

Perbandingan Penerapan Carbon Capture and Storage di Indonesia dan Singapura

Lestari Siahaan¹ Iona Febrina Simanjuntak² Rosiana Agnes Risky³ Dwi Natali
M.Hutabarat⁴ Martono Anggusti⁵

Fakultas Hukum, Universitas HKBP Nommensen Medan, Kota Medan, Provinsi Sumatera
Utara, Indonesia^{1,2,3,4,5}

Email: lestari.siahaan@student.uhn.ac.id¹ iona.simanjuntak@student.uhn.ac.id²
rosianaagnes.rizky@student.uhn.ac.id³ dwinataliamartama.hutabarat@student.uhn.ac.id⁴
martono.pang@gmail.com⁵

Abstrak

Pemanasan global dan emisi gas rumah kaca merupakan isu global yang terus menjadi perhatian, terutama karena berdampak terhadap lingkungan dan aktivitas makhluk hidup. Aktivitas manusia seperti pembakaran hutan dan aktivitas industri menjadi penyebab utama dalam hal ini. Teknologi Carbon Capture and Storage (CCS) muncul sebagai solusi yang signifikan untuk mengurangi emisi karbon. Dalam upaya memahami dan mengevaluasi kebijakan CCS, penting untuk melakukan studi literatur yang komprehensif. Studi ini melibatkan pengumpulan berbagai sumber hukum, laporan pemerintah dan penelitian akademis yang relevan seperti jurnal dan buku. Sumber-sumber hukum memberikan kerangka yang mengatur penerapan regulasi dan teknologi CCS. Setelah mengumpulkan dan menganalisis literatur yang ada, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis perbandingan. Dalam tahap ini, metode analisis kualitatif digunakan untuk membandingkan regulasi dan penerapan CCS di dua negara baik Indonesia dan Singapura. Dalam penerapan dan regulasi CCS terdapat perbedaan signifikan antara Indonesia dan Singapura sebagai konteks penulisan ini. Singapura menunjukkan kemajuan yang lebih cepat dalam penerapan CCS berkat regulasi yang lebih jelas dan dukungan finansial yang kuat. Indonesia perlu memperkuat kerangka hukum dan meningkatkan investasi untuk memaksimalkan potensi CCS.

Kata Kunci: Carbon Capture and Storage (CCS), Emisi Karbon, Perbandingan Regulasi dan Teknologi, Indonesia dan Singapura



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

PENDAHULUAN

Pemanasan global adalah hal yang selalu hangat diperbincangkan dunia dari tahun ke tahun karena berdampak buruk bagi bumi dan segala aktivitas yang terdapat di dalamnya. Untuk dapat menyelamatkan bumi maka dapat dilakukan pengurangan emisi gas rumah kaca dan emisi karbon dioksida (CO₂) yang disebabkan oleh aktivitas manusia seperti pembakaran hutan dan berbagai kegiatan industri-industri contohnya dalam sektor migas dan Petrokimia.¹ Carbon Capture and Storage (CCS) yang merupakan teknologi sebagai penangkapan dan penyimpanan karbon yang berfungsi untuk menangkap CO₂ di lokasi emisi dan menyimpan dengan aman serta permanen di bawah tanah merupakan salah satu solusi penting untuk membawa dunia ke arah yang lebih berkelanjutan dibandingkan dengan keadaan yang kita saksikan saat ini. CCS sendiri memainkan peran penting dalam mitigasi perubahan iklim, karena memungkinkan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil secara terus-menerus sekaligus mengurangi emisi karbon secara signifikan.² Saat ini banyak negara yang telah menerapkan sistem CCS sebagai salah satu wujud kepedulian terhadap keberlanjutan bumi

¹ B. Oost Van. "Our climate, our underground: understanding the slow implementation of carbon capture and storage". Maastricht University, (2016), 17.

² A. Smith. "Regulatory Issues Controlling Carbon Capture and Storage". B.S. Environmental Science. (2009), 20.

yang lebih baik. Oleh sebab itu, pada kesempatan kali ini, penulis sangat tertarik untuk melihat bagaimana penerapan serta perkembangan CCS di wilayah Indonesia dan Singapura. Karena jika dilihat tentu memiliki pendekatan yang berbeda dalam segi penerapan regulasi dan implementasi CCS di kedua negara tersebut. Melihat hal itu, maka penulis mengangkat mengenai rumusan masalah yang akan dibahas yaitu akan dituliskan di bawah ini.

Rumusan Masalah

1. Sejauh mana penerapan teknologi Carbon Capture and Storage di Indonesia dan Singapura, serta tantangan yang dihadapi dalam implementasinya?
2. Bagaimana perbandingan kerangka hukum dan kebijakan penerapan Carbon Capture and Storage di Indonesia dan Singapura?

Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki satu tujuan besar yaitu melihat perbandingan penerapan hukum dan implementasi dimana CCS dapat dilakukan oleh Negara Indonesia dan Singapura untuk mencegah perubahan iklim yang sangat parah lagi ke depannya. Penelitian ini membahas mengenai perkembangan penerapan hukum dan implementasi teknologi CCS sementara di sisi kajian yang lain dilakukan simulasi untuk perbandingan penerapannya perdagangan karbon tidak hanya sebagai bentuk pencegahan tetapi memiliki fungsi nilai ekonomi bagi negara.

BAHAN

Sejarah Penerapan Carbon Capture and Storage

Pemanasan global bukan sekedar ancaman masa depan, tetapi juga kenyataan yang harus dihadapi. Saat ini Bumi semakin panas dan bukan hanya tentang cuaca tetapi kehidupan manusia, hewan dan tumbuhan juga dipertaruhkan. Atas kekhawatiran terhadap keberlangsungan bumi ini maka mulai muncul berbagai kebijakan untuk mencegah terjadinya pemanasan global salah satunya konsep perdagangan karbon. Konsep perdagangan karbon pertama kali diusulkan dalam Protokol Kyoto pada tahun 1997. Kyoto Protocol adalah sebuah traktat internasional United Nations Framework Convention On Climate Change (UNFCCC) untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan emisi karbon dioksida (CO₂). Terdapat 174 negara telah meratifikasi protokol ini termasuk Kanada, Tiongkok, India, Jepang, Selandia Baru, Rusia dan 25 negara anggota Uni Eropa, serta Rumania dan Bulgaria.³ Perdagangan karbon adalah sebuah konsep yang muncul sebagai bagian dari upaya global untuk mengatasi perubahan iklim. Prinsip dasar perdagangan karbon adalah memberikan insentif ekonomi kepada pihak-pihak yang berhasil mengurangi emisi gas rumah kaca dengan cara memberikan hak untuk menghasilkan dan menjual "kredit karbon". Protokol Kyoto memperbolehkan penerapan tiga macam mekanisme fleksibel perdagangan karbon, yaitu:

