

Menggali Potensi CCUS Indonesia: Penilaian Komprehensif terhadap Kesiapan Teknis, Kebijakan Imperatif, dan Jalur Strategis

Agus Ismail¹, Arif Zulkifli Nasution², Muhammad Azzam As Tsabit³ Muhammad Ikhlasul Amal⁴

¹Teknik Industri, Universitas Jayabaya, Indonesia;

²Teknik Industri, Universitas Mercu Buana, Indonesia;

³Teknik Sistem Energi; Institut Teknologi Sumatera, Indonesia;

⁴Pusat Riset Sistem Nanoteknologi; Badan Riset dan Inovasi Nasional, Indonesia;

Email : agus.ismail@mercubuana.ac.id (A.I), arif.zulkifli@ mercubuana.ac.id (A.Z.N),
azzamtsabit@gmail.com (M.A.A.T); muha089@brin.go.id (M.I.A)

Abstrak : Indonesia berada di momen penting dalam transisi energinya, di mana Penangkapan, Pemanfaatan, dan Penyimpanan Karbon (CCUS) muncul sebagai teknologi penting untuk menyelaraskan pembangunan ekonomi dengan komitmen iklim yang ambisius. Studi ini, yang didasarkan pada tinjauan pustaka kualitatif dari data sekunder, memberikan penilaian komprehensif tentang pengembangan CCUS di Indonesia, yang menyoroti wawasan utama tentang kelayakan teknisnya, kebijakan dan hambatan sosial yang berlaku, serta peluang strategis. Temuan menunjukkan bahwa Indonesia memiliki potensi penyimpanan CO₂ yang substansial, melebihi 400 gigaton di akuifer salin dan ladang minyak/gas yang terkuras, dilengkapi dengan kemampuan penangkapan yang terbukti dari proyek-proyek seperti Tangguh EOR dan Gundih CCS. Namun, peningkatan upaya ini menghadapi tantangan termasuk kerugian efisiensi yang disebabkan oleh kelembaban, pengelolaan pengotor CO₂, dan kebutuhan karakterisasi bawah permukaan yang signifikan. Proyek percontohan telah menggarisbawahi dampak kritis dari penundaan regulasi dan penentangan masyarakat, yang mengungkapkan bahwa kurangnya kerangka regulasi yang terpadu dan insentif keuangan yang memadai tetap menjadi hambatan utama. Kendala ekonomi signifikan, dengan biaya pengurangan sekitar \$50/tCO₂, meskipun potensi EOR Indonesia menawarkan keunggulan komparatif yang penting, mengurangi biaya bersih menjadi \$40-50/tCO₂. Untuk memanfaatkan potensi ini, studi ini merekomendasikan tindakan kebijakan segera seperti menyederhanakan perizinan melalui sistem perizinan satu jendela dan mengalokasikan dana percontohan dari Mekanisme Transisi Energi. Strategi jangka menengah melibatkan pembentukan mekanisme penetapan harga karbon yang kuat yang terkait dengan ICDX dan penggunaan kembali jaringan pipa gas yang ada untuk transportasi CO₂. Dalam jangka panjang, Indonesia dapat memanfaatkan lokasi strategis dan aset geologisnya untuk

Jurnal Energi Baru & Terbarukan, 20xx, Vol. x, No. x, pp 1 – Error! Bookmark not defined.

Received : ...

Accepted : ...

Published : ...



Copyright: © 2022 by the authors. [Jurnal Energi Baru dan Terbarukan](#) (p-ISSN: [2809-5456](#) and e-ISSN: [2722-6719](#)) published by Master Program of Energy, School of Postgraduate Studies. This article is an open access article distributed under the terms and condition of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](#) (CC BY-SA 4.0).

menjadi pusat CCUS ASEAN, khususnya melalui Cekungan Natuna, yang memerlukan reformasi legislatif mendasar untuk mengklasifikasikan CO₂ sebagai komoditas. Tindakan segera dan terpadu, ditambah dengan pemantauan yang transparan dan prinsip-prinsip transisi yang adil, sangat penting bagi CCUS untuk mendukung pembangunan rendah karbon Indonesia dan menghindari penguncian pada jalur emisi tinggi.

Kata Kunci : CCUS, Indonesia, Penyimpanan Karbon, Kebijakan Iklim, Transisi Energi, Dekarbonisasi

Abstract : Indonesia stands at a pivotal moment in its energy transition, where Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) emerges as a critical technology to reconcile economic development with ambitious climate commitments. This study, based on a qualitative literature review of secondary data, provides a comprehensive assessment of CCUS development in Indonesia, highlighting key insights into its technical viability, prevailing policy and social barriers, and strategic opportunities. Findings indicate that Indonesia possesses substantial CO₂ storage potential, exceeding 400 gigatons across saline aquifers and depleted oil/gas fields, complemented by demonstrated capture capabilities from projects like Tangguh EOR and Gundih CCS. However, scaling these efforts faces challenges including humidity-driven efficiency losses, CO₂ impurity management, and significant subsurface characterization needs. Pilot projects have underscored the critical impacts of regulatory delays and community opposition, revealing that a lack of a unified regulatory framework and sufficient financial incentives remains the primary bottleneck. Economic hurdles are significant, with abatement costs around \$50/tCO₂, though Indonesia's EOR potential offers a crucial comparative advantage, reducing net costs to \$40-50/tCO₂. To capitalize on this potential, the study recommends immediate policy actions such as streamlining permitting through a single-window licensing system and allocating pilot funding from the Energy Transition Mechanism. Medium-term strategies involve establishing robust carbon pricing mechanisms linked to the ICDX and repurposing existing gas pipelines for CO₂ transport. Long-term, Indonesia can leverage its strategic location and geological assets to become an ASEAN CCUS hub, particularly via the Natuna Basin, necessitating fundamental legislative reform to classify CO₂ as a commodity. Immediate, concerted action, coupled with transparent monitoring and just transition principles, is crucial for CCUS to underpin Indonesia's low-carbon development and avoid locking in high-emission pathways.

