



Carbon Capture Storage di Indonesia dalam Perspektif Komitmen Global dan Asas Kehati-hatian

Carbon Capture Storage in Indonesia in the Context of Global Commitments and the Precautionary Principle

Imamulhadi^a, Rafan Darodjat^b

ABSTRAK

Pengaturan *Carbon Capture and Storage* (CCS) di Indonesia saat ini didasarkan pada Peraturan Presiden Nomor 14 Tahun 2024. Namun, kedudukan regulasi yang hanya setingkat perpres tanpa delegasi eksplisit dari undang-undang menciptakan kerentanan hukum, terutama dalam melegitimasi penerapan prinsip kehati-hatian (*precautionary principle*) di tengah risiko lingkungan geologis jangka panjang. Ketidakjelasan hierarki ini berpotensi memicu disharmoni dengan rezim perlindungan lingkungan hidup jika terjadi kegagalan penyimpanan. Penelitian hukum normatif ini bertujuan menganalisis konsistensi instrumen hukum tersebut terhadap kerangka regulasi lingkungan melalui pendekatan perundang-undangan dan analisis yuridis kualitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun secara konseptual kebijakan ini selaras dengan komitmen iklim global, implementasinya terbentur larangan importasi limbah dalam Pasal 69 UU PPLH jika karbon dikategorikan sebagai limbah lintas batas. Terkait prinsip kehati-hatian, risiko CCS dinilai telah teridentifikasi dan terukur sehingga tidak memenuhi kriteria ketidakpastian ilmiah yang signifikan menurut Prinsip 15 Deklarasi Rio. Kendati demikian, mitigasi risiko tetap menuntut pengawasan ketat dan sistem pemantauan berkelanjutan demi menjamin keamanan ekologis.

Kata kunci: *carbon capture and storage*; karbon; mitigasi perubahan iklim; pemanasan global; protokol kyoto.

ABSTRACT

The regulation of *Carbon Capture and Storage* (CCS) in Indonesia is currently governed by Presidential Regulation Number 14 of 2024. However, the regulatory standing of a Presidential Regulation lacking explicit delegation from higher-level legislation creates legal vulnerability, particularly in legitimizing the application of the precautionary principle amidst long-term geological environmental risks. This hierarchical ambiguity potentially triggers disharmony with the environmental protection regime in the event of storage failure. This normative legal research aims to analyze the consistency of this legal instrument within the environmental regulatory framework through a statutory approach and qualitative legal analysis. The results indicate that while the policy is conceptually aligned with global climate commitments, its implementation is hindered by the prohibition of waste importation under Article 69 of the Environmental Protection and Management Law (UU PPLH), should carbon be categorized as transboundary waste. Regarding the precautionary principle, CCS risks are deemed identified and measurable, thus not meeting the criteria for significant scientific uncertainty as stipulated by Principle 15 of the Rio Declaration. Nevertheless, risk mitigation continues to demand strict oversight and continuous monitoring systems to ensure ecological safety.

Keywords: *carbon capture and storage*; carbon; climate change mitigation; global warming; kyoto protocol.

^a Fakultas Hukum, Universitas Padjadjaran, Jatinangor, Sumedang, Indonesia.

^b Fakultas Hukum, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia, email korespondensi: rafan.darodjat2025@fh.unair.ac.id

PENDAHULUAN

Pemanasan global (*global warming*)¹ sebagai dampak perubahan iklim merupakan permasalahan internasional, sampai saat ini belum mendapatkan solusi efektif dan tepat. Negara-negara maju dan para ahli lingkungan dunia selalu berupaya untuk mengatasi dan tidak pernah menyerah untuk menemukan solusi efektif dan tepat. Meskipun masyarakat awam kurang peduli akan dampak penting perubahan iklim, namun kampanye perubahan iklim tidak pernah surut, bahkan semakin terus diupayakan. Salah satu dampak penting bencana global perubahan iklim adalah munculnya penyakit-penyakit aneh yang sulit disembuhkan.

Mencairnya es di Kutub Utara, Kutub Selatan, atau di beberapa daerah bersalju sebagai dampak langsung pemanasan global,² berpotensi menghidupkan kembali virus, bakteri, atau organisme hidup lain yang dulu menginfeksi binatang yang hidup ribuan tahun lalu. Rusa kutub yang mati terinfeksi, menyerupai bangkai diawetkan oleh es, berpotensi membahayakan. Bangkai rusa terawetkan tersebut dapat membawa persoalan kesehatan yang membahayakan. Ketika salju mencair akibat suhu bumi yang memanas mengakibatkan virus atau bakteri yang dulu beku menjadi aktif kembali. Virus dan bakteri tersebut apabila menginfeksi manusia generasi *post gen z* (generasi alpha) sangat membahayakan karena sulit diketemukan obatnya. Sistem kekebalan tubuh manusia tidak akan mampu melawan virus dan bakteri yang dulu hidup dan menginfeksi manusia generasi jauh sebelumnya. Sungguh sangat mengerikan apabila virus, bakteri, atau mikroba lain yang berumur jutaan tahun hidup kembali dan menginfeksi manusia.

Prediksi dan kekhawatiran di atas bukanlah sesuatu yang mengada-ada. Berdasarkan hasil penelitian ternyata bakteri ekstremofil yang berumur 32.000 tahun dapat dihidupkan kembali pada tahun 2005, dan bakteri berumur 8 juta tahun dapat dihidupkan kembali pada tahun 2007. Cacing yang telah membeku di es abadi selama 42.000 tahun telah berhasil dihidupkan kembali. Bangkai rusa kutub yang mati karena terinfeksi virus antraks, terkubur es selama 70 tahun ternyata menjadi penyebab kematian bocah laki-laki yang meninggal karena terinfeksi virus antraks setelah menyentuh bangkai rusa kutub. Bahkan terdapat lebih dari 2000an rusa kutub telah mati terinfeksi antraks karena menyentuh bangkai rusa kutub tersebut.³

Selain menimbulkan permasalahan kesehatan, dampak perubahan iklim karena pemanasan global mengancam keberlanjutan hidup penduduk bumi yang rentan. Apabila suhu bumi naik 5°C maka beberapa negara yang saat ini suhunya mencapai 38°C sampai dengan 40°C sulit untuk melanjutkan hidup, tanaman pangan akan mati mengering, dan oleh

¹ Najmaldin Ezaldin Hassan, "Global Warming: Causes, Impacts and Urgent Strategies for a Sustainable Future: A Review," *GSC Advanced Research and Reviews* 20, no. 3 (2024): 73, <https://doi.org/10.30574/gscarr.2024.20.3.0338>.