1. Perdagangan Emisi (Emission Trading), antar negara Annex I yang memiliki kewajiban mengurangi emisi dapat berjual beli emisi gas rumah kaca.
2. Implementasi bersama (Joint Implementation), memungkinkan beberapa negara Annex I melaksanakan proyek pengurangan emisi di negara lain dan mengklaim pengurangan emisi tersebut sebagai bagian dari upaya mereka.
3. Mekanisme pembangunan bersih (Clean Development Mechanism), memungkinkan negara Annex I untuk mendukung proyek pengurangan emisi di negara-negara berkembang dan memperoleh kredit karbon sebagai kompensasi.

³ V.R Kapila. "The International Politics of Law Carbon Technology Development Carbon Capture and Storage (CCS) in India". Doctor of Philosophy The University of Edinburgh. (2014)

Di tahun 2001 negara Denmark menjadi salah satu contoh awal dari penerapan kebijakan perdagangan karbon sukarela di tingkat nasional. Inisiatif ini memberikan kesempatan bagi perusahaan untuk secara sukarela berpartisipasi dalam upaya pengurangan emisi, sambil menghasilkan manfaat ekonomi dan mengurangi dampak lingkungan negatif. yang kemudian dapat diperdagangkan di pasar karbon internasional. Seiring dengan itu, muncul pula bursa perdagangan karbon dan lembaga-lembaga yang mengawasi perdagangan tersebut. Pasar perdagangan karbon yang paling terkenal dan terbesar di dunia adalah European Union Emissions Trading Scheme (EU ETS) yang mulai beroperasi pada tahun 2005. Skema ini mencakup negara-negara anggota Uni Eropa dan menjadi salah satu pendorong utama dalam perdagangan karbon global. Perdagangan karbon internasional mulai aktif sejak berlakunya Protokol Kyoto pada tanggal 26 Februari 2005 hingga 2020 sebelum berganti pada perjanjian baru di tahun 2015 di Paris yang terkenal dengan nama Kesepakatan Paris (Paris Agreement) yaitu perjanjian internasional yang berfokus pada penanggulangan permasalahan iklim global yang kemudian diadopsi hampir 200 negara di dunia melalui konvensi bernama COP 21 Paris di bawah naungan Dewan UNFCCC dimana seluruh pemimpin negara berdiskusi dan bernegosiasi guna membentuk kesepakatan untuk menjalankan misi pengurangan emisi gas demi memerangi perubahan iklim. Tiap negara terbuka untuk saling mendukung dan memberi fasilitas yang dibutuhkan dalam program Paris Agreement dengan penerapan yaitu:

1. Bantuan finansial oleh negara maju kepada negara terbelakang
2. Transfer teknologi yang lebih efektif dan efisien untuk mengurangi intensitas emisi gas rumah kaca
3. Peningkatan kapasitas di sejumlah negara berkembang.

Di Indoneisa perdagangan karbon berjalan secara sukarela sebelum adanya Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon (NEK) untuk mencapai Target Kontribusi yang ditetapkan secara nasional dan pengendalian emisi gas rumah kaca dalam pembangunan nasional.⁴

Teknologi Cabon Capture and Storage

Teknologi Carbon Capture and Storage adalah serangkaian proses yang saling berkaitan, dimulai dari verifikasi dan penangkapan (capture) CO₂ dari sumber emisi gas buang, kemudian pengangkutan CO₂ yang akan ditangkap ke lokasi penyimpanan (transportation), dan akhirnya penyimpanan di tempat yang aman (storage). Tahapan pada CCS ada tiga tahap yakni:

1. Tahapan pada CCS ada tiga tahap yakni:
 - a. Metode Pre-Combustion. Metode pre-combustion adalah proses penangkapan CO₂ yang dilakukan sebelum pembakaran bahan bakar fosil. Dalam pendekatan ini, bahan bakar utama diproses dengan menggunakan uap dan udara atau oksigen dalam reaktor untuk menghasilkan campuran yang terdiri dari karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H₂) sebagai komponen utama.
 - b. Pasca Pembakaran atau Post Combution. Sistem pasca pembakaran berfungsi untuk memisahkan CO₂ dari gas buang yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar utama di atmosfer. Biasanya, sistem ini memanfaatkan pelarut cair untuk menangkap sebagian kecil CO₂ (sekitar 3% – 15% dari volume) yang terdapat dalam aliran gas buang, di mana komponen utamanya adalah nitrogen (yang berasal dari udara).
 - c. Oxyfuel Combustion. Sistem ini menggunakan oksigen murni untuk menghasilkan gas buang yang terdiri dari uap udara dan CO₂ dengan konsentrasi CO₂ yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan uap air (lebih dari 80% volume). Dalam proses ini, uap udara yang

⁴Syarifudin. "Sejarah Perdagangan Karbon". Retrieved from Gaia Indonesia : <https://gaia.id/sejarah-perdagangan-karbon/>, (7 Juli 2023).

dihasilkan dari pembuangan gas kemudian dihilangkan dengan cara mendinginkan dan mengompresi aliran gas.⁵

2. Manfaat dari Carbon Capture and Storage sendiri adalah :
 - a. Pengurangan Emisi Karbon. Teknologi Carbon Capture and Storage (CCS) berperan penting dalam menangkap dan menyimpan karbon dioksida yang dihasilkan dari berbagai sumber emisi, seperti sektor industri dan pembangkit listrik. Dengan demikian, CCS berkontribusi signifikan dalam menurunkan kadar emisi karbon yang dilepaskan ke atmosfer.
 - b. Dukungan untuk Energi Bersih. Implementasi CCS dapat menjadi elemen kunci dalam strategi transisi menuju penggunaan energi bersih. Dengan mengurangi jejak karbon dari sektor-sektor yang sulit didekarbonisasi, teknologi ini mendukung peralihan ke sumber energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan.
 - c. Peningkatan Keberlanjutan. Melalui pengurangan emisi karbon, CCS membantu mewujudkan target net-zero emisi, yang merupakan langkah vital dalam upaya menjaga kelestarian lingkungan dan menghadapi tantangan perubahan iklim global.⁶
3. Tantangan beserta risiko penerapan Carbon Capture and Storage
 - a. Dalam penerapan CCS adalah membutuhkan biaya yang tinggi
 - b. Risiko yang akan dihadapi nantinya adalah mengenai penimbunan risiko pada lingkungan.

