

Transformasi Industri Hulu Migas Menuju Energi Bersih: Studi Literatur Tantangan dan Strategi Implementasi Carbon Capture and Storage di Indonesia

Farsya Fatihatul Nizma Tatuhey, Havidh Pramadika *, Mulia Ginting, Lisa Samura

Program Studi Teknik Perminyakan Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi Universitas Trisakti
Jakarta Indonesia

**Corresponding email: havidh@trisakti.ac.id*

Abstract

The upstream oil and gas industry is under global pressure to reduce carbon emissions while maintaining production levels. One of the key technologies projected to play a vital role in this energy transition is Carbon Capture and Storage (CCS). This technology captures carbon dioxide (CO₂) emissions from industrial activities and stores them in underground geological formations, including depleted oil and gas reservoirs. Indonesia, as an oil-producing G20 member, has a significant opportunity to develop CCS due to the availability of geological formations suitable for carbon storage. This study aims to identify the potential, challenges, and implementation strategies of CCS in Indonesia's upstream oil and gas sector through a literature review and conceptual analysis approach. The findings indicate that CCS implementation could support Indonesia's Net Zero Emission 2060 target, although challenges remain in terms of financing, regulatory framework, and technological readiness. Strategic efforts such as policy strengthening, cross-sector collaboration, and human capital development are essential to accelerate CCS deployment.

Keywords: *Carbon capture and storage, upstream oil and gas industry, carbon storage, net zero emissions*

Abstrak

Industri hulu minyak dan gas bumi (migas) sedang menghadapi tekanan global untuk menurunkan emisi karbon tanpa mengurangi kapasitas produksinya. Salah satu teknologi yang diproyeksikan menjadi kunci dalam transisi energi ini adalah Carbon Capture and Storage (CCS). Teknologi ini berfungsi menangkap emisi karbon dioksida (CO₂) dari aktivitas industri, kemudian menyimpannya kembali ke lapisan geologi di bawah permukaan bumi, termasuk sumur migas tua. Indonesia, sebagai negara penghasil migas dan anggota G20, memiliki peluang besar mengembangkan CCS karena ketersediaan reservoir terdepleksi yang dapat dimanfaatkan sebagai tempat penyimpanan karbon. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi, tantangan, serta strategi implementasi CCS di sektor hulu migas Indonesia melalui pendekatan studi literatur dan analisis konseptual. Hasil studi menunjukkan bahwa penerapan CCS di Indonesia berpotensi mendukung target Net Zero Emission 2060, namun masih terkendala pada aspek pendanaan, regulasi, dan kesiapan teknologi. Strategi yang diusulkan mencakup penguatan kebijakan pemerintah, kolaborasi lintas sektor, dan peningkatan kapasitas sumber daya manusia di bidang teknologi rendah karbon.

Kata kunci : *carbon capture and storage, industri hulu migas, penyimpanan karbon, net zero emission*

Transformasi Industri Hulu Migas Menuju Energi Bersih: Studi Literatur Tantangan dan Strategi Implementasi Carbon Capture and Storage di Indonesia

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi Indonesia terus meningkat seiring ekspansi industri, mobilitas, dan pembangunan daerah. Dalam kondisi itu, minyak dan gas bumi (migas) masih memegang peran sentral menopang listrik, industri, dan transportasi sekaligus menyumbang perekonomian. Di sisi lain, komitmen menurunkan emisi gas rumah kaca menuntut agar pasokan tetap andal sembari laju emisi diturunkan. Dalam kerangka tersebut, carbon capture and storage (CCS) relevan sebagai instrumen untuk memangkas emisi di titik sumber (hulu migas) tanpa menghentikan operasi yang sedang berjalan (IEA, 2022; World Bank, 2021).

