salah satu jawaban untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan industri migas, karena dapat menangkap CO<sub>2</sub> di atmosfer, disimpan ke bawah permukaan dan hasilnya dapat meningkatkan produksi migas dan mengurangi polusi di Indonesia. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat mengembangkan potensi CCUS lebih lanjut sehingga dapat mengurangi polusi CO<sub>2</sub> di Indonesia.

**Kata Kunci:** *Carbon capture, utilization and storage*; CCUS; Migas; Pembangunan Berkelanjutan

### **ABSTRACT**

*Indonesia is a high CO<sub>2</sub>-producing country, one of which comes from the oil and gas industry. Indonesia is committed to the Paris Agreement to reduce carbon emissions by 29 - 41% by 2030 with renewable energy and energy conversion. The scenario chosen is a sustainable development scenario (SDS), especially carbon capture, utilization, and storage (CCUS) technology. This study aims to look at the opportunities, challenges, effects on the environment, and the influence of CCUS on sustainable development in the Indonesian oil and gas industry. This research using published data because CCUS is still in the research stage of various parties in Indonesia. Indonesia's potential to apply CCUS, especially in CO<sub>2</sub> capture and storage, is very potent. CO<sub>2</sub> capture is sourced from oil and gas fields, and CO<sub>2</sub> storage capacity is found in 3 parts, namely the saline aquifer, coal seam, and abandoned oil and gas fields. CCUS in the oil and gas industry is used for enhanced oil recovery and enhanced gas recovery in saline formation to meet SDS goals and sustainable development. However, the challenge for CCUS in Indonesia is that the government must make regulations to give confidence to investors and developers of this CCUS project. It is also essential to state information on the safety and security of CCUS operations to the public. Another challenge is the cost required, the infrastructure to be used, and the surrounding environment used as CO<sub>2</sub> storage. CCUS is one of the answers to reducing CO<sub>2</sub> emissions produced by the oil and gas industry because it can capture CO<sub>2</sub> in the atmosphere, stored below the surface, and as a result, can increase oil and gas production and reduce pollution in Indonesia. The results of this study are expected to further develop the potential of CCUS so as to reduce CO<sub>2</sub> pollution in Indonesia.*

**Keywords:** *Carbon capture, utilization, and storage*; CCUS; Oil and Gas; Sustainable development

## PENDAHULUAN

Indonesia memiliki sumber daya bahan bakar fosil yang melimpah di dunia dan masih menjadi sumber energi utama pada beberapa tahun yang mendatang. Bahan bakar fosil melepaskan emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan gas lain yang dapat menyebabkan peningkatan konsentrasi emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) di atmosfer, sehingga memicu isu pemanasan global. Perubahan iklim terjadi akibat adanya pembakaran bahan bakar fosil, sehingga menjadi penyebab utama pelepasan CO<sub>2</sub> di udara (Muhd Nor *et al.*, 2016). Meningkatnya emisi karbon yang berasal dari bahan bakar fosil menyebabkan pemerintah Indonesia berkomitmen untuk mengurangi emisi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dari konsumsi bahan bakar fosil sebagai upaya mitigasi perubahan iklim. Dewan Energi Nasional (2014) memberikan dua kemungkinan skenario energi yang diharapkan dapat membantu merealisasikan komitmen yang dibentuk, yaitu skenario “*business as usual*” dan Kebijakan Energi Nasional. Skenario Kebijakan Energi Nasional ini, berdasarkan hasil kesepakatan Indonesia dalam *Paris Agreement* tahun 2016, dimana pengurangan emisi CO<sub>2</sub> hingga 26% melalui peningkatan bauran energi, pengurangan ketergantungan bahan bakar berbasis karbon, dan penyebaran sumber energi terbarukan dari tahun 2020 hingga 2050 (Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, 2019). Namun, hal tersebut tidak mencukupi untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub> lebih lanjut, sehingga pemerintah menerapkan teknologi *Carbon Capture, Utilization and Storage* (CCUS) (Adisaputro & Saputra, 2017). Pengaplikasian mengenai CCUS di Indonesia belum ada, namun dari beberapa penelitian sudah melakukan pengumpulan data – data. Penelitian ini bertujuan untuk melihat peluang, tantangan, efek terhadap lingkungan serta pengaruh CCUS terhadap pembangunan berkelanjutan di industri migas Indonesia. Teknologi CCUS bertujuan untuk menangkap sebanyak 85% emisi CO<sub>2</sub> dari pembangkit listrik dan industri lain sebelum di *transport* melalui pipa atau kapal dan disimpan sedalam 700 meter di bawah permukaan bumi. Terdapat 3 langkah utama dalam CCUS yaitu: penangkapan dan kompresi CO<sub>2</sub> di lokasi emisi, pengangkutan CO<sub>2</sub> ke lokasi penyimpanan, dan penyimpanan CO<sub>2</sub> secara permanen dalam formasi geologi di bawah permukaan (**Gambar 1**), atau penggunaan CO<sub>2</sub> untuk meningkatkan laju produksi EOR (Commission, n.d.).