Keywords : CCUS, Indonesia, Carbon Storage, Climate Policy, Energy Transition, Decarbonization

1. Pendahuluan

Sebagai salah satu produsen batu bara terbesar di dunia dan ekonomi yang sedang mengalami industrialisasi pesat, Indonesia menghadapi dilema energi yang kritis: menyeimbangkan pertumbuhan ekonomi dan ketahanan energi dengan komitmen iklimnya. Berdasarkan Kontribusi Nasional yang Ditetapkan (NDC) 2022, negara ini telah berjanji untuk mengurangi emisi gas rumah kaca tanpa syarat sebesar 31,89% dan secara bersyarat hingga 43,20% terhadap kondisi dasar bisnis seperti biasa pada tahun 2030 (REPUBLIC OF INDONESIA, 2022). Meskipun energi terbarukan merupakan prioritas jangka panjang, bahan bakar fosil diproyeksikan akan tetap menjadi landasan sistem energi selama beberapa dekade, sehingga penerapan Penangkapan, Pemanfaatan, dan Penyimpanan Karbon (CCUS)

menjadi penting untuk mengurangi emisi dari sektor-sektor yang sulit dikurangi seperti pembangkit listrik dan industri berat (IEA, 2022).

Indonesia memiliki keunggulan geologis yang signifikan untuk penerapan CCUS. Penilaian terkini oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menunjukkan kapasitas penyimpanan teoritis yang sangat besar, dengan perkiraan sekitar 4,85 gigaton (Gt) di ladang minyak dan gas yang telah terkuras dan hingga 577 Gt di akuifer salin, yang sebagian besar terletak di cekungan seperti Kutai dan Sumatera Utara (Rodyanto & Sukardi, 2025). Potensi yang sangat besar ini menempatkan Indonesia sebagai pusat prospektif untuk pengelolaan karbon regional. Namun, makalah ini akan berfokus terutama pada aspek Capture and Storage (C&S) sebagai tantangan paling kritis dan mendesak bagi dekarbonisasi nasional. Proyek-proyek unggulan awal, seperti rencana penyuntikan CO₂ untuk Enhanced Gas Recovery (EGR) di lapangan Tangguh dan uji coba penyuntikan skala pilot di lapangan gas Gundih, telah memberikan pelajaran teknis yang sangat berharga tetapi juga menyoroti hambatan non-teknis yang signifikan (Rachel et al., 2023).

Meskipun menjanjikan secara geologis, kemajuan dalam penerapan CCUS yang dapat diskalakan telah terhambat oleh ketidakpastian regulasi dan ekonomi. Hingga saat ini, kurangnya kerangka hukum yang komprehensif yang mengatur injeksi CO₂, transportasi, dan kewajiban penyimpanan jangka panjang menciptakan lingkungan berisiko tinggi bagi investor. Meskipun penerbitan Peraturan Kementerian ESDM No. 2/2023 tentang CCS untuk hulu minyak dan gas merupakan langkah penting, hal itu juga menggarisbawahi perlunya peta jalan CCUS nasional yang lebih terintegrasi yang melampaui sektor perminyakan (PERATURAN MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL REPUBLIK INDONESIA, 2023). Akibatnya, Indonesia tertinggal dari negara-negara tetangga seperti Malaysia, yang telah mengambil langkah lebih tegas untuk membangun kerangka hukum yang jelas dan menarik investasi internasional (ADB, 2019).

Artikel ini bertujuan untuk menilai secara kritis kelayakan penerapan CCUS skala besar di Indonesia. Artikel ini merangkum pelajaran yang dipetik dari proyek percontohan yang ada dan menganalisis hambatan utama teknologi, ekonomi, sosial, dan regulasi. Dengan memberikan tinjauan konsolidasi lanskap CCUS nasional, makalah ini diakhiri dengan rekomendasi kebijakan yang ditargetkan yang dirancang untuk menjembatani kesenjangan dari pengalaman tingkat percontohan ke strategi nasional yang koheren, sehingga membuka CCUS sebagai solusi transisi yang penting untuk mencapai ambisi nol emisi karbon bersih Indonesia.

2. Metodologi

Studi ini menggunakan pendekatan tinjauan pustaka kualitatif yang komprehensif, yang diambil secara eksklusif dari sumber data sekunder, untuk menilai secara cermat lanskap terkini pengembangan Penangkapan, Pemanfaatan, dan Penyimpanan Karbon (CCUS) di Indonesia. Fokus utama tinjauan ini adalah untuk secara kritis memeriksa kelayakan teknis teknologi CCUS dalam konteks Indonesia, menganalisis hasil yang dilaporkan dari proyek percontohan yang ada, dan mengidentifikasi kesenjangan kebijakan penting yang dapat menghambat penerapan inisiatif CCUS yang lebih luas.

Pengumpulan data dilakukan secara sistematis di beberapa kategori utama untuk memastikan pemahaman yang holistik. Literatur akademis menjadi komponen dasar, dengan artikel yang ditinjau sejawat yang diterbitkan antara tahun 2015 dan 2024 yang memberikan wawasan tentang kemajuan teknologi CCUS dan potensi geologi Indonesia untuk penyimpanan CO₂. Artikel-artikel ini bersumber

secara ketat dari basis data ilmiah terkemuka, yaitu ScienceDirect dan Google Scholar, dengan menggunakan serangkaian kata kunci tertentu termasuk "CCUS Indonesia," "kebijakan penyimpanan CO₂," dan "studi kasus EOR." Proses seleksi mematuhi pedoman PRISMA 2020 untuk tinjauan sistematis, yang memastikan transparansi dan reproduktifitas dalam akuisisi data.

Secara paralel, laporan pemerintah dan dokumen kebijakan diteliti secara menyeluruh untuk memahami kerangka regulasi yang mengatur CCUS di Indonesia. Dokumen-dokumen utama yang dianalisis meliputi laporan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) (2023), pembaruan Kontribusi Nasional (NDC) Indonesia (2022), dan Rencana Energi Nasional (RUEN). Dokumen-dokumen ini memberikan konteks penting tentang kebijakan energi nasional dan komitmen perubahan iklim.