² Julius Garbe et al., "The Evolution of Future Antarctic Surface Melt Using PISM-dEBM-Simple," *The Cryosphere* 17, no. 1 (2023): 4572, <https://doi.org/10.5194/tc-17-4571-2023>.

³ David Wallace-Wells, *Bumi yang Tak dapat Dihuni* (Jakarta: PT Gramedia Pustaka, 2019), 112-113.

karenanya dapat memicu bencana kelaparan. Beberapa daerah di Indonesia, Australia, Timor Leste, Papua Nugini, Afrika, India, Timur Tengah, dan Amerika sangat rentan. Kenaikan suhu memicu gelombang panas, dan cuaca ekstrim. Badai mematikan dan merusak, juga menyebabkan kebakaran hutan dan lahan di beberapa negara.⁴

Badan Meteorologi Dunia melaporkan bahwa pada tahun 2022 telah terjadi kenaikan suhu bumi hingga 1,15°C dibandingkan suhu bumi pada tahun 1990-an. Laporan tersebut juga mengonfirmasi bahwa periode 2015-2022 merupakan delapan tahun terpanas dalam catatan sejarah, di mana tren peningkatan suhu terus berlanjut hingga mencapai 1,45°C pada tahun 2023. Apabila ambang batas kenaikan suhu sebesar 2°C terlampaui, diproyeksikan akan terjadi eskalasi gelombang panas ekstrem yang memicu kelangkaan air kronis, kekeringan parah, kepunahan biodiversitas secara masif,⁵ serta peningkatan risiko transmisi penyakit tular vektor seperti malaria.

Pemanasan global merupakan permasalahan lingkungan hidup yang diakibatkan karena keberadaan gas-gas rumah kaca (GRK) seperti karbon dioksida (CO₂), *methane* (CH₃), *nitrous oxide* (N₂O), *hydro fluorocarbons* (HFCs), *per fluorocarbons* (PFCs), dan *sulfur hexafluoride* (SF₆).⁶ Keberadaan zat-zat rumah kaca tersebut di atmosfer mengakibatkan suhu bumi menjadi meningkat dan semakin panas. Semakin meningkat konsentrasi gas rumah kaca maka suhu bumi akan semakin meningkat pula. Sebagaimana disampaikan meningkatnya suhu bumi berdampak pada terjadinya perubahan iklim. Berdasarkan analisis di atas maka gas rumah kaca terutama karbon dioksida merupakan akar permasalahan pemanasan global.

Karbon dioksida merupakan bagian dari gas rumah kaca yang paling banyak konsentrasinya di atmosfer. Telah banyak upaya-upaya untuk menekan dan mengurangi keberadaan karbon dioksida, diantaranya mengurangi penggunaan energi yang menghasilkan CO₂, seperti energi yang berbasis fosil (minyak dan batubara). Upaya lainnya adalah reforestasi, karena hutan merupakan instrumen alami yang mampu menyerap dan menyimpan karbon dioksida. Sayangnya upaya-upaya tersebut berbenturan dengan kebutuhan pembangunan. Bahan bakar minyak dan batubara merupakan roda penggerak dominan industri. Tanpa keduanya industri tidak bisa berjalan. Demikian pula hutan, investasi sangat membutuhkan lahan, sebagai dampaknya banyak lahan hutan yang dikorbankan guna meningkatkan investasi. Akhirnya pohon-pohon penyerap karbon banyak ditebang.

Konsep, program, dan skema efektif dan tepat, guna mensinergikan program pengurangan karbon dioksida dengan pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan, masih terus diupayakan untuk ditemukan. Industri belum bisa efektif membersihkan aktivitasnya dari karbon. Para ahli lingkungan dunia menawarkan beberapa program, seperti *Emissions Trading*;

⁴ R. K. Dubel and G. S. Rao, "Extreme Weather Events over India in the Last 100 Years," *Journal of India Geographers Union* 9, no. 3 (2025): 5.

⁵ H. J. Buck et al., "Evaluating the Use of Carbon Capture and Storage in Low-Carbon Scenarios," *Nature Climate Change* 14 (2024): 12–18.

⁶ B. D. Santer et al., "Detection of Climate Change and Attribution of Causes," *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*, ed. J. T. Houghton et al. (1996), 407–412.

*Joint Implementation; Clean Development Mechanism; Reduction of Emissions from Deforestation and Forest Degradation.*⁷ Seiring dengan bergulirnya konsep, program, dan skema penanggulangan perubahan iklim, namun keberadaan jumlah karbon dioksida di atmosfer juga semakin meningkat.

Dalam upaya mengatasi kebuntuan, pemerintah Indonesia menggagas implementasi program *carbon capture storage*. Suatu konsep yang tidak berbasis pengurangan produksi karbon dioksida, namun hanya berbasis pada pengendalian keberadaan karbon di atmosfer. Program ini menskemakan pemisahan, dan penangkapan karbon dioksida pada saat produksi, kemudian karbon dioksida dikemas, diangkut dan disimpan ke tanah atau ke laut, sehingga tidak berkeliaran di udara. Dengan tidak berada di udara otomatis karbon baru yang dihasilkan tidak berkontribusi dalam kenaikan suhu udara.

Berkenaan dengan hal tersebut pada tanggal 30 Januari 2024 Presiden RI telah menetapkan Perpres No. 14 Tahun 2024 tentang Penyelenggaraan Kegiatan Penangkapan dan Penyimpanan Karbon sebagai landasan kebijakan penyelenggaraan pengendalian karbon dioksida. Mencermati keberadaan perpres, ternyata perpres tidak merujuk pada dasar undang-undang, sehingga dipertanyakan bagaimana sinkronisasinya dengan undang-undang di bidang lingkungan hidup? Selain itu apakah kebijakan regulasinya telah sesuai dengan prinsip kehati-hatian dan mempertimbangkan secara cermat segala aspek di bidang lingkungan hidup?