CCUS telah dilakukan pada beberapa proyek migas di luar Indonesia sebagai contoh di Weyburn, Kanada. Proyek ini menggabungkan CO<sub>2</sub>-*enhanced oil recovery* yang berlokasi di Cekungan Williston dengan tujuan untuk menyimpan sebagian CO<sub>2</sub> secara permanen di bawah permukaan dengan mengambil CO<sub>2</sub> yang biasanya dilepas pada suatu lapangan migas. Sumber utama CO<sub>2</sub> berasal dari fasilitas Perusahaan Gasifikasi Dakota, dimana batubara di gasifikasi untuk membuat gas sintesis (metana). Umur proyek CO<sub>2</sub>-EOR 20 – 25 tahun, sehingga diperkirakan sekitar 20 MT CO<sub>2</sub> akan disimpan di lapangan. Sudah sekitar 1.000 TCO<sub>2</sub> per hari yang disuntikkan ke dalam permukaan, hal ini akan meningkat seiring waktu. Pemantauan melibatkan survei seismik dengan resolusi tinggi (4-D) dan dilakukan untuk menganalisis potensi kebocoran. Pemantauan permukaan meliputi pengambilan sampel air tanah dan dilakukan analisis air tanah yang dapat diminum, pengambilan sampel dan analisis gas tanah. Sampai saat ini, belum ada indikasi kebocoran CO<sub>2</sub> ke permukaan dan lingkungan sekitar (Environment Protection and Heritage Council (EPHC), 2009). Lapangan minyak Lula – Sapinhoa di Brazil adalah proyek CO<sub>2</sub> – EOR terbesar di dunia dan menggunakan teknologi di laut dalam (*deep water*). Proyek ini dimulai pada tahun 2013 dan terbukti produksi yang meningkat sebesar 100.000 b/d menggunakan CO<sub>2</sub> per tahun dari pabrik pengolahan gas di *offshore*. Diperkirakan 2,5 MMT disuntikkan pada tahun 2017 (Global CCS Institute, 2018). Proyek ini melibatkan sumur injeksi CO<sub>2</sub> terdalam yang berada lebih dari 5.000 m di bawah permukaan laut (Asian Development Bank, 2019).

## METODE

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data sekunder yaitu pengumpulan data tentang *Carbon Capture, Utilization and Storage* (CCUS) di Indonesia yang sudah dipublikasikan dalam sepuluh tahun terakhir. Penelitian dimulai dari pengumpulan data mengenai CCUS di Indonesia, analisis data peningkatan emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia tanpa CCUS dan dengan CCUS, dan analisa mengenai lokasi mana yang menjadi syarat dalam mengembangkan proyek CCUS. Proyek teknologi CCUS di Indonesia belum berjalan sepenuhnya, karena dari beberapa penelitian, masih dilakukan studi di beberapa lapangan minyak dan gas di Indonesia, namun besar kemungkinan teknologi CCUS akan segera berjalan, mengingat dampak dan potensi positifnya terhadap lingkungan dan pembangunan berkelanjutan di industri migas Indonesia.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Teknologi Penangkapan CO<sub>2</sub>

Penangkapan CO<sub>2</sub> dilakukan dengan memanfaatkan salah satu dari tiga strategi utama yaitu cara penangkapan pasca pembakaran, tangkapan pra – penyalaan atau pembakaran *oxyfuel*. CO<sub>2</sub> didalam pipa gas dapat diisolasi dan ditangkap dari berbagai stasioner, antara lain : pembangkit listrik bahan bakar fosil, *refinery unit*, pabrik baja, pabrik biomassa, dan *normal gas preparing*. Pada pabrik pemrosesan gas, CO<sub>2</sub> harus diisolasi dari gas mentah untuk menghasilkan gas reguler yang berkualitas (**Gambar 2**). CO<sub>2</sub> yang tertangkap hanya perlu dikeringkan dan dikemas sebelum proses transportasi (Muhd Nor *et al.*, 2016). Proses penyulingan di *downstream* atau *combustion* dan kompresi *gate to gate* memiliki kontribusi besar dalam emisi CO<sub>2</sub>. Namun, terdapat ketidakpastian dalam menghitung penyimpanan CO<sub>2</sub>, karena CO<sub>2</sub> diinjeksikan ke reservoir yang sama dengan sumbernya (Kelly *et al.*, 2019).

### Teknologi Penyimpanan CO<sub>2</sub>

Penyimpanan potensial CO<sub>2</sub> terdapat 3 bagian, CO<sub>2</sub> yang ditangkap harus dimasukkan ke dalam bawah permukaan yang dalam (lapangan minyak dan gas yang sudah tidak digunakan), lapisan batubara yang sudah tidak potensial, dan *saline aquifer*. CO<sub>2</sub> yang diinfuskan akan disimpan sebagai cairan berukuran tebal dan dapat ditangkap melalui berbagai komponen yang beragam (misalnya, penangkapan dasar dan stratigrafi, penangkapan gas yang tertinggal, penangkapan kelarutan, penangkapan mineral, dan penangkapan hidrodinamik). Namun, terdapat masalah mengenai penyimpanan CO<sub>2</sub> yaitu kapasitas penyimpanan CO<sub>2</sub> (Muhd Nor *et al.*, 2016).

Jenis penyimpanan CO<sub>2</sub> di Indonesia antara lain (Best *et al.*, 2011):

1. *Saline aquifer*, diprediksi akan teridentifikasi di wilayah Natuna, Namun belum adanya studi rinci untuk mengidentifikasi peluang penyimpanan *saline aquifer* di Indonesia saat ini.
2. Lapisan batubara, cadangan lapisan batubara yang melimpah terutama batubara dengan peringkat rendah tersebar di beberapa cekungan batubara. Metana yang teradsorpsi harus diproduksi. Namun, sebagian besar lapisan batubara di Indonesia saat ini masih dalam tahap non-produksi.
3. Lapangan minyak dan gas yang sudah lama ditinggalkan. Jenis penyimpanan ini sangat potensial, dikarenakan reservoir yang dikarakterisasi dengan baik dan infrastruktur yang ada dapat mengurangi biaya eksplorasi dalam menemukan lokasi baru. Namun, lapangan minyak dan gas yang ditinggalkan memiliki potensi kebocoran yang lebih tinggi, sehingga diperlukan mitigasi dengan baik (**Gambar 3**).