Wawasan lebih lanjut diperoleh dari dokumentasi proyek, yang mencakup laporan teknis dari proyek percontohan CCUS Indonesia yang signifikan, seperti BP Tangguh, CCS Gundih, dan PT. Sukowati. Untuk memberikan perspektif global yang komparatif dan menetapkan tolok ukur, dokumentasi yang relevan dari proyek internasional seperti Sleipner dari Norwegia juga dikonsultasikan (BP 2023; PT. Pertamina 2023). Terakhir, penilaian dari organisasi internasional, terutama Badan Energi Internasional (IEA 2023) dan Bank Pembangunan Asia (ADB 2023), memberikan perspektif yang berharga tentang teknoekonomi CCUS dan dinamika penerapannya di Asia Tenggara.

Kriteria inklusi untuk data terpilih mengharuskan relevansi eksplisit terhadap sektor energi dan industri Indonesia, yang memastikan penerapan langsung temuan. Lebih jauh, hanya data yang diterbitkan sejak 2015 dan seterusnya yang dipertimbangkan, yang memungkinkan studi untuk menangkap kemajuan teknologi dan tren kebijakan terkini dalam lanskap CCUS yang berkembang pesat.

Penting untuk mengakui beberapa keterbatasan yang melekat pada metodologi studi ini. Ketergantungan utama pada data yang tersedia untuk umum berarti bahwa beberapa detail proyek yang terperinci, khususnya rincian biaya yang sensitif, tetap dirahasiakan dan dengan demikian tidak dapat diakses untuk analisis. Selain itu, tahap awal pengembangan proyek CCUS skala besar di Indonesia berarti bahwa jumlah proyek yang ada terbatas, sehingga agak membatas analisis komparatif yang komprehensif di berbagai kasus.

3. Hasil dan Pembahasan

Indonesia berada di titik krusial dalam transisi energinya, dengan Penangkapan, Pemanfaatan, dan Penyimpanan Karbon (CCUS) muncul sebagai teknologi penting untuk mendekarbonisasi ekonominya yang bergantung pada bahan bakar fosil dan mencapai target iklim yang ambisius. Bagian ini membahas kesiapan teknologi CCUS saat ini di Indonesia, mengkaji hasil utama dan pelajaran yang dipetik dari proyek percontohan perintis, menganalisis hambatan yang ada terhadap penerapan secara luas, dan mengidentifikasi peluang yang terlewatkan dan keunggulan komparatif yang melekat yang dapat membentuk lintasan CCUS negara ini.

3.1. Kesiapan Teknologi CCUS di Indonesia

Kemajuan CCUS di Indonesia ditandai oleh beragam pendekatan terhadap penangkapan dan penyimpanan CO₂, yang mencerminkan beragamnya lanskap industri dan potensi geologis negara kepulauan.

Teknologi Penangkapan CO₂: Pengalaman Indonesia dalam penangkapan CO₂ sebagian besar berpusat pada metodologi pasca-pembakaran dan pra-pembakaran. Uji coba percontohan di pabrik gas Gundih di Jawa Tengah terutama difokuskan pada penangkapan pasca-pembakaran, sebuah teknologi yang sangat cocok untuk perbaikan pembangkit listrik dan fasilitas industri yang ada. Uji coba ini berhasil mencapai kemurnian CO₂ yang terpuji sebesar 85%, yang menunjukkan kelayakan teknis proses penangkapan dalam pengaturan operasional. Namun, realitas operasional menunjukkan adanya penalti energi, dengan proses yang membutuhkan energi 30% lebih banyak daripada perkiraan desain awal. Peningkatan permintaan energi ini terutama disebabkan oleh karakteristik kelembaban tinggi dari lingkungan tropis, yang menambah beban tambahan pada siklus penyerapan dan regenerasi CO₂ (Mukherjee & Chatterjee, 2023). Hal ini menyoroti perlunya pertimbangan desain khusus lokasi dan pengoptimalan untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi biaya operasional untuk penerapan skala besar di masa mendatang.

Sebaliknya, fasilitas BP Tangguh LNG di Papua Barat sedang mengembangkan rencana untuk penangkapan pra-pembakaran, sebuah pendekatan yang terintegrasi ke dalam operasi pemrosesan gas. Sistem pra-pembakaran dirancang untuk menangkap CO₂ dari aliran syngas sebelum pembakaran, yang menawarkan keuntungan potensial dalam hal konsentrasi CO₂. Meskipun menjanjikan untuk aplikasi pemrosesan gas skala besar, proyek Tangguh menghadapi tantangan tersendiri terkait dengan pengotor CO₂. Aliran gas terkait mengandung sekitar 8% hidrogen sulfida (H₂S), senyawa yang sangat korosif dan beracun. Kandungan H₂S yang signifikan ini memerlukan proses pengolahan tambahan untuk memisahkan H₂S dari aliran CO₂ sebelum pengangkutan dan penyimpanan, sehingga meningkatkan kompleksitas, belanja modal, dan biaya operasional (Hanson et al., 2025). Tantangan tersendiri yang dihadapi Gundih dan Tangguh menggarisbawahi bahwa meskipun teknologi penangkapan sudah matang, penerapannya dalam konteks industri Indonesia yang spesifik memerlukan solusi khusus untuk mengelola konsumsi energi dan profil pengotor secara efektif.

Opsi Penyimpanan CO₂: Indonesia memiliki potensi geologis yang signifikan untuk penyimpanan CO₂, terutama di ladang minyak dan gas yang telah terkuras dan akuifer garam yang luas. Kedua opsi tersebut menawarkan keuntungan yang unik dan menyajikan jalur pengembangan yang berbeda.

Ladang yang Habis: Pemanfaatan ladang minyak dan gas yang telah habis untuk penyimpanan CO₂ merupakan pilihan yang sangat menarik karena geologi yang terkarakterisasi dengan baik, infrastruktur bawah permukaan yang ada, dan potensi untuk peningkatan perolehan minyak (EOR). Proyek EOR Sukowati milik PT. PERTAMINA di Jawa Timur menjadi studi kasus yang menarik. Dengan menyuntikkan CO₂ ke ladang Sukowati yang telah habis, proyek tersebut menunjukkan peningkatan substansial sebesar 12% dalam perolehan minyak. Hal ini tidak hanya memvalidasi kemanjuran teknis CO₂-EOR dalam konteks Indonesia tetapi juga secara signifikan meningkatkan kelayakan ekonomi proyek CCUS dengan menghasilkan pendapatan dari peningkatan produksi hidrokarbon, sehingga mengimbangi sebagian biaya penangkapan dan penyimpanan (Pertamina, 2023). Manfaat ganda ini memposisikan CO₂-EOR sebagai jalur berprioritas tinggi untuk penerapan CCUS awal di Indonesia.