Risiko pada lingkungan yang dimaksud kemungkinan terjadinya kebocoran. Apabila CO₂ yang disimpan di bawah tanah bocor, hal ini dapat mencemari tanah dan sumber air, serta berdampak buruk pada kesehatan manusia. Penerapan CCS juga sudah diterapkan oleh beberapa negara serta menerapkan teknologi ini di sektor migas seperti di Amerika Serikat, Kanada, Arab Saudi, China, Australia, Singapura, Indonesia dan beberapa negara lainnya. Penerapan CCS di Amerika Serikat sudah mulai beroperasi sejak tahun 1972 dengan kapasitas penampungan karbondioksida (CO₂) mencapai 0,5 juta ton per tahun. Di Kanada, ini sudah mulai beroperasi juga sejak tahun 2015 sama dengan di negara Arab Saudi. Di China penerapan daripada proyek CCS ini pertanyaanya di tahun 2018 dan berselang setahun kemudian pada tahun 2019 disusul oleh Australia.⁷

METODE PENELITIAN

Pengumpulan Data

Dalam upaya memahami dan mengevaluasi kebijakan CCS, penting untuk melakukan studi literatur yang komprehensif. Studi ini melibatkan pengumpulan berbagai sumber hukum, laporan pemerintah dan penelitian akademis yang relevan seperti jurnal dan buku. Sumber-sumber hukum memberikan kerangka regulasi yang mengatur penerapan CCS, sementara laporan pemerintah menawarkan wawasan tentang kebijakan dan strategi nasional dalam pengurangan emisi karbon. Penelitian ini di sisi lain, memberikan analisis mendalam mengenai efektivitas teknologi CCS, tantangan yang dihadapi dari implementasinya.

Metode dan Analisis Data

Setelah mengumpulkan dan menganalisis literatur yang ada, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis perbandingan. Dalam tahap ini, metode analisis kualitatif digunakan untuk

⁵ N.H, Bachri. "Pemanfaatan Teknologi Carbon Capture Storage (CCS) dalam upaya Mendukung Produksi Energi yang berkelanjutan". *JEBT: Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, (2006). 233-234.

⁶ L. Turrohmaniyah. "Peran Pemuda Berkelanjutan: Implementasi Teknologi Carbon Capture Storage (Ccs) Dalam Mencapai Net-Zero Emission". *Fakultas Geografi*. (2024), 1-5.

⁷ N.V. Setiawan. "Daftar Negara Yang Sudah 'Hijaukan' Lapangan Migas, RI Kapan". Retrieved from CNBC Indonesia : <https://www.cnbcindonesia.com/news/20220726130558-4-358642/daftar-negara-yang-sudah-hijaukan-lapangan-migas-ri-kapan>. (6 Juli 2022).

membandingkan regulasi dan penerapan CCS di dua negara baik Indonesia dan Singapura. Dengan pendekatan ini, kita dapat mengidentifikasi perbedaan dan persamaan dalam kebijakan CCS, serta memahami faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan atau kegagalan implementasi teknologi ini. Analisis ini tidak hanya memberikan gambaran yang jelas tentang bagaimana CCS diterapkan di negara Indonesia dan Singapura, tetapi juga membantu dalam merumuskan rekomendasi untuk perbaikan kebijakan di masa depan.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penerapan Teknologi Carbon Capture and Storage di Indonesia dan Singapura, serta Tantangan yang Dihadapi dalam Implementasinya

Penerapan Carbon Capture and Storage di Indonesia

Pemerintah Indonesia melakukan kebijakan yang strategis dalam penerapan teknologi Carbon Capture and Storage (CCS). Indonesia, dengan kapasitas penyimpanan karbon potensial yang mencapai 400 hingga 600 gigaton di depleted reservoir dan saline aquifer, berdiri di garis depan era industri hijau. Potensi ini memungkinkan penyimpanan emisi karbon nasional selama 322 hingga 482 tahun, dengan perkiraan puncak emisi 1.2 gigaton CO₂-ekuivalen pada tahun 2030. Indonesia yang pertama di ASEAN dalam melakukan penerapan regulasi CCS, dan berperingkat pertama di Asia menurut Global CCS Institute, Indonesia telah membangun fondasi hukum yang kuat. Regulasi ini termasuk Permen ESDM 2 Tahun 2023 tentang CCS di industri hulu migas, Perpres 98 Tahun 2021 tentang nilai ekonomi karbon, dan Peraturan OJK 14 Tahun 2023 tentang perdagangan karbon melalui IDX Carbon. Kita juga menuju penyelesaian Peraturan Presiden yang akan lebih memperkuat regulasi CCS. Dalam upaya mencapai Net Zero Emission pada 2060, Indonesia berambisi mengembangkan teknologi CCS dan membentuk hub CCS. Inisiatif ini tidak hanya akan menampung karbon domestik tetapi juga menggali kerja sama internasional. Ini menandakan era baru bagi Indonesia, di mana CCS diakui sebagai 'license to invest' untuk industri rendah karbon seperti blue ammonia, blue hydrogen, dan advanced petrochemical. Pendekatan ini akan menjadi terobosan bagi perekonomian Indonesia, dengan membuka peluang industri baru dan menciptakan pasar global untuk produk-produk rendah karbon. CCS memerlukan investasi besar. MOU antara pemerintah Indonesia dan ExxonMobil baru-baru ini mencakup investasi 15 miliar USD dalam industri bebas emisi CO₂. Sebagai perbandingan, proyek CCS Quest di Kanada membutuhkan 1.35 miliar USD untuk kapasitas 1.2 juta ton karbon per tahun. Data ini menyoroti pentingnya alokasi penyimpanan karbon internasional dalam memfasilitasi investasi awal yang besar untuk proyek CCS. Dengan negara-negara tetangga seperti Malaysia, Timor Leste, dan Australia juga bersaing berupaya menjadi pusat CCS regional, penting bagi Indonesia untuk memanfaatkan kesempatan ini sebagai pusat strategis dan geopolitik. Inisiatif ini diharapkan tidak hanya membantu Indonesia dalam mencapai tujuan lingkungan global, tetapi juga mendorong pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan dan inovatif.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) mengungkapkan bahwa saat ini Indonesia memiliki 15 proyek yang akan mengembangkan teknologi penyimpanan karbon karbon khususnya pada sektor minyak dan gas bumi (migas) yang memiliki kapasitas total mencapai 4,31 gigaton CO₂. Implementasi CCS/CCS di Indonesia diharapkan dapat meningkatkan produksi migas sekaligus mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK). Menurut Roadmap International Energy Agency untuk NZE di sektor energi, teknologi CCS akan berkontribusi lebih dari 10% dari total pengurangan emisi global pada tahun 2050. Indonesia memiliki formasi geologis yang memungkinkan penyimpanan emisi karbon secara permanen melalui penggunaan teknologi CCS. Indonesia saat ini berdiri di garis depan era industri hijau dengan potensi kapasitas penyimpanan karbon yang mencapai 400 hingga 600 gigaton di