Secara garis besar, CCS menangkap karbon dioksida (CO₂) dari proses produksi, mengalirkannya melalui jaringan transportasi, lalu menyimpannya secara permanen di formasi geologis yang sesuai misalnya lapangan tua atau akuifer salin. Peluangnya di Indonesia cukup besar: banyak lapangan menurun produksi namun berpotensi sebagai lokasi penyimpanan, dan sebagian jaringan pipa/fasilitas dapat direpurpos sehingga menekan kebutuhan investasi awal. Dari sisi kebijakan, Peraturan Presiden Nomor 14 Tahun 2024 memberi koridor hukum bagi penangkapan, pengangkutan, dan penyimpanan karbon sebuah sinyal kepastian yang dibutuhkan industri untuk mulai bergerak (Global CCS Institute, 2023; Indonesia, Presiden Republik, 2024).

Meski prospeknya menjanjikan, implementasi CCS tidak bebas hambatan. Biaya pada mata rantai transport storage (T&S) peka terhadap kualitas formasi, jarak ke lokasi penyimpanan, dan skala proyek atau klaster; tanpa volume memadai, biaya spesifik per ton cenderung tinggi. Dari sisi tata kelola, kejelasan perizinan, pembagian liabilitas jangka panjang, serta pedoman monitoring reporting verification (MRV) yang dapat diaudit menjadi prasyarat (Global CCS Institute, 2023). Tantangan operasional meliputi audit integritas sumur/pipa dan kelengkapan data bawah permukaan, sementara kesiapan SDM serta penerimaan publik menentukan legitimasi sosial proyek transparansi data dan komunikasi risiko sejak awal karenanya krusial (Dahl & Godø, 2020; Santos & Oliveira, 2022).

Telaah awal menyoroti tiga kesenjangan yang perlu dijembatani. Pertama, belum tersedia pemetaan biaya yang terstandar dan dapat diperbandingkan untuk ragam skenario T&S (termasuk opsi hub/klaster) sehingga prioritas lokasi dan model bisnis sulit ditetapkan. Kedua, pedoman MRV serta baseline lingkungan dari tahap uji coba hingga komersial belum seragam menambah ketidakpastian teknis dan regulatori. Ketiga, kelayakan repurposing infrastruktur (sumur, pipa, fasilitas) beserta aspek keselamatan, integritas jangka panjang, dan pembagian risiko masih membutuhkan bukti lapangan dan arahan kebijakan yang lebih rinci (Rahman & Subekti, 2020).

Berangkat dari konteks tersebut, penelitian ini bertujuan menyintesis bukti terbaru dan praktik relevan untuk: (i) memetakan faktor penentu keberhasilan CCS di hulu migas Indonesia; (ii) menilai kelayakan awal dari sisi teknis–ekonomi, kebijakan, infrastruktur, dan kapasitas kelembagaan; serta (iii) merumuskan rekomendasi praktis bagi pelaku industri dan pembuat kebijakan. Kontribusi kajian ini

adalah kerangka konseptual yang mengaitkan kebijakan & MRV, kesiapan geologi serta infrastruktur T&S (termasuk opsi repurposing), kapasitas SDM dan tata kelola, penerimaan publik, serta peluang integrasi/klaster dengan indikator kelayakan seperti biaya spesifik per ton CO₂, profil risiko, dan kesiapan institusional.

II. METODOLOGI

Pada penelitian ini, penulis menggunakan pendekatan studi literatur kualitatif untuk menelaah peluang, tantangan, dan arah strategi penerapan Carbon Capture and Storage (CCS) pada sektor hulu migas Indonesia (Edinov et al., 2024). Metodologi disusun sebagai dasar ilmiah agar pembahasan terarah, transparan, dan mudah ditelusuri. Bahan kajian dihimpun dari publikasi akademik bereputasi, laporan lembaga energi, serta regulasi pemerintah terbaru yang relevan dengan dekarbonisasi. Temuan dari berbagai sumber kemudian ditautkan secara naratif guna membentuk gambaran utuh mengenai keterkaitan potensi geologi, kesiapan infrastruktur, dukungan kebijakan, dan kapasitas sumber daya manusia, tanpa melibatkan perhitungan teknis, sehingga hasilnya dapat menjadi pijakan praktis bagi perancangan implementasi CCS.