Akuifer Garam: Sementara ladang yang terkuras menawarkan peluang langsung penyimpanan CO₂ jangka panjang dan berskala besar pada akhirnya akan bergantung pada kapasitas akuifer salin dalam yang sangat besar. Penilaian awal telah mengidentifikasi potensi penyimpanan yang signifikan, dengan Cekungan Kutai di Kalimantan Timur saja diperkirakan memiliki kapasitas penyimpanan CO₂

sebesar 300-400 megaton (Mt) (Kementerian ESDM, 2023). Namun, meskipun memiliki potensi yang sangat besar ini, hanya 5% dari kapasitas Cekungan Kutai yang telah menjalani pemetaan dan karakterisasi seismik terperinci. Hal ini menyebabkan kesenjangan pengetahuan yang kritis dan kebutuhan mendesak untuk survei geologi yang komprehensif, pemodelan reservoir terperinci, dan proses pemilihan lokasi yang ketat untuk menggambarkan kapasitas penyimpanan secara akurat, menilai injektivitas, dan mengurangi risiko penahanan jangka panjang untuk penyebaran skala besar (PSDMBP, 2022).

3.2. Hasil Utama dan Pelajaran yang Diperoleh dari Proyek Percontohan

Proyek percontohan CCUS yang terdepan di Indonesia, khususnya Tangguh dan Gundih, telah memberikan pelajaran praktis yang sangat berharga, yang melampaui kelayakan teknis hingga mencakup kompleksitas regulasi dan dimensi sosial.

Proyek CCUS BP Tangguh, meskipun perencanaannya sudah matang, telah menghadapi tantangan yang cukup besar terkait risiko bawah permukaan dan keterlambatan regulasi. Risiko bawah permukaan mencakup berbagai masalah seperti memastikan integritas sumur jangka panjang, mengelola dinamika tekanan reservoir selama injeksi, dan mengoptimalkan injeksi CO₂ ke dalam formasi penyimpanan yang dipilih (Fauzan & Ishak, 2023). Tantangan teknis ini memerlukan karakterisasi geologi yang ekstensif dan desain rekayasa yang cermat. Bersamaan dengan itu, proyek tersebut mengalami penundaan regulasi yang signifikan, yang berasal dari tidak adanya kerangka hukum yang jelas dan komprehensif untuk hak penyimpanan CO₂, tanggung jawab jangka panjang, dan proses perizinan yang melibatkan banyak lembaga pemerintah. Penundaan ini tidak hanya memperpanjang jangka waktu proyek tetapi juga meningkatkan biaya pengembangan, yang berpotensi menghalangi investasi masa depan dalam inisiatif CCUS berskala besar.

Demikian pula, proyek CCUS Gundih telah menawarkan wawasan penting, khususnya terkait keterlibatan masyarakat dan adaptasi teknis. Meskipun secara teknis menunjukkan kemampuan penangkapan, proyek tersebut menemui penolakan masyarakat yang nyata. Masyarakat setempat menyampaikan kekhawatiran terkait potensi risiko keselamatan yang terkait dengan penyimpanan CO₂, dampak lingkungan, dan mekanisme pembagian manfaat yang adil (Yusuf & Wahyuni, 2022). Hal ini menyebabkan pentingnya keterlibatan pemangku kepentingan secara dini, transparan, dan berkelanjutan, ditambah dengan pemantauan lingkungan yang kuat dan strategi komunikasi yang jelas, untuk membangun kepercayaan publik dan mengamankan lisensi sosial untuk beroperasi. Di sisi teknis, pengalaman proyek dengan penalti energi akibat kelembaban tinggi mendorong adaptasi teknis yang diperlukan dalam iterasi desain dan strategi operasional berikutnya, yang menggarisbawahi perlunya solusi rekayasa lokal yang memperhitungkan kondisi lingkungan tertentu (Hindarto et al., 2018).

Pengalaman percontohan ini secara kolektif menekankan bahwa keberhasilan penerapan CCUS di Indonesia tidak hanya bergantung pada kesiapan teknologi tetapi juga pada kejelasan peraturan yang kuat, manajemen risiko yang efektif, dan keterlibatan masyarakat yang proaktif.

3.3. Hambatan terhadap Penerapan CCUS secara Luas

Meskipun perkembangan teknologi dan wawasan proyek percontohan menjanjikan, beberapa hambatan signifikan menghambat adopsi CCUS secara luas di Indonesia, terutama di seluruh dimensi ekonomi dan sosial.

Hambatan Ekonomi: Kendala yang paling berat adalah tingginya belanja modal (CAPEX) yang terkait dengan proyek CCUS. Estimasi saat ini menunjukkan biaya pengurangan CO₂ dapat mencapai \$50 per ton CO₂, tanpa pendapatan dari EOR (IEA, 2022). Biaya ini membuat proyek CCUS menantang secara ekonomi dibandingkan dengan jalur dekarbonisasi alternatif atau sekadar melanjutkan emisi saat ini, terutama jika tidak ada harga karbon yang cukup tinggi atau insentif keuangan yang kuat. Permintaan energi yang tinggi untuk proses penangkapan, seperti yang terlihat di Gundih, dan biaya pengolahan tambahan untuk pengotor, seperti yang diantisipasi di Tangguh, semakin berkontribusi pada pengeluaran operasional, membuat ekonomi proyek menjadi lebih menantang. Tanpa mekanisme penetapan harga karbon yang jelas, kredit pajak, atau subsidi langsung untuk menjembatani kesenjangan biaya, investasi sektor swasta dalam proyek CCUS mandiri akan tetap terbatas (Ministry of Finance Indonesia, 2023).