depleted reservoir and saline aquifer.⁸ Potensi itu memungkinkan penyimpanan emisi karbon nasional selama 322 hingga 482 tahun, dengan perkiraan puncak emisi 1,2 gigaton karbon ekuivalen pada tahun 2030. Melihat potensi yang sedemikian besar sekaligus dalam upaya mencapai NZE pada 2060, Indonesia berambisi mengembangkan teknologi CCS dan membentuk hub CCS. Inisiatif ini tidak hanya akan menampung karbon domestik, tetapi juga menggali kerja sama internasional khususnya dalam carbon trade. Dengan demikian CCS diakui sebagai 'license to invest', khususnya dalam industri beremisi karbon rendah seperti blue ammonia, blue hydrogen, dan advanced petrochemical. Dengan demikian penerapan teknologi CCS selain sebagai salah satu upaya pendorong dekarbonisasi sektor industri, sekaligus juga menjadi terobosan bagi perekonomian Indonesia yang membuka peluang industri baru dan menciptakan pasar global untuk produk-produk rendah karbon. Pemanfaatan dana kemitraan internasional juga bisa menjadi peluang. Misalnya Carbon Capture and Storage Fund dari Australia sebagai dana perwalian mitra di bawah fasilitas kemitraan pembiayaan energi bersih menyediakan dana untuk pengembangan CCS di semua negara berkembang yang menjadi anggota Asian Development Bank, termasuk Indonesia. Selanjutnya pondasi hukum yang kuat sangat diperlukan, terlebih Indonesia adalah pelopor di ASEAN dalam penerapan regulasi CCS. Namun teknologi CCS belum dikenal dalam Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2001 tentang Minyak dan Gas Bumi, serta Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi. CCS juga tidak ditemukan dalam Dokumen Kontribusi yang ditetapkan secara Nasional (ENDC) 2022 Republik Indonesia.

Penerapan CCS di Singapura

Singapura memang sedang memperluas upaya penelitian dan pengembangan CCS sebagai bagian dari komitmen negara untuk memajukan teknologi penangkapan karbon tersebut. Negara ini juga berencana untuk bekerja sama dengan Indonesia dan Jepang dalam proyek CCS lintas batas, yang memungkinkan perusahaan-perusahaan Singapura untuk mengangkut dan menyimpan emisi karbon mereka di Indonesia. Sementara itu, ExxonMobil dari Amerika Serikat dan Shell dari Inggris Raya telah bermitra dengan Singapura untuk meluncurkan inisiatif penangkapan dan penyimpanan karbon. Kemitraan itu dirancang untuk mengurangi emisi karbon dioksida secara signifikan di negara tersebut. Ketiga pihak ini telah bekerja sama melalui S Hub, sebuah konsorsium yang berfokus pada penilaian kelayakan proyek CCS dalam hal pembiayaan, lokasi, dan keandalan penyimpanan. Rencananya Singapura akan mendistribusikan karbon nya ke Indonesia untuk di simpan di laut Jawa. Hal ini juga berlaku kepada Jepang dengan letak penyimpanan karbon nya di daerah Hokkaido.

Tantangan Penerapan CCS

Tantangan pertama yang sangat nampak adalah bahwa CCS memiliki sejarah panjang tantangan teknis dan finansial yang signifikan yang mengakibatkan proyek-proyek CCS berakhir dengan kegagalan, memiliki kinerja buruk dan mengakibatkan pembengkakan biaya. Pada proyek CCS Gorgon di Australia, misalnya, guna mengimbangi kekurangan target karbon dioksida sebesar 5,23 juta ton, Gorgon akhirnya harus menambah lebih banyak pembiayaan antara US\$100 juta dan US\$184 juta.⁹ Tantangan kedua yang muncul dari operasi

⁸ F.D. Communication. "Carbon Capture Storage (CCS) Sebagai Pendorong Perekonomian Indonesia: Memanfaatkan Potensi untuk Masa Depan Hijau". Retrieved from PERTAMINA: [https://www.pertamina.com/id/news-room/news-release/carbon-capture-storage-ccs-sebagai-pendorong-perekonomian-indonesia-memanfaatkan-potensi-untuk-masa-depan-hijau#:~:text=Inisiatif%20ini%20tidak%20hanya%20akan,ekonomi%20yang%20berkelanjutan%20dan%20inovatif.\(2023\),12-23](https://www.pertamina.com/id/news-room/news-release/carbon-capture-storage-ccs-sebagai-pendorong-perekonomian-indonesia-memanfaatkan-potensi-untuk-masa-depan-hijau#:~:text=Inisiatif%20ini%20tidak%20hanya%20akan,ekonomi%20yang%20berkelanjutan%20dan%20inovatif.(2023),12-23).