Dua pertanyaan berkenaan dengan perpres penyelenggaraan pengendalian karbon dioksida merupakan permasalahan yang akan menjadi pokok bahasan dalam penelitian. Adapun tujuan penelitian adalah untuk meneliti dan mengkaji sinkronisasi Perpres No. 14 Tahun 2024 tentang Penyelenggaraan Kegiatan Penangkapan dan Penyimpanan Karbon dengan Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Tujuan lainnya adalah untuk meneliti dan mengkaji implementasi prinsip kehati-hatian terkait implementasi *carbon capture storage*.

METODE PENELITIAN

Kesesuaian dengan isu *carbon capture storage* (selanjutnya disingkat: CCS), maka penelitian di sini menggunakan metode yuridis normatif merupakan metode pendekatan yang digunakan di dalam setiap permasalahan yang dihadapi dalam penelitian ini. Dikarenakan obyek penelitian terkait erat dengan hukum lingkungan, maka selain menggunakan metode pendekatan yuridis normatif tersebut akan digunakan pula metode pendekatan multi disiplin dan interdisipliner. Pada dasarnya penelitian ini merupakan penelitian kepustakaan, di mana data penelitian diinventarisir menggunakan metode studi pustaka. Data pustaka sebagaimana dimaksud meliputi laporan hasil penelitian, artikel jurnal ilmiah, paper, buku, majalah, dan peraturan perundang-undangan. Untuk menjawab identifikasi masalah, data

⁷ Lihat *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*.

pustaka yang telah berhasil diinventarisir, selanjutnya akan dianalisis secara yuridis kualitatif. Analisis data penelitian dalam bentuk peraturan perundang-undangan akan dianalisis dengan menggunakan metode penafsiran hukum, baik menggunakan metode gramatikal, otentikal, historikal, sistimatikal, maupun sosiologikal.

PEMBAHASAN

Tujuan dan Manfaat *Carbon Capture Storage*

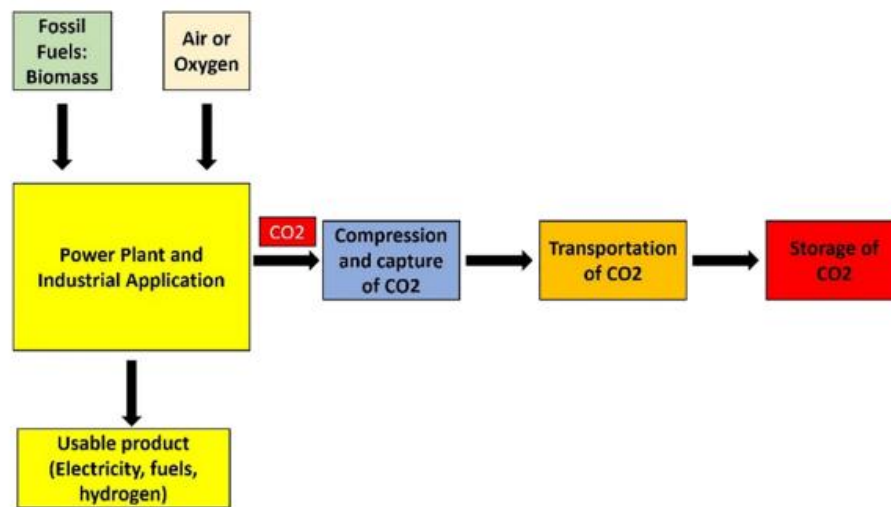
CCS diterjemahkan dalam bahasa Indonesia menjadi penangkapan dan penyimpanan karbon, merupakan suatu teknologi untuk menangkap, memisahkan, dan penyimpanan karbon dioksida agar karbon yang dihasilkan sebagai emisi dalam proses produksi tidak dibuang ke udara bebas (atmosfer), melainkan akan diangkut untuk disimpan di dalam tanah atau ke dalam laut tertentu.⁸ Teknologi tersebut bertujuan untuk mengendalikan jumlah karbon dioksida yang beredar di atmosfer bumi, agar karbon baru yang dihasilkan industri tidak menambah jumlah karbon yang sudah beredar. Dengan demikian karbon dioksida yang berhasil ditangkap dan disimpan diharapkan tidak memperparah kondisi pemanasan global yang sedang terjadi.

Teknologi *carbon capture storage* secara teknis meliputi 3 (tiga) tahapan proses. Tahap pertama adalah proses penangkapan dan pemisahan karbon dioksida. Pada proses penangkapan dapat dilakukan dengan beberapa teknik. Teknik pasca-pembakaran (*post-combustion*) dimana karbon dioksida dipisahkan dari emisi yang dihasilkan dari suatu proses pembakaran, kemudian ditangkap dan ditempatkan agar tidak terbuang ke udara bercampur dengan emisi lainnya. Teknik penangkapan sebelum pembakaran (*pre-combustion capture*), karbon dioksida dipisahkan sebelum pembakaran. Teknik lainnya adalah teknik *oxy-fuel combustion*, bahan bakar berbasis fosil dibakar dalam oksigen murni, teknik ini dimaksudkan untuk memudahkan ketika proses pemisahan.

Tahap kedua dan ketiga adalah tahap transportasi dan tahap penyimpanan atau penimbunan. Tahap transportasi adalah tahap pemindahan karbon dioksida setelah berhasil dipisahkan dan ditangkap, dibawa untuk dilakukan proses penempatan atau penyimpanan pada lokasi tertentu yang aman dan telah disiapkan sebelumnya. Pada tahap penyimpanan dilakukan dengan dua metode pilihan. Karbon dioksida disimpan di dalam tanah dengan teknik penyuntikan (*injection*) pada lapisan batuan bawah tanah yang mampu menahan karbon dioksida, seperti pada akuifer garam, formasi batuan sedimentasi, atau pada ruang minyak atau gas yang sudah habis.⁹

⁸ B. Metz et al., *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage* (Cambridge: Cambridge University Press, 2005), 3.

⁹ Stefan Bachu, "Sequestration of CO₂ in Geological Media: Criteria and Assessment Methods for Site Selection and Characterization," *Energy Conversion and Management* 44, no. 15 (2003): 2443-2459, [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(99\)00149-1](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(99)00149-1)

Bagan 1. Proses *Carbon Capture Storage*¹⁰

Sumber: Tabbi Wilberforce et al.