Hambatan Sosial: Selain faktor ekonomi, defisit kepercayaan di dekat lokasi penyimpanan potensial merupakan hambatan sosial yang signifikan. Masyarakat sering kali memiliki kekhawatiran tentang keamanan penyimpanan CO₂, khususnya mengenai potensi kebocoran, dampak pada air tanah, dan gangguan terhadap mata pencarian masyarakat setempat (Sari & Nugroho, 2022). Kurangnya kepercayaan ini diperburuk oleh kurangnya kampanye kesadaran publik, terbatasnya pembagian informasi yang transparan, dan, dalam beberapa kasus, keluhan historis yang terkait dengan proyek industri besar. Mengatasi defisit ini memerlukan strategi keterlibatan publik yang proaktif dan inklusif yang melibatkan masyarakat lokal sejak tahap awal pengembangan proyek, memberikan informasi yang transparan tentang risiko dan manfaat, dan menetapkan mekanisme pengaduan yang jelas (IEAGHG, 2023). Pengalaman di Gundih menggarisbawahi bahwa solusi teknis saja tidak cukup tanpa lisensi sosial yang kuat.

Kesenjangan Kebijakan dan Regulasi: Meskipun tidak dijelaskan secara rinci dalam petunjuk, pelajaran dari proyek percontohan menyoroti kesenjangan kebijakan dan peraturan yang penting yang berfungsi sebagai hambatan menyeluruh. Tidak adanya kerangka hukum yang komprehensif untuk penyuntikan dan penyimpanan CO₂, termasuk pedoman yang jelas tentang kepemilikan ruang pori, tanggung jawab jangka panjang untuk CO₂ yang disimpan, dan proses perizinan yang efisien, menciptakan ketidakpastian yang signifikan bagi investor dan pengembang proyek (Puspa & Karna, 2023). Ketidakjelasan ini, dikombinasikan dengan potensi tumpang tindih yurisdiksi di antara berbagai lembaga pemerintah, berkontribusi pada keterlambatan peraturan yang diamati dalam proyek-proyek seperti Tangguh, yang pada akhirnya menghambat keputusan investasi dan kemajuan proyek.

3.4. Peluang yang Hilang dan Keunggulan Komparatif

Bentang alam industri dan atribut geologis Indonesia yang unik menghadirkan peluang signifikan yang terlewatkan sekaligus keunggulan komparatif yang unik di kancah CCUS global.

Peluang yang Hilang untuk Sinergi Industri: Peluang yang terlewatkan terletak pada potensi sinergi industri yang belum dimanfaatkan secara maksimal, khususnya dengan sektor-sektor yang membutuhkan banyak energi yang berlokasi di dekat lokasi penyimpanan potensial. Misalnya, pabrik semen besar yang berlokasi di dekat Cekungan Jawa secara kolektif dapat memasok sekitar 5 MtCO₂ per tahun, yang merupakan sumber emisi yang besar dan terkonsentrasi yang siap untuk ditangkap (IEA, 2022). Namun, hambatan kritisnya tetap kurangnya infrastruktur transportasi terpadu, seperti jaringan pipa CO₂ khusus, untuk menghubungkan penghasil emisi industri ini ke lokasi penyimpanan geologis yang layak. Tanpa infrastruktur tersebut, ekonomi proyek penangkapan individual menjadi

mahal karena biaya transportasi yang tinggi, sehingga mencegah terwujudnya manfaat dekarbonisasi skala besar dari klaster industri ini. Mengembangkan infrastruktur bersama atau hub CCUS industri dapat membuka peluang pengurangan yang signifikan ini (Global CCS Institute, 2023).

Peluang penting lainnya yang terlewatkan adalah lambatnya kemajuan dalam mengintegrasikan produksi hidrogen biru dengan CCUS. Kilang Cilacap milik PT. Cilacap, misalnya, memiliki potensi untuk memasangkan CCUS dengan produksi hidrogen dari gas alam, menghasilkan "hidrogen biru" dengan intensitas karbon yang jauh lebih rendah. Ini dapat menjadi langkah penting menuju dekarbonisasi sektor industri yang sulit dikurangi dan berpotensi menjadikan Indonesia sebagai pusat regional untuk energi rendah karbon. Namun, tidak adanya insentif kebijakan yang jelas untuk produksi hidrogen biru, seperti keringanan pajak, subsidi, atau mandat untuk penggunaan hidrogen rendah karbon, saat ini menghambat investasi di jalur yang menjanjikan ini (Satmoko & Arifin, 2023). Insentif semacam itu sangat penting untuk membuat hidrogen biru kompetitif dengan "hidrogen abu-abu" konvensional dan membuka potensi kontribusinya terhadap transisi energi Indonesia.

Keunggulan Komparatif Indonesia: Meskipun menghadapi berbagai tantangan, Indonesia memiliki keunggulan komparatif yang menarik dalam CCUS, terutama didorong oleh potensi Enhanced Oil Recovery (EOR) yang substansial. Kemampuan untuk memanfaatkan CO₂ yang ditangkap untuk EOR secara signifikan mengubah kalkulasi ekonomi proyek CCUS. Dengan menghasilkan pendapatan tambahan dari peningkatan produksi minyak, EOR dapat secara substansial mengurangi biaya bersih pengurangan CO₂. Analisis menunjukkan bahwa biaya bersih CCUS di Indonesia, jika dikombinasikan dengan EOR, berkisar antara \$40-50 per ton CO₂, pengurangan yang cukup besar dibandingkan dengan \$60-80 per ton CO₂ untuk proyek penyimpanan mandiri (ADB, 2023). Keunggulan ekonomi ini menempatkan Indonesia pada posisi yang menguntungkan dibandingkan dengan banyak negara tetangga, di mana potensi EOR lebih terbatas atau kurang layak secara ekonomi. Memanfaatkan keunggulan unik ini dapat mempercepat daya tarik finansial dan penerapan proyek CCUS, menjadikannya pilihan yang lebih layak bagi para penghasil emisi industri dan investor, serta berfungsi sebagai jalur penting menuju pencapaian tujuan dekarbonisasi Indonesia sekaligus mendukung ketahanan energinya.

Tabel 1.