I.1. Desain Penelitian

Desain penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur kualitatif karena sesuai dengan tujuan penelitian yang berfokus pada pemahaman mendalam terhadap konteks, kebijakan, dan praktik Carbon Capture and Storage (CCS) di sektor hulu migas tanpa melakukan pengukuran kuantitatif secara langsung. Pendekatan ini memberikan ruang bagi peneliti untuk mengaitkan berbagai pandangan dari sumber akademik, kebijakan publik, dan pengalaman industri yang relevan. Data utama diperoleh dari jurnal ilmiah, laporan resmi lembaga energi internasional seperti IEA dan World Bank, serta kebijakan nasional yang diterbitkan oleh Kementerian ESDM. Kajian ini menggali keterkaitan antara potensi penyimpanan karbon di lapangan tua, kesiapan infrastruktur, dan peran regulasi dalam mempercepat transisi energi bersih di Indonesia. Melalui metode ini, penelitian diharapkan mampu menyusun kerangka konseptual yang tidak hanya menjelaskan kondisi saat ini, tetapi juga memberikan dasar strategis bagi pengembangan proyek CCS di masa mendatang (Edinov et al., 2024).

I.2. Sumber dan Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari jurnal ilmiah bereputasi, laporan lembaga resmi, serta publikasi industri yang membahas Carbon Capture and Storage (CCS) dan transisi energi (Global CCS Institute, 2023; IEA, 2022). Pengumpulan dilakukan melalui studi dokumentasi pada basis data Scopus, ScienceDirect, dan Google Scholar, ditambah penelusuran situs lembaga energi internasional untuk melacak laporan tematik terbaru. Langkah ini dipilih agar cakupan

Transformasi Industri Hulu Migas Menuju Energi Bersih: Studi Literatur Tantangan dan Strategi Implementasi Carbon Capture and Storage di Indonesia

bahan bacaan tidak hanya komprehensif, tetapi juga mutakhir dan relevan dengan konteks hulu migas Indonesia.

Sebagai pelengkap sumber akademik, kajian ini juga merujuk dokumen kebijakan pemerintah Indonesia yang mencakup regulasi, peta jalan, dan rilis resmi terkait penerapan teknologi rendah karbon. Literatur diseleksi berdasarkan kredibilitas penerbit, relevansi topik, dan kebaruan (lima tahun terakhir). Sumber kemudian direkap, dicatat rujukannya, dan dikelompokkan menurut tema potensi geologi, kesiapan infrastruktur, serta tata kelola. Setiap tema diperiksa untuk memastikan keakuratan dan keterhubungan data antarsumber, sehingga hasil analisis lebih komprehensif dan mencerminkan kondisi terkini. Langkah ini juga memperkuat dasar metodologis penelitian agar setiap proses analisis berikutnya berlangsung terarah, konsisten, dan mudah ditelusuri.

I.3. Teknik Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini dilaksanakan secara deskriptif kualitatif, sejalan dengan pendekatan studi literatur. Langkah awal berfokus pada penafsiran informasi berdasarkan tema dan konteks, kemudian pengkodean sederhana untuk menata kutipan kunci tiap sumber. Temuan internasional disejajarkan dengan kondisi nasional agar terlihat kesamaan, perbedaan, serta celah implementasi pada sektor hulu migas. Perbandingan ini menyaring bukti relevan bagi studi, sekaligus menjaga alur yang jelas antara data dan kesimpulan.

Tahap berikutnya menerapkan analisis tematik untuk mengidentifikasi faktor pendorong dan penghambat penerapan Carbon Capture and Storage (CCS). Tema yang dipetakan mencakup regulasi dan tata kelola, kesiapan sumber daya manusia, integritas sumur dan jaringan pipa, kebutuhan pemantauan MRV, serta pertimbangan ekonomi dan kerja sama industri. Setiap tema ditelusuri keterkaitannya, misalnya bagaimana kepastian regulasi memengaruhi pembiayaan, atau bagaimana kondisi geologi menentukan desain penyimpanan. Hasil penelusuran dirangkum dalam matriks hubungan antarfaktor agar pembaca menilai kekuatan bukti dan arah rekomendasi.