Berdasarkan studi literatur, teknologi CCS ditemukan oleh Marchetti. Sejak tahun 1972 teknologi *carbon capture storage* telah diterapkan di Amerika Serikat, Amerika pada waktu itu telah berhasil menyimpan 200 juta ton karbon dioksida di bawah tanah. Selain Amerika Serikat teknologi tersebut telah dipraktikkan oleh Norwegia, Inggris, Australia, Kanada, China. Pada tahun 2015 Kanada melalui program *Oil and Gas Field* telah berhasil menampung 1 juta ton karbon dioksida. Australia pada tahun 2019 telah berhasil menyimpan karbon dioksida melalui program *carbon capture storage* sebanyak 3-4 juta ton per tahunnya. Dalam kerangka mitigasi perubahan iklim global, implementasi teknologi CCS diproyeksikan memberikan berbagai kontribusi strategis, baik dari aspek ekologis, ekonomi, maupun sosial.¹¹ Berikut adalah dekonstruksi manfaat utama teknologi tersebut:

1. Reduksi Risiko Eskalasi Krisis Iklim: Melalui mekanisme penangkapan dan pengisolasian CO₂ di formasi geologi bawah permukaan, CCS secara efektif mencegah akumulasi gas rumah kaca di atmosfer. Hal ini memungkinkan pengendalian konsentrasi emisi secara terukur guna menekan laju pemanasan global.¹²
2. Dekarbonisasi Pemanfaatan Energi Fosil: CCS berfungsi sebagai teknologi transisi yang memungkinkan penggunaan energi berbasis fosil tetap berlanjut dengan profil emisi yang jauh lebih rendah. Teknologi ini menawarkan solusi bagi sektor industri sulit-

¹⁰ Tabbi Wilberforce et al., "Outlook of Carbon Capture Technology and Challenges," *Science of the Total Environment* 657 (2019): 57, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.424>.

¹¹ J. Feron and P. Burnard, "Global Status of CCS 2020," *Global CCS Institute Report* (2020); lihat juga N.Cook, "The Gorgon Carbon Dioxide Injection Project," *APPEA Journal* 59 (2019): 421-426.

¹² M. Bui et al., "Carbon Capture and Storage (CCS): The Way Forward," *Energy & Environmental Science* 11, no. 5 (2018): 1062-1176.

termitigasi (*hard-to-abate sectors*) agar tetap beroperasi tanpa memperburuk fenomena pemanasan global.¹³

3. Stimulasi Investasi Hijau Baru: Adopsi CCS menciptakan ekosistem ekonomi baru yang menarik bagi investor, mulai dari sektor infrastruktur penangkapan, penyediaan moda transportasi karbon, hingga pengelolaan situs penyimpanan permanen. Hal ini mendorong terciptanya pasar karbon yang lebih dinamis.¹⁴
4. Ekspansi Lapangan Kerja Spesifik: Industrialisasi rantai pasok CCS berdampak langsung pada penyerapan tenaga kerja terampil. Pembukaan fasilitas penangkapan dan penyimpanan memerlukan tenaga ahli di bidang geologi, teknik kimia, hingga manajemen risiko, yang pada gilirannya memperluas bursa kerja nasional.¹⁵

Perlindungan dan Resiliensi Investasi Eksistensi: Bagi industri padat emisi yang sudah ada (*existing brown industries*), CCS memberikan jalur "pertahanan" terhadap tekanan regulasi lingkungan yang semakin ketat. Dengan mengintegrasikan CCS, aset industri tersebut terhindar dari risiko menjadi *stranded assets* (aset terdampar) karena tetap relevan dalam ekonomi rendah karbon.¹⁶

Prinsip Kehati-hatian

Prinsip kehati-hatian (*precautionary principle*) merupakan prinsip yang diatur dalam beberapa perjanjian internasional. Prinsip kehati-hatian termuat dalam World Heritage Convention 1972, Vienna Convention on the Protection of the Ozon Layer, 1985, Montreal Protocol 1987¹⁷ dan bila dicermati sesungguhnya prinsip kehati-hatian juga terkandung dalam laporan WCED.¹⁸ Adapun secara tegas rumusan prinsip kehati-hatian tertuang dalam Deklarasi Rio 1992.

Dinyatakan pada Prinsip 15 bahwa untuk melindungi lingkungan, apabila ada ancaman serius atau kerusakan lingkungan yang tidak dapat diperbaiki maka ketiadaan kepastian ilmiah tidak boleh dijadikan alasan untuk menunda-nunda upaya efektif mencegah degradasi lingkungan. Merujuk pada rumusan tersebut pada prinsip kehati-hatian mengandung unsur-unsur penting yang merupakan satu kesatuan makna dalam implementasinya. Pertama frasa ancaman serius atau kerusakan lingkungan yang tidak dapat dipulihkan. Implementasi prinsip kehati-hatian menghendaki terlebih dahulu adanya kondisi ancaman serius atau kerusakan lingkungan yang tidak dapat dipulihkan. Secara *argumentum a*

¹³ E. S. Rubin et al., "The Cost of CO₂ Capture and Storage," *International Journal of Greenhouse Gas Control* 40 (2015): 378-400.

¹⁴ C. Hepburn et al., "The Technological and Economic Prospects for CO₂ Utilization and Removal," *Nature* 575, no. 7781 (2019): 87-97.

¹⁵ P. J. Sullivan et al., "Employment Impacts of Carbon Capture and Storage: A Review and Multi-Model Analysis," *Energy Policy* 162 (2022): 12.

¹⁶ S. G. Griffiths et al., "Industrial Decarbonization via Dash for Gas: A Job Creation and Economic Growth Perspective," *Applied Energy* 312 (2022): 18, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118745>.

¹⁷ Idris, *Perkembangan Hukum Lingkungan Internasional (Bagian 1)* (Bandung: Unpad Press, 2011), 94-95.