Penyimpanan CO<sub>2</sub>-EOR dapat untuk memantau kinerja penyimpanan dari waktu ke waktu dan memahami apakah kegiatan CCUS mencapai tujuan utamanya yaitu mengoptimalkan penyimpanan CO<sub>2</sub> dalam batasan geomekanis dan operasional reservoir. Hal ini dapat membantu memvisualkan penyimpanan CO<sub>2</sub> dibandingkan dengan kapasitas penyimpanan maksimum serta mendapatkan perhitungan praktis dari setiap unit CO<sub>2</sub> yang disuntikkan dan jumlah CO<sub>2</sub> yang sesuai untuk disimpan di reservoir (Kelly *et al.*, 2019).

## Pemanfaatan CO<sub>2</sub>

*Carbon capture, utilization and storage* (CCUS) telah diteliti beberapa tahun terakhir di Indonesia. Salah satu penelitian tentang pemanfaatan CCUS di Indonesia (Adisaputro & Saputra, 2017) mengungkapkan bahwa dalam mengurangi emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia, digunakan alternatif CCUS dengan catatan Pemerintah Indonesia menerima skenario Kebijakan Energi Nasional yang memperkirakan bagian signifikan dari bauran energi yang berasal dari energi terbarukan (**Gambar 4**). Penerapan CCUS tidak hanya mengurangi emisi CO<sub>2</sub> tetapi juga berpotensi untuk memisahkan pertumbuhan ekonomi dari CO<sub>2</sub>. Namun, pengembangan mengenai CCUS belum berkembang dengan baik. Menurut penelitian Best, *et al.* (2011) yang bekerja sama dengan LEMIGAS, melakukan penelitian mengenai status perkembangan CCS di Indonesia. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa peraturan dan aspek hukum mengenai pengoperasian dan pengelolaan proyek CCS dalam jangka panjang harus dipertimbangkan oleh Pemerintah Indonesia. Pemanfaatan teknologi CCUS di Indonesia, hanya berfokus untuk meningkatkan produksi di sumur – sumur tua minyak dan gas yang tersebar di beberapa lokasi di Indonesia. Sehingga, potensi penyebaran CCUS di Indonesia terbukti ada khususnya dalam hal penyimpanan CO<sub>2</sub> yang berkaitan dengan *enhanced oil recovery*. Namun, untuk mewujudkan potensi ini, dibutuhkan dana yang besar dan membuat regulasi dari pemerintah untuk CCUS .

## Tantangan CCUS di Indonesia

Hambatan utama CCUS di Indonesia adalah kurangnya peraturan yang berlaku untuk operasi CCUS yang diperlukan untuk memberikan kepercayaan kepada investor dan pengembangan proyek di Indonesia dan untuk memberikan kepercayaan publik terhadap keselamatan dan keamanan operasi. Saat ini, Indonesia tidak memiliki kerangka hukum dan peraturan sepenuhnya mengenai penerapan CCUS. Namun, dalam peraturan lingkungan dapat disesuaikan dengan CCUS yang berfokus pada pemanfaatan bawah permukaan untuk penyimpanan Limbah. Peraturan Menteri No.13 Tahun 2007 mengatur persyaratan dan tata cara pengolahan air limbah pada kegiatan hulu migas dan panas bumi dengan metode injeksi ke bawah permukaan. Peraturan Menteri ini sangat cocok untuk CCUS terutama pada aspek penyimpanan dan merupakan dasar awal dalam pengembangan kerangka hukum dan peraturan CCUS di Indonesia (Best *et al.*, 2011). Biaya penerapan CCUS di Indonesia bervariasi dari proyek dengan rendah dalam ekstraksi dan pemrosesan *natural gas* hingga proyek yang lebih mahal di bidang listrik dan industri. Ada beberapa potensi CCUS untuk didanai melalui metode lain seperti *clean development mechanism*, *enhanced oil recovery*, dan opsi lainnya. Untuk meminimalisir harga yang meningkat opsi pendanaan alternatif dapat digunakan untuk CCUS dan EOR. CCUS masih dianggap terlalu mahal bagi Indonesia. Indonesia hanya memprioritaskan pada peningkatan dan pertahanan ketahanan energi dan menyediakan energi yang terjangkau bagi penduduk. Akibatnya, tanpa adanya dukungan keuangan internasional, Indonesia hanya tertarik pada CCUS jika berkontribusi pada penyediaan energi atau tujuan ketahanan energi (Best *et al.*, 2011).

Tingkat kesadaran masyarakat mengenai CCUS di Indonesia masih rendah dalam beberapa tahun terakhir, meskipun praktisi migas telah mengembangkan pemahaman yang baik mengenai CCUS, sehingga diperlukan sosialisasi tentang CCUS secara umum, keselamatan dan keamanan operasi terhadap publik. Namun, ketertarikan penelitian CCUS di Indonesia sudah mulai meningkat dan regulasi pun sudah dikeluarkan mengenai rencana R&D jangka pendek pada CCUS yang tidak hanya berfokus pada aspek teknis tetapi aspek non teknis seperti pengembangan regulasi.