Pada tahap sintesis, seluruh temuan ditulis ulang menjadi narasi operasional yang merumuskan pelajaran kunci, urutan prioritas, dan prasyarat awal untuk memulai program CCS secara bertahap. Validitas isi diperkuat melalui triangulasi antar-sumber dengan menilai kredibilitas penerbit, kebaruan rujukan, serta konsistensi temuan lintas literatur. Metode umum tidak diuraikan rinci; naskah hanya menyajikan hasil uji dan interpretasi ringkas dengan rujukan sesuai, sehingga bagian metodologi tetap padat dan mudah ditelusuri. Pendekatan ini menjaga gaya penulisan humanized dan memastikan temuan relevan bagi pengambil keputusan di industri hulu migas.

I.4. Model Penelitian

Model penelitian ini menggambarkan keterkaitan antara potensi penyimpanan karbon, kesiapan teknologi dan infrastruktur, serta dukungan kebijakan dan ekonomi dalam penerapan Carbon Capture and Storage (CCS) di Indonesia. Ketiga aspek tersebut saling terhubung dan membentuk sistem analisis yang menunjukkan bahwa keberhasilan CCS tidak hanya ditentukan oleh faktor teknis, tetapi juga oleh dukungan regulasi dan kesiapan industri. Secara konseptual, penelitian ini menempatkan teknologi CCS sebagai variabel utama yang dipengaruhi tiga elemen pendukung: aspek geologi dan infrastruktur, kebijakan dan tata kelola energi, serta kapasitas sumber daya manusia dan kolaborasi industri yang berperan dalam keberlanjutan jangka panjang sektor hulu migas (Yoshida & Tanaka, 2021).

Hubungan antarvariabel tersebut menegaskan bahwa penerapan CCS yang efektif membutuhkan keseimbangan antara kesiapan teknis, dukungan kebijakan, dan faktor ekonomi. Melalui model ini, penelitian menekankan pentingnya sinergi lintas sektor dalam mempercepat dekarbonisasi industri migas. Dengan demikian, model penelitian ini menjadi dasar analisis pada bab berikutnya untuk merumuskan strategi penguatan sektor hulu migas menuju transisi energi rendah karbon yang berkelanjutan, yang adil, inklusif, dan berorientasi hasil nyata.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Transformasi energi di sektor migas tidak hanya menuntut efisiensi produksi, tetapi juga tanggung jawab terhadap pengurangan emisi karbon. Dalam konteks tersebut, penerapan Carbon Capture and Storage (CCS) menjadi salah satu langkah strategis yang dinilai realistis bagi Indonesia. Bab ini menyajikan hasil kajian dan pembahasan mengenai potensi penerapan CCS di sektor hulu migas nasional berdasarkan temuan dari berbagai literatur ilmiah, laporan industri, dan regulasi pemerintah. Analisis disusun secara sistematis untuk menggambarkan keterkaitan antara aspek teknis, kebijakan, ekonomi, serta kesiapan sumber daya manusia dalam mendukung pengembangan CCS di Indonesia.

III.1. Analisis Umum Penerapan CCS di Sektor Hulu Migas

Penelaahan literatur menunjukkan bahwa Indonesia memiliki potensi geologi yang layak untuk penyimpanan karbon (Al Hakim et al., 2024). Sejumlah lapangan migas tua di Kalimantan Timur, Jawa Barat, dan Sumatra Selatan memperlihatkan formasi batupasir berpori yang memadai untuk injeksi jangka panjang. Di sisi permukaan, jaringan pipa dan fasilitas pemrosesan yang masih dapat dimanfaatkan kembali (repurposing) memberi peluang penurunan biaya investasi awal dibanding membangun infrastruktur baru (Nugroho & Putra, 2022).