¹⁸ World Commission on Environment and Development, *Our Common Future* (1987).

contrario hal ini berarti aktivitas yang berpotensi mengakibatkan kerusakan biasa atau kerusakan yang masih dapat dipulihkan bukan merupakan kondisi serius dan mendesak bagi negara untuk mengimplementasikan prinsip kehati-hatian. Implementasi prinsip kehati-hatian belum diperlukan apabila belum terdapatnya unsur potensi ancaman serius atau belum terdapatnya potensi kerusakan lingkungan yang tidak dapat dipulihkan.¹⁹

Kedua, frasa ketiadaan kepastian secara ilmiah. Makna pertama berkenaan dengan pembuktian adanya kerusakan dan/atau pencemaran lingkungan. Teknologi untuk membuktikan secara akurat dan pasti adanya kerusakan dan/atau pencemaran lingkungan belum tersedia, atau masih diperdebatkan akurasinya, sehingga menimbulkan ketidakpastian, apakah kerusakan lingkungan benar-benar terjadi karena suatu aktivitas. Apabila kondisi tersebut terpenuhi maka tidak boleh dijadikan alasan bagi negara untuk menunda-nunda dilakukannya upaya pelestarian lingkungan hidup.

Makna kedua, belum tersedianya ilmu pengetahuan dan teknologi untuk memastikan bahwa aktivitas yang direncanakan pasti keamanannya atau akan mengakibatkan kerusakan serius, atau akan mengakibatkan kerusakan yang tidak dapat dipulihkan. Ketidadaan ilmu pengetahuan dan teknologi sebagaimana dimaksud mengakibatkan ketidakpastian ilmiah. Apabila kondisi ini terjadi maka tidak boleh dijadikan alasan bagi negara untuk menunda-nunda upaya efektif mencegah terjadi kerusakan dan/atau pencemaran lingkungan hidup. Terkait makna yang kedua ini terdapat contoh kasus. Pada awalnya program penyodetan Sungai Citanduy guna mengatasi sedimentasi Laguna Segara Anakan di Cilacap belum dapat dipastikan apakah akan berdampak mencemari pantai Pangandaran atau tidak. Pada waktu itu belum tersedia teknologi yang mampu memastikannya, sehingga terjadi ketidakpastian. Sebagai langkah kehati-hatian, pada saat itu pemerintah mengambil kebijakan menunda proyek.

Mencermati unsur-unsur implementasi prinsip kehati-hatian berdasarkan rumusan Prinsip 15 Deklarasi Rio, dapat dikatakan bahwa implementasi prinsip kehati-hatian mensyaratkan terpenuhinya dua unsur sebagai syarat kondisi.²⁰ Artinya prinsip ini tidak dapat begitu saja diimplementasikan, terlebih dahulu harus dipenuhi syarat-syaratnya. Prinsip kehati-hatian belum cukup alasan untuk diimplementasikan apabila belum terdapat unsur ancaman serius atau potensi kerusakan yang tidak dapat dipulihkan, dan unsur ketidakpastian ilmiah. Kedua unsur tersebut secara kumulatif harus terlebih dahulu ada. Unsur-unsur tersebut tidak bersifat alternatif.

Implementasi prinsip kehati-hatian dalam proses persetujuan lingkungan menjadi sangat krusial ketika suatu rencana usaha menghadapi ambang batas ancaman serius atau potensi kerusakan yang tak terpulihkan. Dalam konteks CCS, angka risiko kebocoran sebesar

¹⁹ Imamulhadi, *Pokok-Pokok Hukum Lingkungan* (Bandung: Unpad Press, 2016), 58.

²⁰ S. G. Prakoso et al., "The Importance of Politics on Precautionary Principles' Implementation in the Environmental Sector," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (2021): 2, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/905/1/012005>.

6,3% bukan sekadar data teknis, melainkan indikator ketidakpastian ilmiah (*scientific uncertainty*) yang signifikan. Kebocoran CO₂ pada skala tersebut dikategorikan sebagai ancaman serius karena dapat memicu asidifikasi air tanah dan mobilisasi logam berat yang berdampak fatal bagi kesehatan publik. Lebih jauh lagi, pelepasan kembali karbon ke atmosfer dalam volume besar menciptakan kerusakan tak terpulihkan terhadap target mitigasi iklim nasional yang tidak dapat dikompensasi dengan upaya pemulihan biasa.²¹ Oleh karena itu, selama teknologi mitigasi belum mampu menjamin eliminasi dampak dari risiko 6,3% tersebut, pemerintah memiliki kewajiban konstitusional untuk menerapkan prinsip kehati-hatian dengan menunda persetujuan atau menetapkan syarat mitigasi yang jauh lebih ketat demi mencegah kegagalan ekologis yang permanen.

Implementasi prinsip kehati-hatian harus dilakukan secara benar dan cermat. Implementasinya yang tidak benar dan tidak cermat dapat mengakibatkan terganggunya capaian pembangunan berkelanjutan.²² Pembangunan berkelanjutan menghendaki secara kumulatif tercapainya keberlanjutan ekologi, ekonomi, dan sosial.²³ Upaya-upaya efektif guna memastikan tidak adanya kerusakan dan pencemaran lingkungan, tidak dalam kerangka pembangunan berkelanjutan apabila berdampak pada terganggunya pertumbuhan ekonomi nasional dan hilangnya kesempatan kerja bagi masyarakat. Upaya-upaya efektif tersebut harus tetap mendukung capaian pertumbuhan ekonomi dan pertumbuhan bursa kesempatan kerja. Implementasi prinsip kehati-hatian secara tidak benar dan tidak cermat mengakibatkan penurunan volume investasi, karena investor enggan berinvestasi dan lari ketakutan. Sementara investasi sangat mempengaruhi pertumbuhan ekonomi dan peningkatan kesejahteraan sosial.

Prinsip kehati-hatian sejatinya merupakan prinsip yang bersifat preemtif,²⁴ mengkaji dan mempertimbangkan suatu rencana atau kegiatan yang belum terjadi. Prinsip kehati-hatian mempertimbangkan suatu dampak yang belum terjadi. Oleh karenanya lebih ideal implementasinya terkait erat dengan kebijakan pemerintah sebagai wakil negara. Berdasarkan hal tersebut cukup beralasan apabila wujud konkret dari implementasinya tergambar dalam bentuk Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Hidup (AMDAL),²⁵ atau Kajian Lingkungan

²¹ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage* (Cambridge: Cambridge University Press, 2005), 246–250.

²² Rafan Darodjat dan Deviana Yuanitasari, *Suatu Pengenalan: Hukum Ekonomi* (Jambi: Darbooks Media Group, 2024), 48.