⁹ P.B. Itsnaini Muharroh Faqihah. "Jepang-Singapura Kerja Sama Proyek Penangkapan dan Penyimpanan Karbon". Retrieved from Kompas.com: [https://lestari.kompas.com/read/2024/08/27/090000086/jepang-singapura-kerja-sama-proyek-penangkapan-dan-penyimpanan-karbon.\(2024\),8-27](https://lestari.kompas.com/read/2024/08/27/090000086/jepang-singapura-kerja-sama-proyek-penangkapan-dan-penyimpanan-karbon.(2024),8-27).

proyek CCS/CCS adalah dampak lingkungan dari peningkatan tekanan air, pengasaman laut, dan kemungkinan proyek CCS memicu gempa bumi akibat penginjeksian CO₂ ke bawah tanah, serta risiko kesehatan akibat risiko kebocoran CO₂.¹⁰ Hal ini akan memperparah dampak lingkungan. Tantangan ketiga dari proyek-proyek CCS/CCS adalah bahwa pendekatan ini akan melanggengkan inefisiensi energi karena besarnya konsumsi energi yang dibutuhkan dalam fase-fase tertentu operasi CCS.¹¹ Tantangan keempat dari proyek-proyek CCS/CCS adalah masalah memastikan penyimpanan permanen. Agar CCS menjadi pilihan yang layak untuk dekarbonisasi, penting untuk memastikan bahwa karbon dapat disimpan dalam keadaan stabil secara permanen. IPCC menggunakan kata “durably” atau “awet/tahan lama” untuk menggambarkan penyimpanan CO₂ di reservoir geologis, baik di daratan maupun di laut, atau dalam produk untuk Penghapusan Karbon Dioksida/Carbon Dioxide Removal (CDR). Tidak ada definisi yang jelas mengenai jangka waktu yang dimaksud dengan “awet/tahan lama” ini, tetapi beberapa pihak menyebut setidaknya dibutuhkan 200-300 tahun untuk menyimpan CO₂.¹²

Perbandingan Kerangka Hukum dan Kebijakan Penerapan Carbon Capture and Storage di Indonesia dan Singapura

Regulasi Carbon Capture And Storage Singapura

Regulasi tentang CCS sangat penting untuk mendorong penerimaan masyarakat dan industri terhadap teknologi CCS serta mendorong investasi dalam penerapannya CCS. Undang-undang dan regulasi CCS harus melindungi lingkungan dan kesehatan masyarakat, menetapkan hak dan kewajiban pemangku kepentingan CCS, dan memandu pengembangan, operasi, dan pengelolaan sumber daya CCS dalam jangka panjang. Karena Singapura masih termasuk negara yang baru menerapkan CCS, masih belum ada peraturan hukum yang dikhususkan untuk program CCS hingga kini. Proyek CCS saat ini tunduk pada undang-undang yang berlaku yang mengatur kegiatan industri, termasuk, antara lain, Undang-Undang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan 1999 (untuk menangkis penyebaran polusi serta mengelolanya), Undang-Undang Penetapan Harga Karbon 2018 (penaan pajak karbon bagi industri penghasil emisi tinggi), dan Undang-Undang Keselamatan dan Kesehatan Kerja 2006 (yang mengatur kesehatan dan keselamatan pekerja). Seperti yurisdiksi lain, Singapura dapat memberlakukan undang-undang atau mengubah undang-undang yang berlaku untuk mempromosikan dan mengatur penerapan CCS pada waktunya. Berdasarkan Buku Pegangan tentang CCS yang diterbitkan oleh IEA (International Energy Agency) tentang Kerangka Hukum dan Peraturan untuk CCS (2022) memberikan informasi dalam menyoroti berbagai isu regulasi yang dapat menjadi acuan regulator Singapura dalam merumuskan kebijakan dan regulasi seputar CCS. Dalam konteks negara Singapura, regulasi kemungkinan akan mengatur cakupan beberapa hal berikut:

1. Zat yang diatur: Peraturan dapat menetapkan metrik kualitatif dan kuantitatif untuk klasifikasi aliran CO₂, misalnya, sebagai limbah, limbah berbahaya, polutan, barang berbahaya, atau komoditas. CO₂ yang ditangkap untuk transportasi dan penyimpanan hampir secara tidak sengaja mengandung kotoran. Peraturan dapat menetapkan batasan pada jenis dan jumlah kotoran yang diizinkan dalam berbagai klasifikasi CO₂ yang ditangkap. Selain itu, peraturan juga harus menetapkan hak kepemilikan dan kewajiban atas CO₂ di seluruh rantai nilai CCS dan selama proyek CCS.

¹⁰ CIEL. "Deep Trouble: The Risks of Offshore Carbon Capture and Storage". In CIEL, *Deep Trouble* (pp. 4-10). Washington: Tyler Unger. Retrieved from Center For International Environmental Law: <https://www.ciel.org/reports/deep-trouble-the-risks-of-offshore-carbon-capture-and-storage-november-2023/>. (2023), 11-16.

¹¹ U. Government. "The United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland's submission to the United Nations Framework". England: UK Government, (2022).

¹² B.R. Mousavian. "Gorgon Carbon Capture and Storage: The Sting in the Tail". Retrieved from Institute for Energy Economics and Financial Analysis (IEEFA): <https://ieefa.org/resources/gorgon-carbon-capture-and-storage-sting-tail>. (2022), 4-12.

2. Aktivitas yang diatur : Proyek CCS membawa risiko dampak lingkungan yang besar dan mungkin tidak terduga, terutama ketika CO₂ disuntikkan ke dalam formasi geologi untuk disimpan tanpa batas waktu. Peraturan harus memastikan bahwa lokasi penyimpanan harus dinilai secara ketat untuk kesesuaian injeksi CO₂. Harus ada rencana pemantauan dan pelaporan yang kuat bagi operator untuk memastikan bahwa CO₂ disuntikkan dengan aman, dan bahwa ada langkah-langkah yang dilakukan untuk melacak dan menahan kebocoran. Untuk tujuan ini, harus dapat dipastikan bahwa perizinan dan penegakan hukum yang kuat akan diperlukan di Singapura untuk setiap penangkapan, pengangkutan, injeksi, dan penyimpanan CO₂.
3. Alokasi tanggung jawab : Selain menetapkan standar untuk operasi yang aman dan penyimpanan jangka panjang, peraturan kemungkinan akan mengalokasikan tanggung jawab operasional dan keuangan untuk aktivitas CCS kepada setiap pelaku dalam ekosistem CCS dan beberapa bentuk jaminan atau obligasi kinerja akan diperlukan untuk memastikan kepatuhan. Tidak mengherankan jika regulator Singapura lebih lanjut mengurangi risiko dengan bersikeras pada penunjukan operator kontinjensi jika operator utama gagal menjalankan tugasnya.
4. Masalah lintas batas: Ada potensi besar untuk kemitraan antara negara-negara yang menghadapi keterbatasan penyimpanan dan negara-negara yang memiliki potensi penyimpanan yang besar. Meskipun demikian, pengangkutan CO₂ lintas batas untuk disimpan di negara lain menambah lapisan kompleksitas lain karena dapat memicu persyaratan regulasi nasional atau internasional tertentu. Selain itu, penyimpanan CO₂ di dekat batas teritorial dapat menimbulkan masalah bagi yurisdiksi tetangga. Misalnya, aktivitas penyimpanan dapat memindahkan cairan bawah permukaan melintasi batas dan ada risiko bahwa CO₂ yang disimpan dapat bocor melintasi batas juga.
5. Pusat CCS: IEA merupakan pendukung kuat untuk mempercepat penerapan teknologi CCS. IEA memberikan gambaran bahwa pendekatan pusat dapat memfasilitasi penangkapan CO₂ dari berbagai fasilitas industri dan listrik, meningkatkan efisiensi dalam perencanaan dan pembangunan infrastruktur transportasi dan penyimpanan. Di bidang ini, Singapura pasti akan terpacu berpartisipasi dalam perumusan standar atau aturan untuk menjamin akses yang adil atau setara terhadap penggunaan infrastruktur CCS lintas batas.¹³