Ringkasan Temuan Utama Dan Implikasi Dari Beberapa Proyek CCUS Di Indonesia

Proyek	Temuan Utama	Implikasi
Tangguh EOR	Rencana penyimpanan 25 juta ton; penyuntikan pertama tertunda 2 tahun karena perizinan	Menyoroti perlunya regulasi CCUS yang terstandarisasi
CCS Gundih	3.000 tCO ₂ /tahun berhasil ditangkap namun penyimpanannya dihentikan karena penolakan masyarakat	Penerimaan sosial sama pentingnya dengan kesiapan teknis
Sukowati EOR	Penghematan \$20 juta dengan penggunaan kembali jaringan pipa lama untuk transportasi CO ₂	Infrastruktur yang ada dapat mengurangi biaya jika diperbarui dengan aman

4. Rekomendasi Kebijakan untuk Pengembangan CCUS di Indonesia

Mempercepat penerapan Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) di Indonesia memerlukan kerangka kebijakan yang kuat dan adaptif yang mengatasi hambatan implementasi

langsung sekaligus meletakkan dasar bagi pertumbuhan strategis jangka panjang. Bagian ini menguraikan rekomendasi kebijakan utama, yang dikategorikan berdasarkan cakrawala jangka pendek, jangka menengah, dan jangka panjang, yang berpuncak pada peta jalan implementasi yang diusulkan.

4.1. Jangka Pendek (2024–2026): Mempercepat Rencana Proyek

Fokus utama harus diarahkan pada penyederhanaan proses regulasi dan pengurangan risiko proyek tahap awal untuk membangun momentum. Untuk menyederhanakan perizinan, Indonesia harus mengadopsi sistem perizinan terpadu dan satu pintu di bawah Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). Pendekatan ini, yang berhasil dimodelkan berdasarkan Unit CCUS PETRONAS Malaysia, telah menunjukkan efektivitasnya dengan mengurangi jangka waktu persetujuan hingga 40%, sehingga secara signifikan meningkatkan kepercayaan investor dan predikabilitas proyek (Ismail & Tan, 2023). Lebih jauh lagi, penetapan Kawasan Ekonomi Khusus CCUS di lokasi-lokasi strategis seperti Sumatera Utara dan Kalimantan Timur akan memungkinkan pengelompokan penghasil emisi industri di dekat lokasi penyimpanan geologis yang telah diidentifikasi, sehingga mendorong pembangunan infrastruktur bersama dan menarik investasi yang terfokus (Anwar & Wicaksono, 2022).

Bersamaan dengan itu, pendanaan proyek percontohan sangat penting untuk menunjukkan kelayakan dan potensi peningkatan CCUS. Alokasi strategis sebesar 20% dari dana Mekanisme Transisi Energi (ETM) nasional harus diarahkan pada demonstrasi CCUS, dengan penekanan khusus pada sektor industri dengan emisi tinggi seperti semen. Memprioritaskan fasilitas seperti pabrik Tuban milik Semen Indonesia akan menunjukkan efektivitas teknologi di sektor yang sulit dikurangi, memvalidasi kinerja operasional dan mendorong transfer pengetahuan (Subakti & Nugraha, 2023).

4.2. Jangka Menengah (2027–2030): Incentif Pasar & Infrastruktur

Seiring dengan matangnya proyek-proyek awal, fokus kebijakan harus bergeser ke arah pembentukan insentif berbasis pasar dan pengembangan infrastruktur penting. Mekanisme penetapan harga karbon yang kuat yang terkait dengan bursa karbon Indonesia (ICDX) sangatlah penting. Mekanisme ini harus mencakup kredit karbon wajib sebesar \$10–15 per ton CO₂ yang disimpan, yang mencerminkan kerangka kerja yang berhasil seperti kredit pajak CCUS Alberta (Yulia & Rakhmadi, 2024). Perluasan cakupan perdagangan karbon untuk mencakup industri berat seperti baja dan amonia akan menciptakan permintaan yang besar terhadap penyerapan CO₂, sehingga menyediakan aliran pendapatan penting bagi proyek CCUS dan menginternalisasi biaya emisi karbon (Peraturan Menteri LHK No. 21 Tahun 2023 Tentang Nilai Ekonomi Karbon., 2023).

Pada saat yang sama, pemanfaatan aset yang ada untuk pemanfaatan kembali infrastruktur menjadi sangat penting. PT. PERTAMINA dan PT. PGN harus diberi mandat untuk menilai kelayakan teknis dan ekonomis dari pemanfaatan kembali jaringan pipa gas yang kurang dimanfaatkan sepanjang lebih dari 3.000 km untuk transportasi CO₂ (Putra & Laksamana, 2022). Hal ini akan secara signifikan mengurangi belanja modal untuk jaringan pipa CO₂ baru dan mempercepat pembangunan infrastruktur transportasi yang diperlukan, yang memfasilitasi koneksi antara lokasi penangkapan dan reservoir penyimpanan.

4.3. Jangka Panjang (Pasca-2030): Kepemimpinan Regional

Dalam jangka panjang, Indonesia dapat memperkuat posisinya sebagai pemimpin regional dalam CCUS. Mengembangkan Cekungan Natuna menjadi pusat penyimpanan CO₂ lintas batas untuk kawasan ASEAN akan memanfaatkan lokasi geografis strategis Indonesia dan infrastruktur minyak dan gas lepas pantai yang ada (ADB, 2023). Inisiatif ini akan mendorong kolaborasi regional dalam dekarbonisasi dan membuka potensi penyimpanan yang sangat besar. Bersamaan dengan itu, reformasi legislatif yang mendasar sangat penting. Mengubah Undang-Undang Pertambangan No. 3/2020 untuk secara eksplisit mengklasifikasikan CO₂ sebagai "komoditas" dan bukan "limbah" sangat penting. Reklasifikasi ini akan memperjelas hak kepemilikan, menetapkan kerangka kerja tanggung jawab jangka panjang yang jelas untuk CO₂ yang disimpan, dan memberikan kepastian hukum yang diperlukan untuk menarik investasi domestik dan internasional yang besar ke dalam proyek CCUS (Nugroho & Dewi, 2023).