## Potensi CCUS dan Pembangunan Berkelanjutan

Indonesia berada dalam posisi yang baik untuk berperan aktif dalam CCUS dengan potensi penangkapan sumber CO<sub>2</sub> dan kapasitas penyimpanan CO<sub>2</sub>. Industri gas alam Indonesia menawarkan potensi CCUS sebagai alat untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub> khususnya emisi yang berasal dari sektor minyak dan gas, listrik, dan industri. CCUS berfokus pada emisi CO<sub>2</sub> dengan sumber pada pembangkit listrik dan hasil produksi migas, dan dekat dengan lokasi penyimpanan CO<sub>2</sub>. Saat ini, opsi yang dimungkinkan untuk penyimpanan CO<sub>2</sub> adalah dengan *enhanced oil recovery*, karena produksi minyak berpotensi menghasilkan pendapatan tambahan untuk mengimbangi biaya CCUS. Namun, CCUS untuk jangka panjang tidak dapat dilakukan dengan opsi ini karena ketika diproduksi minyak yang dihasilkan dari

EOR melepaskan CO<sub>2</sub>. Penerapan CCUS di sektor ketenagalistrikan juga tidak dapat mengurangi emisi CO<sub>2</sub> tetapi dapat mempercepat industrialisasi dengan meningkatkan jumlah pembangkit listrik baru untuk mencapai target elektrifikasi nasional (Best *et al.*, 2011).

Teknologi CCUS dapat menangkap CO<sub>2</sub> untuk disimpan di reservoir minyak dan gas yang habis digunakan untuk proyek EOR dan *enhanced gas recovery* (EGR) dalam *saline formation* untuk memenuhi tujuan pembangunan ekonomi dan keamanan energi. Penyimpanan CO<sub>2</sub> dengan EOR merupakan langkah awal Indonesia dikarenakan banyaknya lapangan minyak yang sudah tua dan kebijakan nasional untuk meningkatkan produksi minyak nasional yang menurun pada beberapa waktu terakhir. Sehingga, langkah ini memberikan banyak manfaat dengan berkontribusi pada pengurangan emisi CO<sub>2</sub>, meningkatkan keamanan energi dan membangun pengalaman dalam operasi CCUS (Best *et al.*, 2011).

Proyek studi CCUS pertama direncanakan akan dilaksanakan di Kawasan Gundih, Provinsi Jawa Tengah, Indonesia (**Gambar 5**). Kawasan Gundih merupakan lapangan gas yang berada di bawah operasi Pertamina EP. Daerah ini dipilih setelah beberapa kali pertemuan antara *geoscientist* dan perminyakan dari Indonesia dan Jepang tahun 2009 dan 2010. Berdasarkan data cadangan gas, diperkirakan *initial gas in place* (IGIP) untuk area ini adalah 435,96 BSCF dan hasil studi simulasi reservoir, daerah ini dapat menghasilkan gas 62 MMSCFD dalam 12 tahun. Kawasan ini terdapat 8 sumur, 5 sumur pada struktur Kedungtuban, 3 sumur pada struktur Randublatung dan 2 sumur pada struktur Kedunglusi dengan kedalaman sumur 2823 – 3627 m TVDSS. Gas di kawasan Gundih berproduksi pada awal 2013 lalu. Semua sumur sudah di bor, dan sedang dalam tahap penyelesaian atau *work over*, sedangkan fasilitas gas dalam tahap konstruksi. Pertamina EP membangun CPP (*Central Processing Plant*), semua gas yang dihasilkan dari sumur dikirim terlebih dahulu ke CPP. CPP adalah unit yang memisahkan gas metana dari yang lain. Hal ini perlu dilakukan, mengingat kandungan gas non metana yang cukup tinggi terutama kandungan gas CO<sub>2</sub> yang mencapai 21,6%. Kandungan CO<sub>2</sub> yang berada di lapangan lain namun masih terletak di dekat kawasan Gundih, memiliki kandungan CO<sub>2</sub> yang lebih tinggi. Jika proyek Gundih ini dapat dijalankan dan sukses, ada kemungkinan untuk menawarkan infrastruktur injeksi CO<sub>2</sub> kepada perusahaan migas lain, sehingga emisi CO<sub>2</sub> yang tersimpan di dalam kawasan ini dapat dimaksimalkan (Sule *et al.*, 2011).

Proyek lainnya yang masih direncanakan yaitu di lapangan minyak Sukowati yang terletak di Jawa Timur (**Gambar 6**). Lapangan Sukowati adalah reservoir minyak karbonat yang ditemukan pada tahun 2001 dan terletak di bagian darat di Jawa Timur yang dioperasikan oleh Pertamina EP. Tepatnya di Blok Tuban, Provinsi Jawa Timur dengan jumlah cadangan 308 juta STB. Lapangan ini telah memproduksi 100 juta barel minyak. Fluida reservoir pada lapangan ini memiliki massa CO<sub>2</sub> sebesar 20 – 25% yang dialirkan ke *Central Processing Area* (CPA) Mudi untuk dibuang. Proyek CO<sub>2</sub> –EOR diusulkan Pertamina EP yang akan dimulai pada tahun 2020 dengan tujuan untuk meningkatkan aplikasi lapangan enam tahun kemudian. CO<sub>2</sub> yang dihasilkan selama produksi minyak dan gas di lapangan ini digunakan kembali untuk injeksi percontohan. Proyek *full-field* CO<sub>2</sub> – EOR akan melibatkan penangkapan CO<sub>2</sub> dari lapangan *natural gas* Jambaran Tiung Biru (JTB). Produksi gas dari lapangan ini direncanakan mulai tahun 2022 dan setelah operasi skala penuh tercapai akan menjadi sumber tunggal terbesar CO<sub>2</sub> dari kegiatan Pertamina EP (Kelly *et al.*, 2019).