Untuk teknologi penangkapan karbon dan penyimpanan karbon, Singapura melakukan tinjauan literatur ekstensif mengenai status perkembangannya saat ini dan menganalisis tantangan ekonomi, teknis, serta peraturan dalam penerapannya di Singapura. Untuk penilaian teknologi pemanfaatan karbon, Singapura merancang kerangka penilaian untuk mencapai daftar teknologi dan jalur CCU yang menjanjikan untuk Singapura. Penelitian ilmiah dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan bahwa CCS merupakan pilihan mitigasi yang aman, mampu menjaga 98% CO₂ yang tersimpan selama jangka waktu 10.000 tahun. Namun, setiap pilihan penyimpanan menghadirkan peluang dan tantangan yang berbeda. Penyimpanan CO₂ secara geologis yang aman harus dijamin oleh kerangka legislatif, seperti halnya di UE dengan adanya Petunjuk CCS, dan undang-undang khusus di Kanada, AS, dan Australia.¹⁴ Pada tahun 2019, Singapura sejalan dengan komitmennya di bawah Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa tentang Perubahan Iklim (UNFCCC), memulai perjalanan perpajakan karbonnya. Negara ini bercita-cita untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 36% di

¹³ S. Seah. "Carbon Capture, Utilisation and Storage (CCS), A Singapore Perspective". Retrieved from Bird&Bird: twobirds.com. <https://www.twobirds.com/en/insights/2024/singapore/carbon-capture-utilisation-and-storage-CCS-a-singapore-perspective>. (25 March 2024).

¹⁴ S.M, Navigant Preeti Srivastav. "Carbon Capture, Utilization, and Storage: Separating Fact From Fiction". The Berkeley-Haas Case Series. University of California, Berkeley. (2024), 22.

bawah proyeksi bisnis seperti biasa pada tahun 2030 (Lin dan Chiang 2019). Menargetkan 30 penghasil emisi gas rumah kaca teratas, pajak tersebut didasarkan pada emisi setara karbon dioksida dari fasilitas. Khususnya, pendapatan dari pajak ini dialokasikan untuk proyek-proyek yang berpusat pada iklim, yang mendukung transisi Singapura menuju paradigma rendah karbon (Sekretariat Perubahan Iklim Nasional 2019). Sebaliknya, Taiwan, yang menaungi pabrik semikonduktor terkemuka di dunia, telah mengumumkan peluncuran kebijakan pajak karbonnya pada tahun 2023. Strategi ini berfokus pada penghasil emisi besar yang mencakup sektor energi, transportasi, dan industri, dengan tujuan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 20% di bawah standar tahun 2005 pada tahun 2025 (Tan dan Tan 2019). Hasil pajak tersebut dijadwalkan untuk mendorong inovasi rendah karbon dan teknologi hijau perintis.

Regulasi Carbon Capture Storage di Indonesia

Pemerintah Indonesia telah mengeluarkan regulasi yang mendukung penerapan Carbon Capture Storage di Indonesia. Beberapa peraturan yang terkait dengan CCS adalah Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 2 Tahun 2023 tentang Penyelenggaraan Penangkapan dan Penyimpanan Karbon, serta Penangkapan, Pemanfaatan, dan Penyimpanan Karbon pada Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi; Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional; dan Peraturan Otoritas Jasa Keuangan Nomor 14 Tahun 2023 tentang Perdagangan Karbon melalui Bursa Karbon. Permen ESDM Nomor 2 Tahun 2023 tidak merujuk pada Undang-Undang Lingkungan Hidup dan ENDC, tetapi hanya mengkhususkan diri pada penyimpanan karbon usaha minyak dan gas bumi dan tidak mencakup emisi karbon yang lain. Peraturan Menteri ESDM tersebut juga tidak mensyaratkan adanya kewajiban analisis mengenai dampak lingkungan untuk proyek CCS. Padahal proyek CCS dapat menimbulkan kerusakan lingkungan, bahaya terhadap manusia, kerusakan sumber daya, serta peralatan dan instalasi. Beberapa proyek CCS dan CCS yang ada di Indonesia saat ini masih berada dalam fase kajian atau persiapan sehingga perlu diatur melalui regulasi yang lebih tinggi. Pembentukan kerangka regulasi, khususnya terkait insentif keuangan, kemitraan internasional, perencanaan tata ruang dan zonasi, monitoring dan evaluasi berkelanjutan, serta hal nonteknis lainnya seperti pasar target CCS, pendidikan dan pelatihan, stimulasi riset dan inovasi, kampanye kesadaran publik, dan dukungan pemerintah merupakan hal-hal yang perlu dipersiapkan sebelum CCS ini dioperasikan secara lebih luas.¹⁵

Sementara itu, Kementerian ESDM pada Februari 2023 menguraikan CCS untuk sektor minyak dan gas, Indonesia perlu memperluas aplikasi CCS di luar sektor minyak dan gas seperti kegiatan industri lainnya seperti semen, baja, dan pupuk yang memungkinkan CCS menjadi pendorong utama di jalur dekarbonisasi Indonesia (Yasin et al., 2021). Selain itu, IEA menyarankan agar peraturan menteri berikutnya mempertimbangkan (a) pengembangan penyimpanan CO₂ di lingkup luar sektor minyak dan gas, (b) kegiatan perusahaan non-migas dalam CCS, (c) kolaborasi internasional di hub penyimpanan CCS Indonesia, dan (d) penciptaan pendapatan proyek CCS dari kredit karbon. Komitmen terhadap skema net zero 2060 baru-baru ini dituangkan dalam Peraturan Presiden No.14/2024 sebagai Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) tentang penyediaan energi primer secara menyeluruh: Total Primary Energy Supply (TPES) (Peraturan Presiden Republik Indonesia, 2024). Peraturan ini mengatur bahwa