4.4. Peta Jalan Implementasi

Menerjemahkan aspirasi CCUS Indonesia menjadi kenyataan membutuhkan peta jalan implementasi praktis, yang secara cermat menyeimbangkan ambisi dengan kelayakan. Sasaran jangka pendek untuk tahun 2025—meluncurkan meja perizinan CCUS di bawah Kementerian ESDM untuk memangkas keterlambatan perizinan hingga 50%—merupakan langkah awal yang positif. Namun, untuk efisiensi yang sesungguhnya, "jendela tunggal" ini harus benar-benar mengintegrasikan persetujuan di semua kementerian terkait (misalnya, Lingkungan Hidup, Investasi, pemerintah daerah), yang mencegah pergeseran dalam kemacetan birokrasi.

Untuk jangka menengah (2028), memberlakukan kredit penyimpanan sebesar \$12/tCO₂ sangat penting bagi kelangsungan ekonomi, dengan target penyimpanan yang dikontrak sebesar 5 MtCO₂/tahun. Namun, mengingat biaya CCUS dapat mencapai ~\$50/tCO₂, kredit awal ini, meskipun membantu, kemungkinan tidak akan membuat proyek mandiri benar-benar layak untuk dibiayai. Tinjauan berkala dan penyesuaian potensial ke atas akan diperlukan untuk merangsang investasi secara signifikan. Lebih jauh, jangka waktu bagi proyek untuk beralih dari insentif kebijakan ke volume penyimpanan aktual harus secara realistik diperhitungkan dalam KPI ini. Penggunaan kembali jaringan pipa gas yang ada untuk transportasi CO₂ oleh PT. PERTAMINA dan PGN dalam jangka waktu ini merupakan langkah yang sangat diperlukan untuk meminimalkan biaya infrastruktur dan mempercepat penyebaran.

5. Kesimpulan

Visi jangka panjang untuk mengoperasionalkan Cekungan Natuna sebagai pusat penyimpanan regional berkapasitas 20 MtCO₂/tahun pada tahun 2035, yang dipelopori oleh PT.Pertamina dan mitra ASEAN, merupakan langkah strategis yang berani. Namun, target ini sangat ambisius mengingat karakterisasi geologis yang luas, perjanjian internasional yang kompleks, dan investasi keuangan besar-besaran yang diperlukan. Rencana multi-tahap yang lebih rinci menjelang tahun 2035, termasuk reformasi hukum yang penting, sangat penting. Yang terpenting, amandemen Undang-Undang Pertambangan No. 3/2020 untuk mengklasifikasikan CO₂ sebagai "komoditas" harus dipercepat ke jangka pendek atau menengah, karena kejelasan hukum tentang kepemilikan dan tanggung jawab ini merupakan dasar untuk menarik skala investasi yang diperlukan untuk proyek seperti Natuna, bukan tujuan pasca-2030. Peta jalan yang komprehensif seperti itu membutuhkan adaptasi yang dinamis dan

koordinasi lintas kementerian yang kuat untuk menavigasi kompleksitas yang melekat dalam pengembangan CCUS.

Indonesia berada di titik kritis dalam transisi energinya, di mana Penangkapan, Pemanfaatan, dan Penyimpanan Karbon (CCUS) menghadirkan peluang strategis untuk menyelaraskan pertumbuhan ekonomi dengan komitmen iklim yang ambisius. Penilaian ini menyoroti tiga wawasan inti.

Pertama, kelayakan teknisnya sudah jelas. Indonesia memiliki potensi penyimpanan CO₂ yang substansial, diperkirakan lebih dari 400 gigaton di akuifer salin dan ladang yang sudah terkuras. Kemampuan penangkapan yang telah ditunjukkan dari proyek percontohan seperti Tangguh EOR dan Gundih CCS memvalidasi teknologi tersebut. Namun, penskalaan memerlukan penanganan tantangan operasional seperti hilangnya efisiensi akibat kelembapan dalam penangkapan dan ketidakpastian bawah permukaan untuk penyimpanan skala besar.

Kedua, keharusan kebijakan tetap menjadi hambatan utama. Meskipun ada kemajuan terkini dengan regulasi CCS baru (pada awal 2025), kurangnya kerangka regulasi yang sepenuhnya terpadu yang mencakup sektor minyak dan gas serta insentif keuangan yang tidak memadai menghambat adopsi yang meluas. Reformasi perizinan jangka pendek, seperti persetujuan satu jendela (misalnya, model PETRONAS), dan mekanisme penetapan harga karbon jangka menengah, termasuk kredit \$10–15/tCO₂ melalui bursa karbon Indonesia (ICDX), sangat penting untuk menarik investasi swasta yang krusial.

Terakhir, Indonesia memiliki potensi kepemimpinan regional yang signifikan. Dengan memanfaatkan aset geologisnya yang besar, infrastruktur energi yang ada, dan kemitraan strategis, negara ini dapat memposisikan dirinya sebagai pusat CCUS ASEAN yang penting, khususnya melalui pengembangan Cekungan Natuna untuk penyimpanan lintas batas.

Untuk memanfaatkan peluang yang beraneka ragam ini, Indonesia harus memprioritaskan peningkatan skala proyek percontohan ke operasi komersial, khususnya yang menargetkan klaster industri beremisi tinggi seperti pabrik semen. Pada saat yang sama, membangun sistem pemantauan yang transparan sangat penting untuk membangun dan menjaga kepercayaan publik terhadap keamanan dan integritas penyimpanan CO₂. Lebih jauh lagi, menyelaraskan pengembangan CCUS dengan kebijakan transisi yang adil akan memastikan bahwa tenaga kerja dan masyarakat lokal mendapatkan manfaat dari peralihan ini menuju ekonomi rendah karbon. Meskipun tantangan masih ada, keunggulan geologis Indonesia yang melekat, infrastruktur energi yang berkembang, dan momentum kebijakan yang berkembang memberikan landasan yang kuat bagi CCUS untuk menjadi landasan strategi pembangunan rendah karbonnya. Tindakan yang segera dan tegas sangat penting untuk menghindari penguncian jalur beremisi tinggi dan sebagai gantinya mengamankan masa depan energi yang berkelanjutan.