Pengaplikasian CCUS di Indonesia masih belum berjalan, namun potensi mengembangkan CCUS di Indonesia sudah terencana. Dimulai dari dua lokasi yaitu di Lapangan Gundih dan Lapangan Sukowati, dan direncanakan pada daerah Cekungan Natuna berpotensi melakukan CCUS jika dilihat dari produksi gas pada daerah tersebut.

*Risk assessment* (penilaian risiko) penting dilakukan dalam proyek CCUS dan metode yang digunakan secara global adalah FEP. Metode *Quintessa features, events and processes* (FEP) adalah metode yang diterima secara luas dan digunakan secara global. Metode ini adalah metode yang membutuhkan keterlibatan banyak ahli dan pemangku kepentingan dari area proyek, pemerintah, dan anggota lain yang terkena dampak atau berpengaruh. Teknik yang digunakan untuk penyederhanaan *first pass* pada proyek Sukowati CCUS dapat dilihat pada **Gambar 7** (Kelly *et al.*, 2019).

Manfaat CCUS untuk pembangunan berkelanjutan diantaranya dapat menciptakan lapangan pekerjaan, memperpanjang umur infrastruktur yang ada, berkurangnya biaya operasional penyediaan listrik, dan memberikan pengetahuan untuk mendukung pertumbuhan ekonomi berbasis inovasi. Keberhasilan CCUS merupakan langkah awal dalam mengurangi emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia (ESDM, 2021). Upaya pemerintah dalam mengeksplorasi dan menyebarkan CCUS, adalah harus memprediksi konsumsi bahan bakar fosil, jumlah emisi CO<sub>2</sub>, dan pertumbuhan penduduk Indonesia di masa depan. CCUS dapat berkontribusi pada keamanan energi yang lebih luas dengan tujuan lingkungan, sosial, dan ekonomi (Asian Development Bank, 2019):

1. Memungkinkan keragaman energi yang lebih besar, termasuk penggunaan bahan bakar fosil yang berkelanjutan dan lebih bersih;
2. Mempertahankan kesempatan kerja dan investasi jangka panjang di industri padat energi;
3. Melindungi nilai investasi substansial dalam energi dan infrastruktur industri lainnya yang telah dibuat;
4. Memperluas pilihan teknologi untuk pembangkit listrik; dan
5. Memungkinkan investasi dalam sumber dan energi alternatif, termasuk produksi emisi hidrogen rendah dari bahan bakar fosil.

## **KESIMPULAN**

- CCUS merupakan cara dalam mengurangi emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari berbagai industri terutama industri migas. Penangkapan CO<sub>2</sub> di atmosfer, kemudian disimpan di bawah permukaan dan juga dapat digunakan untuk meningkatkan produksi migas dan mengurangi polusi di Indonesia.
- Tantangan dalam pengembangan CCUS di Indonesia adalah regulasi pemerintah yang kurang jelas, biaya yang diperlukan dalam pengembangan, infrastruktur dan lingkungan sekitar yang akan dijadikan tempat penyimpanan CO<sub>2</sub>.
- Kesempatan untuk mengembangkan CCUS di Indonesia cukup besar jika dilihat dari lokasi penyimpanan pada sumur tua yang sudah lama ditinggalkan. Namun, diperlukan sosialisasi mengenai keselamatan dan keamanan operasi CCUS terhadap masyarakat Indonesia.
- Manfaat CCUS untuk pembangunan berkelanjutan diantaranya dapat menciptakan lapangan pekerjaan, memperpanjang umur infrastruktur yang ada, berkurangnya biaya operasional penyediaan listrik, dan memberikan pengetahuan untuk mendukung pertumbuhan ekonomi berbasis inovasi.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis berterima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dan mendukung selama penelitian, khususnya Prodi Teknik Perminyakan, Tanri Abeng University. Terima kasih juga kepada panitia Seminar Nasional “Tantangan Pengelolaan Limbah Domestik dan Industri untuk Pembangunan Berkelanjutan” Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN Veteran Yogyakarta yang sudah memberikan kesempatan untuk mempublikasikan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