¹⁵ UNAIR. "Nilai Carbon Capture Storage Membutuhkan Regulasi dan Strategi yang Tepat". <https://unair.ac.id/penelitianunair-nilai-carbon-capturestorage-membutuhkan-regulasidan-strategi-yang-tepat/>, (2024).

energi terbarukan harus mencakup paling sedikit 23% TPES pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050.¹⁶

Tabel 1. Perbandingan Regulasi Carbon Capture Storage di Indonesia dan Singapura

NEGARA	Harga Karbon (USD/ton CO2e)	Pajak Karbon (Tahun)	Regulasi Pemerintah	Tantangan	Strategi
Singapura	3.69	2019	<p>Dikarenakan belum adanya regulasi yang mengatur khusus mengenai implementasi Carbon Capture Storage di Singapura, maka pemerintah memberlakukan beberapa peraturan terkait berikut ini:</p> <p>Undang-Undang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan 1999 untuk menangkis penyebaran polusi serta pengaturan pengelolaannya</p> <p>Undang-Undang Penetapan Harga Karbon 2018 mengenai pengenaan pajak karbon bagi industri penghasil emisi tinggi</p> <p>Undang-Undang Keselamatan dan Kesehatan Kerja 2006 yang mengatur kesehatan dan keselamatan pekerja terutama yang bekerja di sektor industri penghasil emisi tinggi.</p> <p>UU Penetapan Harga Karbon (Amandemen) No.27/2022 Pajak karbon diberlakukan pada tahun 2019, berlaku untuk fasilitas yang mengeluarkan lebih dari 25.000 ton CO2e setiap tahunnya. Pajak karbon dimulai pada S\$5 per ton dan akan ditingkatkan secara bertahap: 2019 – 2023: S\$5/tCO2e 2024 : S\$ 25/tCO2e 2026 : S\$ 45/tCO2e 2030 : S\$ 50-80/tCO2e Mulai tahun 2024, perusahaan dapat menggunakan Kredit Karbon Internasional (ICCs) untuk mengimbangi hingga 5% emisi pajak mereka. Perusahaan-perusahaan yang terdaftar di SGX di Singapura harus melaporkan keberlanjutan dan pengungkapan keuangan terkait</p>	<p>1.Potensi risiko yang terkait dengan pasar yang terlalu jenuh</p> <p>2. Oposisi industri dan potensi dampaknya terhadap daya saing</p>	<p>Tingkatkan tarif pajak karbon secara bertahap sesuai peraturan, sebagai jalan untuk mencapai SGD50-80/tCO2e pada tahun 2030.</p> <p>Menetapkan kerangka transisi bagi perusahaan-perusahaan perdagangan yang terpapar emisi intensif (EITE) untuk menyesuaikan diri dengan perekonomian rendah karbon dan menghindari kebocoran karbon.</p>

¹⁶ T. M Romal Ramadha. "Carbon Capture, Utilization, and Storage in Indonesia". Encovy Institute, Jakarta, Indonesia. (2024), 27.

			perubahan iklim. Pelaporan TCFD wajib diwajibkan untuk industri tertentu mulai tahun 2024 dan 2025.		
Indonesia	2.1	2025 (Diharapkan)	<p style="text-align: center;">Peraturan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) No. 16/2022 tentang Perdagangan Karbon.</p> <p>Penetapan harga karbon dilakukan melalui perdagangan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dan penyeimbangannya dilakukan melalui perdagangan langsung dan pertukaran karbon. Konversi berlebih tidak diperbolehkan. Perdagangan tunjangan emisi dibatasi pada pemegang sub-sektor yang sama (misalnya pembangkit listrik) dan tidak diperbolehkan dalam unit pembangkit listrik yang sama. Sertifikat Penurunan Emisi GRK (SPE GRK) memenuhi syarat untuk pembangkit listrik energi baru dan terbarukan, transportasi, konstruksi, industri dengan efisiensi energi, dll.</p> <p style="text-align: center;">Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) No. 21 Tahun 2022 tentang Penerapan Penetapan Harga Karbon</p> <p>Meliputi perdagangan dan penyeimbangan karbon, pengaturan dan pengukuran kelembagaan, pelaporan dan verifikasi (MRV). Periode perdagangan berarti periode kepatuhan, periode yang ditentukan oleh kementerian sektor dengan mempertimbangkan emisi GRK terhadap tunjangan emisi yang ditetapkan. Tunjangan kelebihan emisi dapat diubah menjadi SPE GRK Tujuan Khusus yang diberikan apabila pengurangan emisi tersebut benar-benar nyata dan terukur, atau merupakan hasil dari upaya mitigasi perubahan iklim. Perdagangan emisi dapat terjadi di dalam negeri atau antar pemegang emisi. Pelaksanaan SPE GRK</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pasar Sukarela Karbon • Harga karbon yang rendah Subsidi fosil yang masih tinggi 	<p>Merumuskan strategi bagi masing-masing subsektor untuk memenuhi porsi yang dialokasikan</p> <p>Menetapkan pedoman untuk mengakui standar karbon yang diakui secara global dalam masing-masing subsektor dan menyelaraskannya. Meskipun Indonesia awalnya bermaksud menerapkan pajak karbon pada tahun 2022, penerapannya ditunda hingga tahun 2025</p>

			<p>dilimpahkan kepada menteri sektor. Perdagangan karbon antar sektor tunduk pada tunjangan yang ditetapkan oleh kementerian sektor. Platform pendaftaran kredit dilakukan di kementerian sektor dan terintegrasi dengan Strategi SRN PP.¹⁷</p> <p>Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Nilai Ekonomi Karbon mengatur tentang upaya pencapaian target kontribusi yang ditetapkan secara nasional atau Nationally Determined Contribution/NDC; penyelenggaraan nilai ekonomi karbon melalui penyelenggaraan mitigasi perubahan iklim dan adaptasi perubahan iklim.</p> <p>Peraturan Presiden No.14 Tahun 2024 tentang Penyelenggaraan Kegiatan Penangkapan dan Penyimpanan Karbon Komitmen terhadap skema net zero 2060 baru-baru ini dituangkan dalam Peraturan Presiden No.14/2024 sebagai Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) tentang penyediaan energi primer secara menyeluruh: Total Primary Energy Supply (TPES). Peraturan ini mengatur bahwa energi terbarukan harus mencakup paling sedikit 23% TPES pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050. Selain mengatur mengenai implementasi penangkapan dan penyimpanan karbon, dalam pasal 45 dan 46 Perpres ini juga mengatur tentang kegiatan penangkapan dan penyimpanan karbon secara cross border.</p>	
--	--	--	--	--

KESIMPULAN

Pemanasan global dan emisi gas rumah kaca merupakan isu global yang terus menjadi perhatian, terutama karena berdampak terhadap lingkungan dan aktivitas makhluk hidup.