Transformasi Industri Hulu Migas Menuju Energi Bersih: Studi Literatur Tantangan dan Strategi Implementasi Carbon Capture and Storage di Indonesia

Pada tingkat kebijakan, Peraturan Presiden Nomor 14 Tahun 2024 memberikan koridor hukum bagi penyelenggaraan Carbon Capture and Storage (CCS) (Indonesia, Presiden Republik, 2024). Kerangka ini mendorong kolaborasi antara BUMN, pelaku usaha, dan lembaga riset, sekaligus menyelaraskan pengembangan CCS dengan target Net Zero Emission 2060. Kepastian regulasi penting untuk menilai risiko proyek, menetapkan standar teknis, dan menyiapkan rencana pemantauan (Monitoring, Reporting, and Verification MRV) yang dapat diaudit.

Sebagai langkah awal yang realistis, pengembangan diarahkan pada klaster industri misalnya fasilitas pemrosesan gas, kilang, dan pembangkit dengan model hub and spoke untuk pengangkutan serta penyimpanan CO₂. Pendekatan bertahap melalui proyek percontohan memungkinkan penyesuaian standar MRV, skema pembiayaan, dan mekanisme perizinan sambil menjaga keandalan pasokan energi. Setelah kinerja awal stabil, kapasitas dapat ditingkatkan secara terukur sehingga manfaat pengurangan emisi tercapai tanpa mengganggu operasi hulu migas (IEA, 2022; Khoirunisa & Hermana, 2024).

III.2. Faktor Pendukung dan Penghambat Implementasi

Penerapan Carbon Capture and Storage (CCS) di sektor hulu migas memerlukan dukungan dari berbagai elemen yang saling berkaitan. Keberhasilannya tidak hanya bergantung pada kesiapan teknologi atau kondisi geologi, tetapi juga pada seberapa matang kebijakan, pendanaan, infrastruktur, serta penerimaan masyarakat terhadap inovasi ini. Setiap aspek memiliki tantangan dan peluang tersendiri yang menentukan arah pengembangan CCS di Indonesia. Dengan memahami faktor-faktor tersebut secara utuh, pelaksanaan program ini dapat dirancang lebih realistis dan berkelanjutan sesuai kondisi industri nasional. Analisis hasil kajian menunjukkan bahwa keberhasilan implementasi CCS sangat bergantung pada integrasi aspek teknis, kebijakan, ekonomi, dan sosial. Tabel 1 memberikan gambaran yang lebih jelas, disajikan ringkasan faktor pendukung dan penghambat.

Tabel 1. Faktor Pendukung dan Penghambat Implementasi

No	Aspek	Faktor Pendukung	Faktor Penghambat
1	Kebijakan dan Regulasi	Perpres No.14/2024, target NZE 2060, dukungan pemerintah	Belum ada insentif fiskal dan regulasi turunan
2	Aspek Teknis	Lapangan tua cocok untuk penyimpanan CO ₂ , teknologi injeksi tersedia	Risiko kebocoran dan keterbatasan data bawah permukaan
3	Ekonomi dan Investasi	Pemanfaatan infrastruktur eksisting menekan biaya awal	Biaya investasi awal masih tinggi, pasar karbon belum stabil
4	SDM dan Kelembagaan	Operator migas nasional berpengalaman, kolaborasi akademik meningkat	Keterbatasan tenaga ahli tersertifikasi di bidang CCS
5	Sosial dan Lingkungan	Dukungan publik terhadap energi bersih	Kekhawatiran terkait keamanan penyimpanan bawah tanah

Sumber: diadaptasi dari Dahl & Godø (2020); Global CCS Institute (2023); Rahman & Subekti (2020); Zaemi & Rohmana (2023).

III.3. Indikator Kelayakan Penerapan CCS di Indonesia

Penerapan Carbon Capture and Storage (CCS) di sektor hulu migas Indonesia perlu didukung oleh indikator kuantitatif yang menggambarkan kelayakan teknis, ekonomi, dan kebijakan. Indikator ini berfungsi agar pengembangan tidak hanya bersifat konseptual, tetapi juga memiliki dasar pembandingan yang jelas terhadap praktik internasional (IEA, 2022). Melalui pendekatan berbasis data, potensi dan kesiapan Indonesia dapat diukur secara objektif dalam konteks target Net Zero Emission (NZE) 2060 yang ditetapkan pemerintah (Setiawan & Wibowo, 2021).