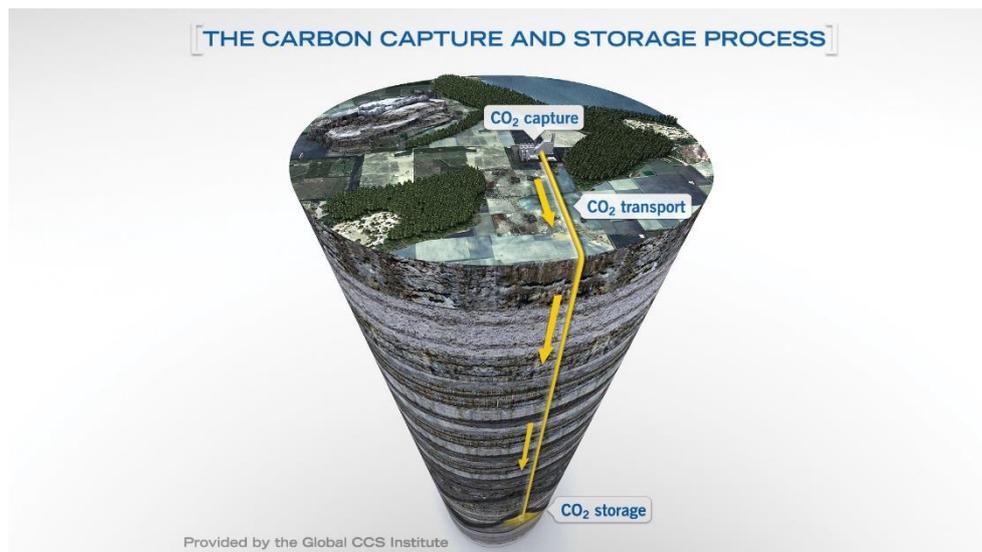
- Adisaputro, D., & Saputra, B. (2017). Carbon capture and storage and carbon capture and utilization: What do they offer to Indonesia? *Frontiers in Energy Research*, 5(MAR), 2012–2015. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2017.00006>
- Asian Development Bank. (2019). *Carbon Dioxide-Enhanced Oil Recovery in Indonesia: An Assessment of its Role in a Carbon Capture and Storage Pathway* (Issue December). <https://www.adb.org/publications/carbon-dioxide-enhanced-oil-recovery-indonesia>
- Best, D., Mulyana, R., Jacobs, B., Iskandar, U. P., & Beck, B. (2011). Status of CCS development in Indonesia. *Energy Procedia*, 4(2011), 6152–6156. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.02.624>
- Commission, E. (n.d.). Carbon Capture, Use and Storage. SETIS. <http://setis.ec.europa.eu/system/files/CCS EII 2013-2015 IP.pdf>
- Duncan, D. W., & Morrissey, E. A. (2011). The Concept of geologic carbon sequestration. *USGS Science for a Changing World*, March, 1–4.
- Environment Protection and Heritage Council (EPHC). (2009). *Environmental Guidelines for Carbon Dioxide Capture and Geological Storage - 2009*. 20. [http://www.ephc.gov.au/sites/default/files/Climate\\_GL\\_Environmental\\_Guidelines\\_for\\_CCS\\_200905\\_0.pdf](http://www.ephc.gov.au/sites/default/files/Climate_GL_Environmental_Guidelines_for_CCS_200905_0.pdf) <http://www.ephc.gov.au/taxonomy/term/25> <http://www.scew.gov.au/system/files/resources/afb015f4-8b55-6904-716c-d26bcf317c86/files/environmental-guide>
- ESDM. (2021). *Carbon Capture, Utilization and Storage ( CCUS ) Sebagai Solusi Pengurangan Emisi*. 3–5. <https://www.esdm.go.id/id/berita-unit/direktorat-jenderal-ketenagalistrikan/carbon-capture-utilization-and-storage-ccus-sebagai-solusi-pengurangan-emisi>
- Kelly, M., Main, J., Jackman, D., & Lundeen, J. (2019). Indonesia: Pilot Carbon Capture and Storage Activity in the Natural Gas Processing Sector. In *Asian Development Bank* (Issue September).
- Muhd Nor, N. H., Selamat, S. N., Abd Rashid, M. H., Ahmad, M. F., Jamian, S., Kiong, S. C., Hassan, M. F., Mohamad, F., & Yokoyama, S. (2016). Carbon Sequestration and Carbon Capture and Storage (CCS) in Southeast Asia. *Journal of Physics: Conference Series*, 725(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/725/1/012010>
- Sule, R., Alawiyah, S., & Santoso, D. (2011). *First Pilot Study of CO<sub>2</sub>-Storage in Indonesia*. January 2014.
- Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional. (2019). Indonesia Energy Outlook 2019. In S. Abdurrahman (Ed.), *Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-outlook-energi-indonesia-2019-bahasa-indonesia.pdf>

**Tabel 1.** Proyek Komersial CCUS untuk EOR

Country	Project	Start date	Cummulative CO <sub>2</sub> injection (MMT)
Canada	Greats Plains Synfuels (Weyburn – Midale)	2000	40
	Boundary Dam (Weyburn – Midale)	2014	2
United States	Terrell (formerly Val Verde)	1970s	20
	Enid	1980s	>10
	Shute Creek	1980s	>50
	Century Plant	2010	3
	Air Products SMR	2013	4
	Lost Cabin	2013	3
	Coffeyville Gasification	2013	2
Brazil	Petra Nova	2016	2
	Lula / Sapinhoa pre-salt	2013	7
Saudi Arabia	Uthmaniyah (Ghawar)	2015	2
United Arab Emirates	Abu Dhabi CCS	2016	1
People's Republic of China	CNPC – Jilin	2018	1

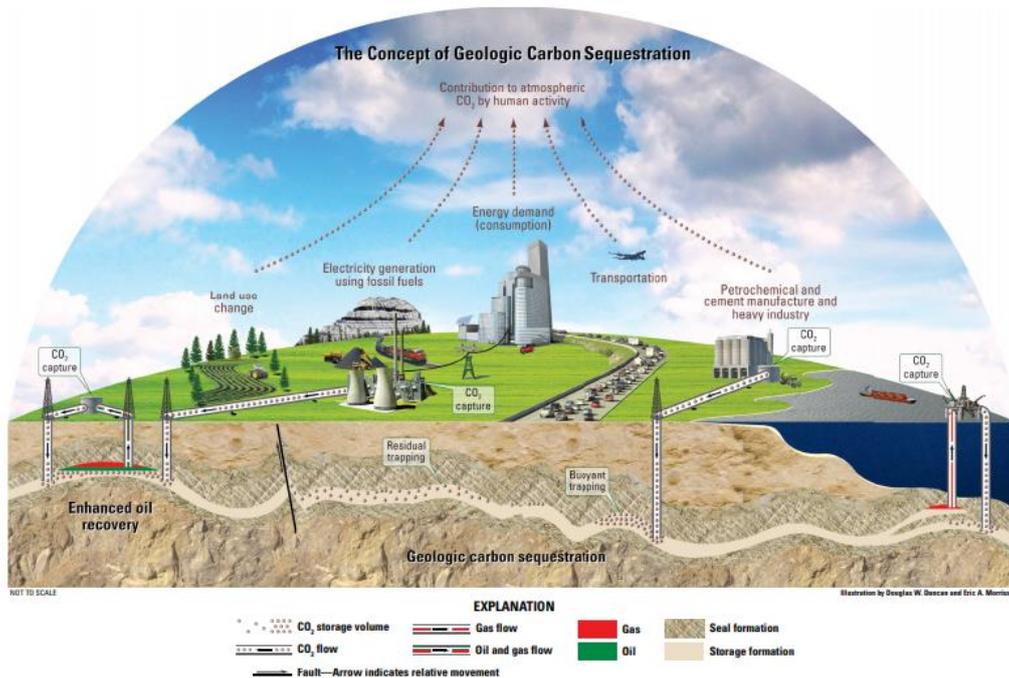
CCS = carbon capture and storage, SNPC = China National Petroleum Corporation, CO<sub>2</sub> = carbon dioksida, MMT = million metric ton.