²³ Meiki Permana, "Analisis Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia," *Jurnal Manajemen dan Ekonomi Bisnis* 2, no. 1 (2018): 1; lihat pula Nur Alif Harsono dan Kresensia Bangun, "Perkembangan Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia Dilihat dari Aspek Ekonomi di Indonesia," *Lakar Jurnal Arsitektur* 3, no. 2 (2020): 89–91; bandingkan dengan Arvin Astra Nugraha et al., "Peran Hukum Lingkungan dalam Mencegah Kerusakan dan Pencemaran Lingkungan Hidup," *Jurnal Hukum Tora* 7, no. 2 (2021): 6.

²⁴ Brian Massumi, "Preemption Today," *Theory & Event* 28, no. 2 (2025): 161, <https://doi.org/10.1353/tae.2025.a956273>.

²⁵ Imamulhadi, "Perkembangan Prinsip Strict Liability dan Precautionary dalam Penyelesaian Sengketa Lingkungan Hidup di Pengadilan," *Mimbar Hukum* 25, no. 3 (2013): 429–430.

Hidup Strategis (KLHS). Baik amdal maupun KLHS mempertimbangkan dan mengkaji aspek-aspek terkait apakah akan berdampak negatif terhadap lingkungan hidup. Baik AMDAL maupun KLHS sama-sama mencerminkan sikap kehati-hatian pemerintah sebelum memutuskan suatu kebijakan, karena semua aspek terkait dipertimbangkan.

Prinsip kehati-hatian berhubungan erat dengan prinsip pencegahan (*prevention principle*), Makna rumusan kedua prinsip tersebut sangat berhimpit. Keduanya menghendaki upaya menghindari risiko dampak negatif terhadap lingkungan hidup. Prinsip pencegahan menekankan pada upaya untuk mencegah kemungkinan bahaya akan terjadi atas suatu emisi, meskipun bukti ilmiah kurang meyakinkan membuktikan adanya hubungan antara emisi dengan bahaya. Antara prinsip kehati-hatian dengan prinsip pencegahan sulit dipisahkan, karena makna prinsip pencegahan sama dengan makna pertama dari frasa kedua prinsip kehati-hatian.²⁶ Namun demikian bisa dikatakan bahwa prinsip kehati-hatian konteksnya dalam tahap kebijakan atas suatu rencana (*preemptif*), sedangkan prinsip pencegahan dalam tataran teknis operasional (*bersifat preventif*).

Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (UUPPLH) tidak secara tegas (*implisit*) merujuk pada prinsip kehati-hatian ataukah prinsip pencegahan. Undang-undang hanya menyebutkan asas kehati-hatian pada Pasal 2. Adapun dalam penjelasan umumnya disebutkan prinsip kehati-hatian, dan dalam penjelasan pasal-pasalny merujuk pada rumusan Prinsip 15 Deklarasi Rio. Berdasarkan pada hal tersebut dapat dikatakan maksud UUPPLH merujuk pada pengaturan prinsip kehati-hatian.²⁷ Namun dikarenakan makna prinsip pencegahan merupakan bagian dari penafsiran secara luas prinsip kehati-hatian, dapat dikatakan secara eksplisit prinsip pencegahan diatur pula dalam UUPPLH.

Regulasi *Carbon Capture Storage*

Program *Carbon Capture Storage* merupakan bagian dari upaya penanggulangan perubahan iklim yang diakibatkan karena terjadinya pemanasan global. Oleh karena itu pembahasan mengenai *carbon capture storage* diletakan dalam bingkai penanggulangan perubahan iklim. Indonesia merupakan salah satu negara peserta Konvensi Kerangka Kerja PBB tentang Perubahan Iklim (UNFCCC), dan telah meratifikasinya melalui Undang-Undang No. 6 Tahun 1994 tentang Pengesahan United Nations Framework Convention on Climate Change. Konvensi tersebut merupakan salah satu kegiatan Konferensi Tingkat Tinggi Bumi di Rio 1992.

United Nations Framework Convention on Climate Change bertujuan untuk menstabilkan jumlah gas buang yang salah satunya adalah karbon dioksida, agar tidak membahayakan iklim dunia, sekaligus menjamin ketersediaan pangan dalam kerangka

²⁶ Bandingkan dengan La Ode Angga, "Makna Prinsip Kehati-Hatian dalam Peraturan Daerah Rencana Tata Ruang Wilayah Berbasis Keberlanjutan Lingkungan Hidup di Maluku," 24, no. 2 (2017): 158.

²⁷ Liza Fariyah dan Femi Anggraeni, "Prinsip Kehati-hatian dan Kerugian Potensial dalam Perkara Tata Usaha Negara Terkait Lingkungan Hidup," *Jurnal Yudisial* 5, no. 3 (2012): 245.

pembangunan berkelanjutan. Berkenaan dengan tujuan tersebut kepemimpinan untuk pencapaian target disematkan pada pundak negara-negara industri (*Annex 1*), negara-negara tersebut paling besar kontribusinya dalam peningkatan gas rumah kaca. Negara-negara *Annex 1* didorong untuk mencapai target pengurangan emisi di negaranya. Adapun negara-negara berkembang sebagai pihak *Non Annex* seperti Indonesia, meskipun berbeda tanggung jawabnya, dalam kerangka *common but differentiated responsibilities*, harus bekerja sama dengan pihak *Annex 1* dalam mengatasi perubahan iklim. Negara berkembang di dalam turut mengatasi, lebih banyak menerima pendanaan dan alih teknologi dari negara *Annex 1*.²⁸

Terikat dengan konvensi UNFCCC Indonesia berkewajiban untuk turut serta dalam melakukan penanggulangan perubahan iklim global. Selain telah meratifikasi UNFCCC, Indonesia telah pula mengundang Undang-Undang No. 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan Paris Agreement To The United Nations Framework Convention on Climate Change. Dengan diratifikasinya Paris Agreement maka Indonesia berkewajiban untuk meningkatkan target penurunan karbon dioksida dalam *Nationally Determinate Contributions* (NDC). Dalam kerangka Paris Agreement Indonesia berjanji menurunkan emisi sebesar 29% dengan aksi sendiri, Adapun melalui skema kerjasama, berjanji akan menurunkan emisi sebesar 41% pada tahun 2030. Indonesia menargetkan *Net Zero Emission* pada tahun 2060.