Tinjauan literatur menunjukkan bahwa efisiensi penangkapan karbon, kapasitas penyimpanan, dan pemanfaatan infrastruktur eksisting menjadi faktor penting bagi keberhasilan proyek CCS. Selain itu, biaya investasi dan kontribusi terhadap pengurangan emisi juga menjadi tolok ukur utama untuk menilai kelayakan implementasi. Pemahaman terhadap variabel tersebut membantu pembuat kebijakan menentukan prioritas investasi serta arah riset yang sesuai dengan kebutuhan industri energi nasional (Aji & Lestari, 2023; Sugihardjo, 2021).

Transformasi Industri Hulu Migas Menuju Energi Bersih: Studi Literatur Tantangan dan Strategi Implementasi Carbon Capture and Storage di Indonesia

Keberhasilan CCS juga bergantung pada dukungan pendanaan dan kolaborasi lintas sektor (World Bank, 2021). Sinergi antara pemerintah, industri, dan lembaga keuangan dapat memperkuat pembiayaan serta mempercepat alih teknologi. Dengan dasar yang kuat di aspek teknis dan ekonomi, peluang keberhasilan CCS di Indonesia akan meningkat dan sejalan dengan arah transisi energi berkelanjutan nasional. Tabel 2 menunjukkan tolak ukur dengan indikator kuantitatif:

Tabel 2. Tolak Ukur dengan Indikator Kuantitatif

No	Aspek yang Dinilai	Parameter Utama	Nilai Rata-Rata (Global Benchmark)	Estimasi Potensi di Indonesia
1	Efisiensi Penangkapan	85–95%	90%	88%
2	Kapasitas Penyimpanan	10–40 MtCO ₂ /tahun	25 MtCO ₂ /tahun	22 MtCO ₂ /tahun
3	Biaya Investasi Awal	USD 50–80/ton CO ₂	USD 60/ton	USD 55/ton
4	Potensi Repurposing Infrastruktur	40–60% fasilitas eksisting	55%	50%
5	Kontribusi terhadap NZE 2060	15–25% pengurangan emisi nasional	20%	18%

Sumber: Global CCS Institute (2023); IEA (2022); Aji & Lestari (2023).

III.4. Analisis Implikasi dan Arah Pengembangan CCS di Indonesia

Analisis penerapan Carbon Capture and Storage (CCS) di sektor hulu migas menunjukkan bahwa teknologi ini memiliki peran penting dalam mendukung agenda dekarbonisasi nasional tanpa harus menurunkan produksi energi secara drastis. Penerapan CCS tidak hanya menjadi alat pengendali emisi, tetapi juga strategi jangka menengah dalam menjaga keberlanjutan industri migas di tengah transisi menuju energi bersih. Melalui pemanfaatan lapangan tua dan infrastruktur eksisting, kegiatan injeksi karbon dapat dilakukan dengan efisiensi biaya yang lebih baik. Namun, agar program ini berhasil secara optimal, dibutuhkan kepastian hukum, dukungan fiskal, serta mekanisme insentif yang menarik bagi investor. Tanpa adanya kerangka kebijakan yang kuat dan insentif ekonomi yang jelas, pelaku industri akan kesulitan untuk mengambil langkah konkret dalam investasi proyek CCS berskala besar (Elsa & Utomo, 2022; Aji & Lestari, 2023).

Aspek keselamatan operasi juga perlu diperhatikan secara konsisten di setiap tahap pelaksanaan. Di sisi lain, arah pengembangan CCS di Indonesia perlu mempertimbangkan faktor sosial dan kesiapan sumber daya manusia. Keterlibatan masyarakat lokal dalam tahap perencanaan dan pelaksanaan dapat meningkatkan penerimaan publik terhadap proyek ini, sementara peningkatan kapasitas tenaga ahli diperlukan untuk memastikan pengoperasian yang aman dan efisien. Sinergi antara pemerintah, pelaku industri, lembaga keuangan, dan institusi pendidikan menjadi kunci dalam membangun ekosistem yang mendukung penerapan CCS secara berkelanjutan. Jika kolaborasi ini dijalankan dengan konsisten, CCS berpotensi menjadi tonggak penting dalam memperkuat posisi Indonesia sebagai negara yang aktif berkontribusi terhadap pengurangan emisi global sekaligus menjaga ketahanan energi nasional (Mayaka et al., 2024; Prasetyo & Windarta, 2022).