Sumber: Global CCS Institute (2018)

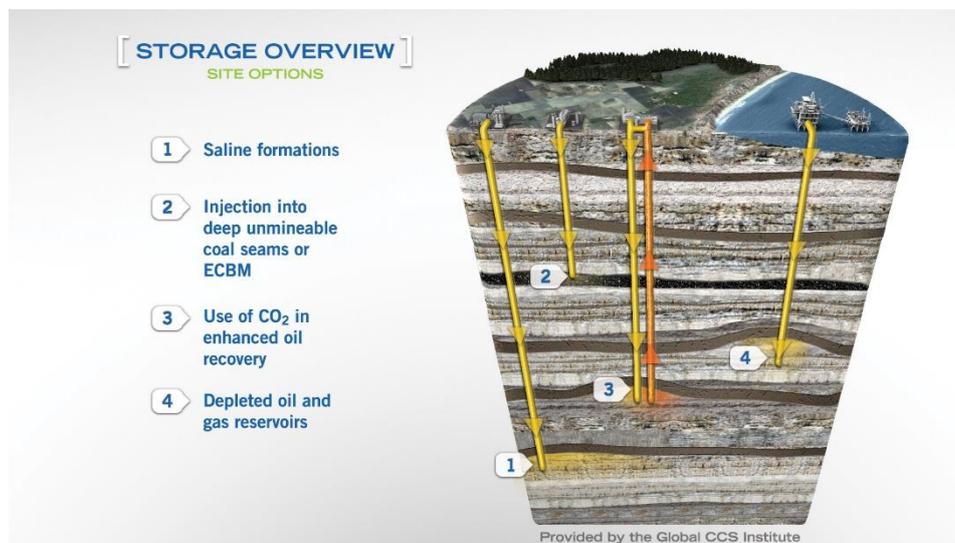


**Gambar 1.** Proses Penangkapan dan Penyimpanan Carbon.

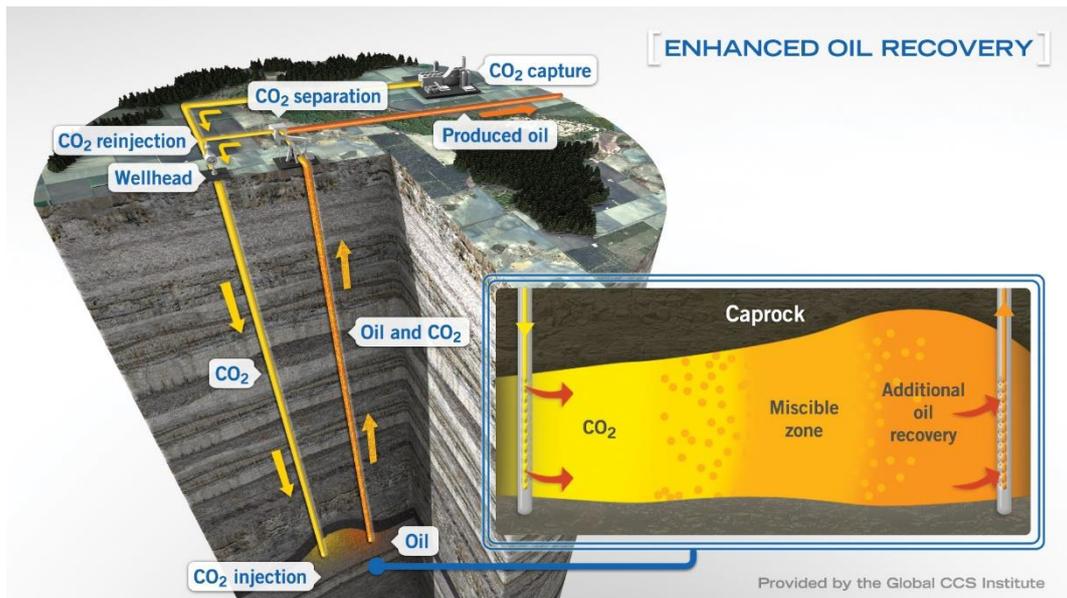
Sumber: Global CCS Institute (2018)