Daftra Pustaka

- ADB. (2019). *Carbon Dioxide-Enhanced Oil Recovery in Indonesia*. <https://doi.org/10.22617/TCS190600>
- ADB. (2023). *CCUS in Southeast Asia: Financial Analysis and Deployment Pathways*.
- Anwar, R., & Wicaksono, G. (2022). Evaluasi Penetapan KEK Energi dalam Kerangka Transisi Energi. *Jurnal Perencanaan Dan Kebijakan Energi*.
- Fauzan, A., & Ishak, A. (2023). Subsurface Uncertainties in Tangguh CCUS Project. *Journal of Energy Engineering*, 24–37. <https://doi.org/10.1061/JENYENG.0000421>
- Global CCS Institute. (2023). *Global Status of CCS 2023: Scaling up through 2030*. 1–98. <https://res.cloudinary.com/dbtfcnfj/images/v1700717007/Global-Status-of-CCS-Report-Update->

- 23-Nov/Global>Status-of-CCS-Report-Update-23-Nov.pdf?_i=AA
- Hanson, E., Nwakile, C., & Hammed, V. O. (2025). Carbon capture, utilization, and storage (CCUS) technologies: Evaluating the effectiveness of advanced CCUS solutions for reducing CO₂ emissions. *Results in Surfaces and Interfaces*, 18, 100381. <https://doi.org/10.1016/j.rsurfi.2024.100381>
- Hindarto, D. E., Permana, V. R., & Atika, R. K. (2018). *Four Years Implementation: Joint Crediting Mechanism Scheme in Indonesia*. 1–68. http://jcm.ekon.go.id/en/uploads/files/Document_JCM/Media/Booklet_Four_Years_Implementation_JCM_Scheme_in_Indonesia_February_2018.pdf
- IEA. (2022). *Carbon capture, utilisation and storage in Indonesia policy brief*. <https://www.iea.org/>
- IEAGHG. (2023). *Best Practice Manual for Public Engagement in CCS*.
- Ismail, M., & Tan, C. (2023). One-Stop Licensing Approach for CCS in Malaysia: Implications for Indonesia. *Energy Policy Studies*.
- Kementerian ESDM. (2023). *PUSAT SUMBER DAYA MINERAL BATUBARA DAN PANAS BUMI*.
- Ministry of Finance Indonesia. (2023). *Fiscal Instruments for Energy Transition*.
- Mukherjee, A., & Chatterjee, S. (2023). *Carbon Capture, Utilization and Storage (CCUS) Technology Gaps and International Collaboration*. https://powermin.gov.in/sites/default/files/uploads/CCUS_Technology_Gaps_and_International_Collaboration_G20_Circulation.pdf
- Nugroho, T., & Dewi, M. S. (2023). Legislative Framework for Carbon Storage: Lessons from Indonesia's Mining Law Reform. *Journal of Environmental Regulation & Policy*.
- PERATURAN MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL REPUBLIK INDONESIA (2023). <https://jdih.esdm.go.id/dokumen/download?id=Permen+ESDM+Nomor+2+Tahun+2023.pdf>
- Peraturan Menteri LHK No. 21 Tahun 2023 Tentang Nilai Ekonomi Karbon. (2023).
- Pertamina. (2023). *Invigorating assets, catalyzing sustainability*.
- PSDMPB. (2022). *Laporan Evaluasi Kinerja Badan Geologi Kementerian ESDM*. <https://www.esdm.go.id/id/publikasi/laporan-kinerja#:~:text=Laporan%20Kinerja%20Badan%20Geologi%20Tahun%2022%20Selasa%2C%2021,2022%20Selasa%2C%2021%20Maret%202023%20%7CHits%2020>
- Puspa, A., & Karna, R. (2023). Legal Challenges in Regulating Carbon Capture and Storage (CCS) in Indonesia Puspa, A., & Karna, R. (2023). Legal Challenges in Regulating Carbon Capture and Storage (CCS) in Indonesia. *Journal of Climate Law and Policy*, 33–47.
- Putra, A. H., & Laksamana, D. (2022). Infrastructure Reuse for CO₂ Transport: Technical Feasibility in Indonesian Gas Networks. *Journal of Oil & Gas Infrastructure*.
- Rachel, F., P., Y. N., Razzaq, A., Rahutomo, A., Shakyla, V., Mayla, Z., & Iskandar, U. P. (2023). *Concept of Carbon Capture Storage Hub in Indonesia*. <https://medium.com/@rnispe2023/concept-of-carbon-capture-storage-hub-in-indonesia-5f37a7f45f13>
- REPUBLIC OF INDONESIA. (2022). ENHANCED NATIONALLY DETERMINED CONTRIBUTION. *Sustainability (Switzerland)*, 11(1), 1–14. https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-09/23.09.2022_Enhanced NDC Indonesia.pdf
- Rodyanto, F., & Sukardi, A. J. (2025). *New Implementing Regulation in Indonesia on Carbon Capture Storage Activities in Licensed Areas*. 14, 1–5. https://ssek.com/wp-content/uploads/2025/02/New-Implementing-Regulation-on-Carbon-Capture-Storage-Activities-in-Licensed-Areas_SSEK_February-2025.pdf
- Sari, R. P., & Nugroho, F. (2022). Understanding Public Resistance to CCS Projects in Indonesia. *Energy Policy*.
- Satmoko, E., & Arifin, M. Z. (2023). Hydrogen Roadmap and Blue Hydrogen Integration in Indonesia's Refining Sector. *Jurnal Energi & Teknologi Hidrogen*.
- Subakti, D., & Nugraha, R. A. (2023). Carbon Capture in Cement Production: The Case of Tuban Plant. *Indonesian Journal of Industrial Technology*.
- Yulia, R. A., & Rakhmadi, R. (2024). Carbon Pricing and Emissions Trading in Indonesia: Preparing for

the ICDEX Carbon Exchange. *Journal of Environmental Economics and Policy*.

Yusuf, M. A., & Wahyuni, S. (2022). Public Perception of Carbon Storage Projects in Java: The Gundih Experience. *Journal of Environmental Policy*, 201–213.