¹⁷ H.D. PN Kemala. "Carbon Pricing in Indonesia: Progress, Challenges, and Lessons from ASEAN for Effective Implementation". School of Business and Management, Institut Teknologi Bandung. (Oktober 2024), 7.

Aktivitas manusia seperti pembakaran hutan dan aktivitas industri menjadi penyebab utama dalam hal ini. Teknologi Carbon Capture and Storage (CCS) muncul sebagai solusi yang signifikan untuk mengurangi emisi karbon. Dalam penerapan dan regulasi CCS terdapat perbedaan signifikan antara Indonesia dan Singapura sebagai konteks penulisan ini. Singapura menunjukkan kemajuan yang lebih cepat dalam penerapan CCS berkat regulasi yang lebih jelas dan dukungan finansial yang kuat. Indonesia perlu memperkuat kerangka hukum dan meningkatkan investasi untuk memaksimalkan potensi CCS.

Saran

Melihat penjelasan perbandingan CCS di Indonesia maka diperlukan kerjasama Internasional untuk berbagi pengetahuan dan teknologi dalam penerapan CCS. Pemerintah Indonesia dapat melihat regulasi yang diterapkan oleh Singapura untuk perlu mempercepat pengembangan regulasi yang mendukung CCS agar dapat menarik investasi dan teknologi yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bachri, H. N. (2006). "Pemanfaatan Teknologi Carbon Capture Storage (CCS) dalam upaya Mendukung Produksi Energi yang berkelanjutan". *JEBT: Jurnal Energi Baru & Terbarukan*. 233-234.
- CIEL. (2023, 11 16). "Deep Trouble: The Risks of Offshore Carbon Capture and Storage". In *Ciel, Deep Trouble* (Pp. 4-10). Washington: Tyler Unger. Retrieved From Center For International Environmental Law: <https://www.ciel.org/reports/deep-trouble-the-risks-of-offshore-carbon-capture-and-storage-november-2023/>
- Communication, F. D. (2023, 12 23). "Carbon Capture Storage (CCS) Sebagai Pendorong Perekonomian Indonesia: Memanfaatkan Potensi untuk Masa Depan Hijau". Retrieved from PERTAMINA: <https://www.pertamina.com/id/news-room/news-release/carbon-capture-storage-ccs-sebagai-pendorong-perekonomian-indonesia-memanfaatkan-potensi-untuk-masa-depan-hijau#:~:text=Inisiatif%20ini%20tidak%20hanya%20akan,ekonomi>
- Faqihah Muharroroh Itsnaini, B. P. (2024, 8 27). "Jepang-Singapura Kerja Sama Proyek Penangkapan dan Penyimpanan Karbon". Retrieved from Kompas.com: <https://lestari.kompas.com/read/2024/08/27/090000086/jepang-singapura-kerja-sama-proyek-penangkapan-dan-penyimpanan-karbon>
- Government, U. (2022). "The United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland's submission to the United Nations Framework". England: UK Government.
- Kapila, R. V. (2014). "The International Politics of Law Carbon Technology Development Carbon Capture and Storage (CCS) in India". Doctor of Philosophy The University of Edinburgh
- Mousavian, B. R. (2022, 4 26). "Gorgon Carbon Capture and Storage: The Sting in the Tail". Retrieved from Institute for Energy Economics and Financial Analysis (IEEFA): <https://ieefa.org/resources/gorgon-carbon-capture-and-storage-sting-tail>
- Navigant oleh Preeti Srivastav, M. S. (2024). "Carbon Capture, Utilization, and Storage: Separating Fact From Fiction". *The Berkeley-Haas Case Series*. University of California, Berkeley. 22.
- PN Kemala, D. H. (Oktober 2024). "Carbon Pricing in Indonesia: Progress, Challenges, and Lessons from ASEAN for Effective Implementation". School of Business and Management, Institut Teknologi Bandung. 7.
- Romal Ramadhan, M. T. (2024). "Carbon Capture, Utilization, and Storage in Indonesia". *Encovy Institute*, Jakarta, Indonesia. 27.

- Seah, S. (2024, March 25). "Carbon Capture, Utilisation and Storage (CCS), A Singapore Perspective". Retrieved from Bird&Bird: [twobirds.com.https://www.twobirds.com/en/insights/2024/singapore/carbon-capture-utilisation-and-storage-CCS-a-singapore-perspective](https://www.twobirds.com/en/insights/2024/singapore/carbon-capture-utilisation-and-storage-CCS-a-singapore-perspective)
- Setiawan, V. N. (2022, July 26). "Daftar Negara Yang Sudah 'Hijaukan' Lapangan Migas, RI Kapan". Retrieved from CNBC Indonesia : <https://www.cnbcindonesia.com/news/20220726130558-4-358642/daftar-negara-yang-sudah-hijaukan-lapangan-migas-ri-kapan>
- Smith, A. (2009). "Regulatory Issues Controlling Carbon Capture and Storage". B.S. Environmental Science. 20.
- Syarifudin. (2023, Juli 7). "Sejarah Perdagangan Karbon". Retrieved from Gaia Indonesia : <https://gaia.id/sejarah-perdagangan-karbon/>
- Turrohmaniyah, L. (2024). "Peran Pemuda Berkelanjutan: Implementasi Teknologi Carbon Capture Storage (Ccs) Dalam Mencapai Net-Zero Emission". Fakultas Geografi. 1-5.
- Van Oost, B. (2016). "Our climate, our underground: understanding the slow implementation of carbon capture and storage". Maastricht University. 17.