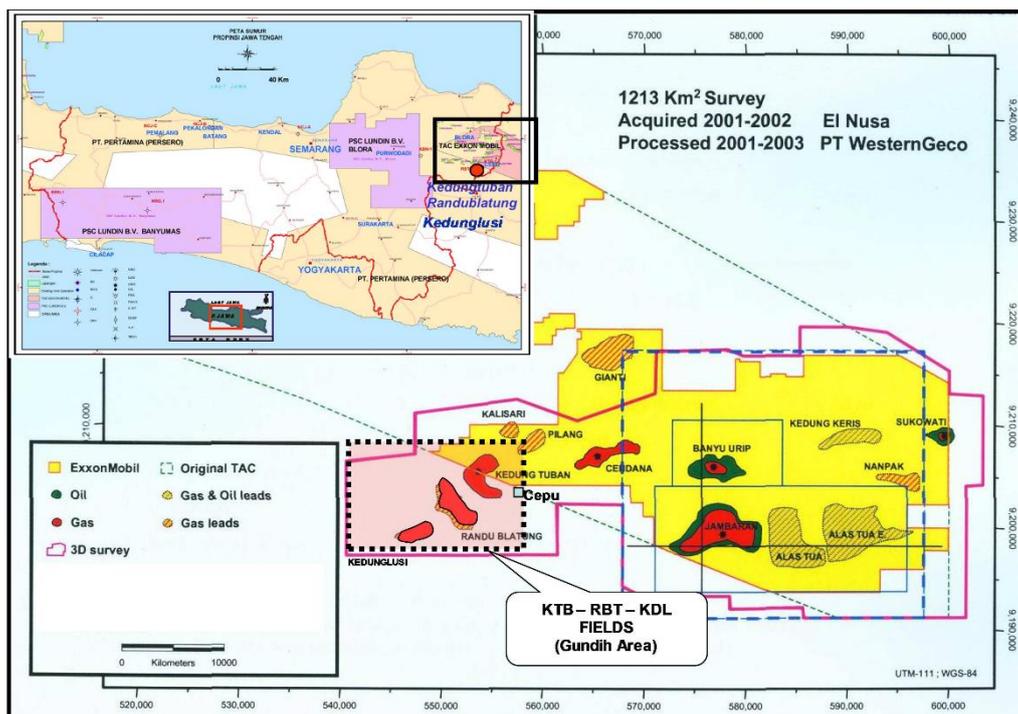
**Gambar 2.** Ilustrasi Konsep Geologi Penyerapan Karbon  
(Disusun oleh Douglas W. Duncan dan diilustrasikan oleh Eric A. Morrissey)  
Sumber: Duncan & Morrissey (2011)



**Gambar 3.** Penyimpanan CO<sub>2</sub> yaitu 1) Saline Formation; 2) Injeksi pada Lapisan Batubara; 3) Penggunaan CO<sub>2</sub>-EOR; 4) Depleted Oil and Gas Reservoir  
Sumber: Global CCS Institute (2018)



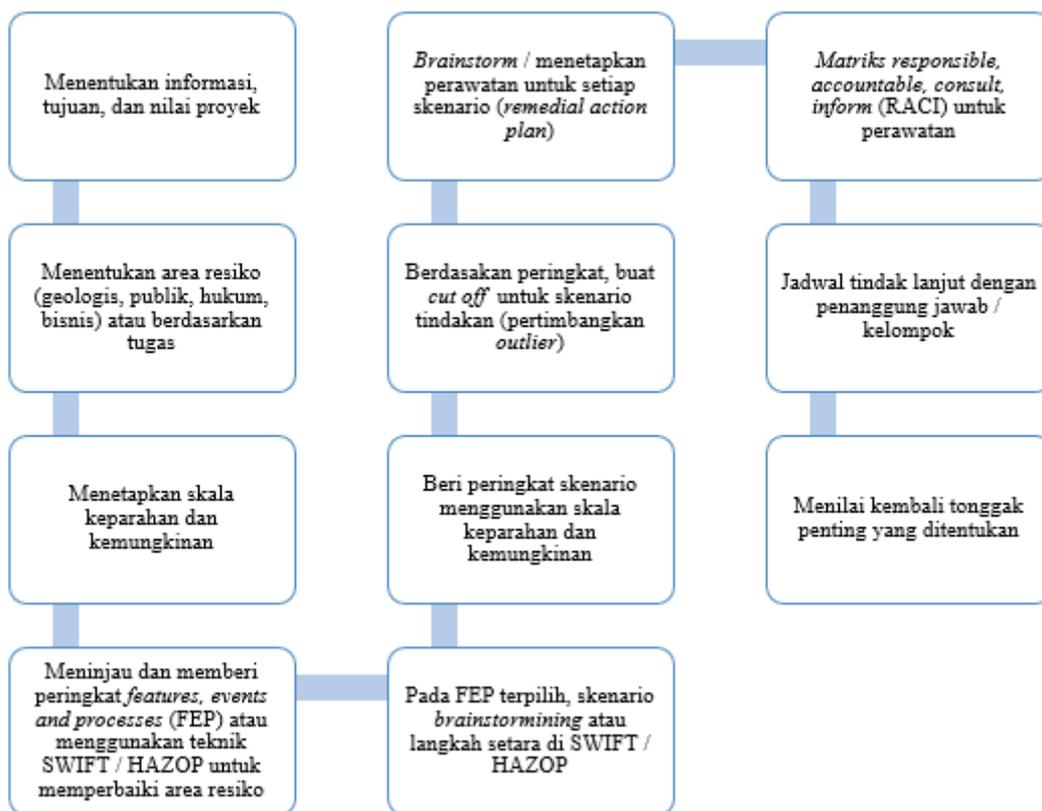
**Gambar 4.** Penggunaan CO<sub>2</sub>-EOR  
Sumber: Global CCS Institute (2018)



**Gambar 5.** Peta Geografis Lapangan Gundih  
Sumber: Sule *et al.* (2011)



Gambar 5. Lokasi Geografis Lapangan Sukowati Cekungan Jawa Timur, Indonesia (Pertamina)  
 Sumber: Kelly *et al.* (2019)



Gambar 6. Workflow Risk Assessment  
 Sumber: Kelly *et al.* (2019)