Untuk mencapai NDC Indonesia, pemerintah melakukan insentif positif pada setiap upaya penurunan emisi dari sektor kehutanan (penurunan angka deforestasi dan degradasi hutan), serta melalui pengelolaan hutan berkelanjutan, konservasi hutan, dan peningkatan cadangan karbon hutan, diantaranya melalui program pembayaran berbasis hasil. Beberapa peraturan yang berlaku yang menjadi sandaran untuk mendukung pencapaian NDC Indonesia, diantaranya:

1. Undang-Undang Dasar 1945 Amandemen ke-IV.

Pasal 28H UUD 1945 Amandemen ke IV memberikan landasan konstitusional kepada masyarakat untuk mendapatkan lingkungan hidup yang baik dan sehat, meliputi hak untuk mendapatkan udara yang segar tanpa emisi. Pelanggaran terhadap ketentuan ini merupakan pelanggaran hak asasi manusia bidang lingkungan hidup. Undang-undang yang substansinya mengingkari hak masyarakat untuk mendapatkan udara tanpa emisi adalah melanggar HAM dan inskonstitusional.

2. Undang-Undang No. 5 Tahun 1990 tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya.

Mengatur mengenai perlindungan sistem kehidupan makhluk hidup termasuk manusia. Perlindungan sistem kehidupan meliputi pula perlindungan hutan sebagai ekosistem dan habitat magasatwa melalui penetapan kawasan lindung cagar alam, dan suaka margasatwa.

²⁸ United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), "What Is the United Nations Framework Convention on Climate Change?" diakses 16 Mei 2024, <https://unfccc.int/process-and-meetings/what-is-the-united-nations-framework-convention-on-climate-change>.

3. Undang-Undang No. 6 Tahun 1994 tentang Pengesahan United Nations Framework Convention on Climate Change. Prinsip-prinsip sebagaimana dimuat dalam UNFCCC menjadi landasan penting dan sumber hukum bagi Indonesia terkait pengaturan penanggulangan perubahan iklim. UNFCCC juga menjadi dasar bagi Indonesia untuk bekerja sama dengan negara-negara industri dalam pengendalian peningkatan suhu bumi.
4. Undang-Undang No. 17 Tahun 2004 tentang Pengesahan Kyoto Protocol to The United Nations United Nations Framework Convention on Climate Change. Kewajiban-kewajiban negara *Annex 1* berdasarkan Protokol Kyoto telah berakhir pada tahun 2020, dan dilanjutkan melalui Paris Agreement.
5. Undang-Undang No. 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan sebagaimana telah diubah dengan Undang-Undang No. 6 Tahun 2023 tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang No. 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja Menjadi Undang-Undang. Undang-Undang Kehutanan sangat penting dalam pengendalian karbon dioksida. Hutan secara alami berfungsi menyerap peredaran karbon. Prinsip dan norma-norma undang-undang ini mengatur mengenai perlindungan dan konservasi hutan.
6. Undang-Undang No. 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang sebagaimana diubah dengan Undang-Undang No. 6 Tahun 2023 tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang No. 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja Menjadi Undang-Undang. Berdasarkan undang-undang ini pemanfaatan ruang diarahkan sesuai fungsi dan peruntukkan. Ruang yang fungsi dan peruntukannya terkait dengan penyerapan karbon seperti kawasan hutan lindung, dan hutan kota keberadaannya memperoleh perlindungan hukum.
7. Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, sebagaimana diubah dengan Undang-Undang No. 6 Tahun 2023 tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang No. 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja Menjadi Undang-Undang. Undang-Undang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup melarang segala bentuk pencemaran dan perusakan lingkungan. Karbon dioksida merupakan salah unsur pencemar yang dilarang dilepas ke media lingkungan secara sembarang tanpa pengelolaan dan izin. Keberhasilan implementasi undang-undang ini akan sangat bermanfaat bagi upaya pengendalian karbon.
8. Undang-Undang No. 18 Tahun 2013 tentang Pencegahan dan Pemberantasan Perusakan Hutan. Keberhasilan Undang-Undang Pencegahan dan Pemberantasan Perusakan Hutan dapat mengkondisikan kelestarian hutan sebagai penyerap karbon dan penghasil oksigen secara alami. Undang-undang ini lebih menekankan pada upaya-upaya perlindungan dan pelestarian hutan dengan memberikan kewenangan

yang lebih luas kepada pengelola hutan untuk melindunginya, serta memberikan ancaman yang lebih berat bagi perusakanya.

9. Undang-Undang No. 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan Paris Agreement to The United Nations Framework Convention on Climate Change. Dengan dratifikasinya Paris Agreement to The UNFCCC, Indonesia dengan bersandar pada prinsip tanggung jawab bersama yang dibedakan, berkewajiban meningkatkan dan memperkuat upaya-upaya penanganan dan penanggulangan perubahan iklim. Indonesia wajib turut serta menekan laju kenaikan suhu global di bawah 2°C dengan menetapkan ambisi nasional penurunan emisi di negaranya (NDC).
10. Peraturan Presiden No. 46 Tahun 2008 tentang Dewan Nasional Perubahan Iklim. Dewan Perubahan Iklim sebagaimana dibentuk berdasarkan peraturan presiden ini sangat mendukung upaya penanganan dan penanggulangan perubahan iklim secara lebih sistimatis, terkoordinasi dan terarah. Dewan Perubahan Iklim merumuskan kebijakan, merumuskan program, serta merumuskan strategi nasional penanganan dan penanggulangan perubahan iklim.
11. Perpres No. 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon. Dalam upaya mencapai NDC Indonesia, Presiden memandang penting untuk menetapkan perpres pendukung. Melalui perpres ini diharapkan percepatan pencapaian target kontribusi Indonesia dapat dipenuhi. Dalam kerangka pelaksanaan aksi mitigasi dan adaptasi perubahan iklim, perpres memberikan dasar hukum dan pedoman mekanisme perdagangan karbon, pembayaran berbasis kinerja, dan pungutan atas karbon.
12. Perpres No. 14 tahun 2024 tentang Penyelenggaraan Kegiatan Penangkapan dan Penyimpanan Karbon. Perpres memberikan dasar hukum yang lebih tinggi bagi penyelenggara dalam penyelenggaraan *carbon capture storage* di Indonesia. Perpres mengatur bahwa penyelenggaraan CCS di Indonesia dilaksanakan pada wilayah kerja. Wilayah kerja merupakan Wilayah Izin Penyimpanan Karbon, di mana penyelenggaraanya oleh kontraktor berdasarkan kontrak kerjasama dan berdasarkan izin eksplorasi dan izin operasi penyimpanan. Kedua izin tersebut merupakan kewenangan Menteri Investasi/Koordinator Penanaman Modal untuk menerbitkannya (Pasal 9). Pemegang izin dapat berupa badan usaha atau badan usaha tetap, adapun untuk izin operasi penyimpanan hanya dapat dilakukan oleh badan usaha.
13. Permen Energi dan Sumber Daya Mineral (Perman ESDM) No. 2 Tahun 2023 tentang Penyelenggaraan Penangkapan dan Penyimpanan Karbon, serta Pemanfaatan dan Penyimpanan Karbon pada Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi. Berkenaan dengan CCS Permen ESDM ini mengatur mengenai penyelenggaraan CCS yang berasal dari kegiatan usaha hulu minyak dan gas.