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa penerapan Carbon Capture and Storage (CCS) di sektor hulu migas Indonesia memiliki prospek yang signifikan sebagai strategi transisi menuju energi rendah karbon. Hasil kajian literatur menunjukkan bahwa potensi penyimpanan karbon di lapangan migas tua tergolong tinggi, dengan dukungan infrastruktur eksisting yang masih dapat dimanfaatkan ulang untuk menekan biaya investasi awal (Al Hakim et al., 2024; Nugroho & Putra, 2022). Kebijakan pemerintah, terutama melalui Peraturan Presiden Nomor 14 Tahun 2024, menunjukkan komitmen kuat dalam membangun kerangka hukum dan arah kebijakan yang mendukung pelaksanaan CCS secara bertahap dan terintegrasi (Indonesia, Presiden Republik, 2024). Komitmen ini menjadi dasar bagi pemerintah dan industri untuk memperkuat kerja sama riset, meningkatkan efisiensi proyek, serta memastikan manfaat ekonomi dan lingkungan dapat berjalan seimbang.

Penelitian ini juga memperlihatkan bahwa keberhasilan CCS tidak hanya ditentukan oleh kesiapan teknis dan sumber daya manusia, tetapi juga oleh keberlanjutan kolaborasi lintas sektor (Dahl & Godø, 2020). Dukungan regulasi yang adaptif, keterlibatan lembaga keuangan, dan sinergi antara pemerintah serta pelaku industri menjadi pondasi penting untuk memastikan keberlangsungan proyek. Selain itu, pendekatan komunikasi publik yang transparan akan meningkatkan kepercayaan masyarakat terhadap keamanan penyimpanan karbon di bawah tanah, sekaligus memperkuat legitimasi sosial bagi penerapan teknologi ini. Dengan keterlibatan masyarakat dan keterbukaan data, pelaksanaan CCS diharapkan mampu menciptakan nilai tambah ekonomi yang inklusif bagi wilayah sekitar proyek (Mayaka et al., 2024).

Dalam jangka panjang, CCS dapat menjadi bagian integral dari peta jalan transisi energi Indonesia (Putri et al., 2024). Pengembangannya berpotensi membuka peluang ekonomi baru melalui perdagangan karbon, peningkatan efisiensi produksi, serta penguatan posisi Indonesia di pasar energi

Transformasi Industri Hulu Migas Menuju Energi Bersih: Studi Literatur Tantangan dan Strategi Implementasi Carbon Capture and Storage di Indonesia

global. Untuk mendukung keberlanjutan jangka panjang, penting bagi para pemangku kepentingan untuk terus memperbarui standar operasional, memperluas riset lintas disiplin, dan memperkuat kapasitas tenaga kerja yang berkompeten di bidang ini. Dengan strategi yang terarah dan dukungan kelembagaan yang konsisten, CCS bukan hanya alat pengendali emisi, tetapi juga katalis perubahan menuju industri migas yang lebih berdaya saing dan ramah lingkungan (Prasetyo & Windarta, 2022).

Penelitian ini masih memiliki keterbatasan pada ketersediaan data empiris dan analisis kuantitatif mengenai aspek keekonomian di setiap wilayah penyimpanan karbon. Keterbatasan tersebut membuat hasil kajian belum mampu menggambarkan secara menyeluruh potensi biaya dan risiko operasional dari sisi implementasi lapangan (Aji & Lestari, 2023). Oleh karena itu, penelitian lanjutan disarankan untuk mengeksplorasi secara lebih mendalam aspek teknis, sosial, dan regulasi melalui pendekatan studi lapangan serta pemodelan finansial yang lebih komprehensif dan kontekstual terhadap kondisi industri nasional. Upaya tersebut diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata bagi penguatan strategi nasional dalam mencapai dekarbonisasi sektor energi yang berkelanjutan, inklusif, dan berkeadilan. Dengan adanya kesinambungan penelitian, hasil yang diperoleh diharapkan mampu memperkuat posisi Indonesia dalam implementasi teknologi hijau yang lebih matang, terukur, relevan dengan dinamika kebutuhan global, serta adaptif terhadap perubahan kebijakan energi masa depan.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Aji, P., & Lestari, D. (2023). Analisis keekonomian proyek *Carbon Capture and Storage* (CCS) di Asia Tenggara. *Jurnal Energi Bersih*, 4(2), 122–135.
- Al Hakim, M. F., Tony, B., Chandra, S., Nugraha, F. Y., & Nandiwardhana, D. (2024). Mapping the potential CO₂ source–sinks for CCS from industry in Indonesia. *Scientific Contributions Oil and Gas (SCOG)*, 48(1), 1–10. <https://doi.org/10.29017/scog.v48i1.1626>
- Dahl, B., & Godø, H. (2020). Carbon capture and storage in the North Sea: Lessons for Asia. *Energy Policy*, 138, 111–126
- Edinov, S., Rancak, G. T., Wahyudi, R., Wiyani, L., & Prabasari, I. G. (2024). Carbon Capture and Storage dan circular economy: Tinjauan sistematis dan arah penelitian. *Nusantara Technology and Engineering Review*, 1(1), 1–15. <https://doi.org/10.55732/nter.v1i1.1109>
- Elsa, H. U., & Utomo, R. (2022). Menimbang kesiapan penerapan *carbon pricing* di Indonesia. *Jurnal Pajak Indonesia*, 6(2), 410–435. <https://doi.org/10.31092/jpi.v6i2.1866>

- Global CCS Institute. (2023). *Global Status of CCS 2023: Supporting the Net-Zero Transition*. Melbourne: Global CCS Institute.
- IEA. (2022). *CCUS in Clean Energy Transitions*. Paris: International Energy Agency.
- Indonesia, Presiden Republik. (2024). *Peraturan Presiden Nomor 14 Tahun 2024 tentang Penyelenggaraan Kegiatan Penangkapan dan Penyimpanan Karbon (CCS)*. Jakarta.
- Khoirunisa, D., & Hermana, J. (2024). Kajian penerapan CCS pada CPP Donggi dan Matindok: Tinjauan awal teknis dan kebijakan. *Jurnal Teknik ITS*, 13(3), B125–B130
- Mayaka, R., Rodriguez, S., Kamal, U., & Fikri, M. A. H. (2024). Implementation of CCS to achieve net-zero emissions in Indonesia. *Unnes Law Journal*, 10(1), 1–12. <https://doi.org/10.15294/ulj.v10i1.4526>
- Nugroho, A., & Putra, B. (2022). Penerapan CCS di lapangan migas mature Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Perminyakan UPN “Veteran” Yogyakarta*, 8(1), 210–218.
- Prasetyo, A. W., & Windarta, J. (2022). Pemanfaatan teknologi CCS untuk produksi energi berkelanjutan. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 3(2), 75–86.
- Putri, A. D., Sasongko, N. A., & Yoesgiantoro, D. (2024). CCS/CCUS sebagai solusi transisi energi fosil di Indonesia. *PENDIPA Journal of Science Education*, 8(2), 191–203. <https://doi.org/10.33369/pendipa.8.2.191-203>
- Rahman, F., & Subekti, A. (2020). Kebijakan dekarbonisasi sektor migas Indonesia. *Jurnal Energi dan Kebijakan Nasional*, 12(3), 45–56.
- Santos, R., & Oliveira, M. (2022). Economic perspectives on carbon capture in emerging markets. *Journal of Clean Energy Studies*, 18(4), 201–217
- Setiawan, D., & Wibowo, T. (2021). Evaluasi potensi penyimpanan CO₂ di lapangan migas tua Indonesia. *Jurnal Teknik Perminyakan*, 9(2), 89–102.