Koreksi Terhadap Kesiapan *Carbon Capture Storage*

Skema mitigasi dan adaptasi perubahan iklim dalam kerangka implementasi UNFCCC sebagaimana diatur dalam Protokol Kyoto, meliputi *Emissions Trading; Joint Implementation; Clean Development Mechanism; Reduction of Emissions from Deforestation and Forest Degradation*. Perdagangan emisi merupakan perdagangan antara pihak yang memiliki kelebihan kuota emisi (surplus kuota emisi) dengan pihak yang emisinya melebihi batas ketentuan. Untuk menghindari hukuman denda biasanya pihak yang emisinya melebihi batas, mencari pihak yang surplus kuota emisi. Mekanisme ini mendasarkan pada hak untuk mengemisi. Pemerintah menetapkan batas-batas emisi yang diizinkan oleh perusahaan. Terhadap perusahaan yang emisinya melebihi batas yang telah ditentukan, pemerintah akan mengenakan denda. Peluang perdagangan tercipta ketika banyak perusahaan yang mengemisi melebihi batas ketentuan berupaya menghindari denda, sementara ada pihak lain yang berhasil menekan emisi di bawah batas yang diizinkan.

Terdapat dua tipe pasar perdagangan emisi, tipe pasar karbon sukarela dan pasar karbon wajib. Para pihak dalam pasar karbon sukarela melakukan transaksi di luar pasar karbon, sehingga tidak diawasi dan tidak ada batasan emisi. Pada pasar karbon wajib, transaksi dilaksanakan di bursa karbon, diawasi dan berkenaan dengan batas kuota emisi yang ditetapkan. Selain skema perdagangan emisi, terdapat pula skema kredit karbon. Kredit karbon dilaksanakan antara pihak yang berhasil melakukan upaya-upaya penyerapan dan penyimpanan karbon (misalnya melalui upaya-upaya reforestasi, upaya-upaya penurunan angka deforestasi, dan penurunan angka degradasi hutan), dengan pihak²⁹ yang ingin mendapatkan sertifikat karbon, di mana sertifikat karbon yang diperolehnya dapat dijadikan sebagai kompensasi kuota izin untuk mengemisi. Pihak pembeli dapat berupa perusahaan ataupun negara, dan pihak penjual bisa berupa organisasi atau negara.³⁰

Skema *joint implementation* merupakan skema kerjasama penurunan atau pengurangan emisi antara negara industri dengan sesama negara industri sebagai negara peserta *Annex 1*, atau antara negara *Annex B* dengan negara *Annex B* lainnya. Keberhasilan kerjasama akan menghasilkan sertifikat *Emission Reduction Units* (ERU). Dengan sertifikat ERU para pihak dapat mengklaim telah melakukan pengurangan emisi. Sertifikat ERU yang mereka peroleh pada umumnya akan diperhitungkan sebagai prestasi penurunan emisi sebagaimana target mereka berdasarkan Protokol Kyoto.³¹

Clean Development Mechanism (CDM) merupakan skema kerjasama antara negara industri dengan negara berkembang dalam rencana penggantian kerugian karbon, di mana bagi negara industri kerjasama adalah dalam upaya pencapaian komitmen untuk mencapai

²⁹ Ines Genre, "What Is Clean Development Mechanism?" *Greenly*, diakses 20 Mei 2024, <https://greenly.earth/en-us/blog/company-guide/what-is-the-clean-development-mechanism>.

³⁰ Indonesia Commodity & Derivatives Exchange (ICDX), "Apa yang Dimaksud dengan Perdagangan Karbon," 27 Agustus 2021, diakses 19 Mei 2024, <http://www.icdx.co.id/news-detail/publication/apa-yang-dimaksud-dengan-perdagangan-karbon>.

³¹ Ines Genre, *Op. Cit.*

target penurunan atau pengurangan emisi mereka berdasarkan Protokol Kyoto.³² Sementara bagi negara berkembang kerjasama dalam upaya mereka mewujudkan capaian pembangunan berkelanjutan. Atas prestasinya tersebut negara industri akan mendapatkan kredit pengurangan emisi bersertifikat (*Certificate Emission Reductions/CERs*). Sertifikat merupakan insentif bagi negara industri terkait pencapaian target mereka. Mekanisme CDM mirip dengan *joint implementation*, bedanya untuk CDM negara maju berkerja sama dengan negara berkembang dalam tujuan membantu negara industri (*Annex 1*) di dalam memenuhi persyaratan penggantian kerugian karbon, dan mewujudkan pembangunan berkelanjutan di negara berkembang.. Contoh nyata CDM adalah proyek kerjasama antara India dengan China dalam Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Proyek Produksi *Air Conditioner* tanpa gas rumah kaca.³³ *Clean Development Mechanism* merupakan wujud nyata implementasi prinsip tanggung jawab bersama namun dibedakan (*common but differentiated responsibilities*). Dalam skema CDM inilah negara-negara berkembang seperti Indonesia dapat berkontribusi nyata dalam mitigasi dan adaptasi perubahan iklim.

Skema *Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD+)* merupakan program PBB untuk memberikan insentif positif (keuangan) kepada negara berkembang yang mampu mengurangi emisi yang berasal dari deforestasi dan degradasi hutan. Skema ini bertujuan untuk menekan kegiatan penebangan hutan di negara-negara berkembang, dan agar negara berkembang melindungi hutannya dari kerusakan. Skema *REDD+* tidak bersifat *mandatory* melainkan bersifat *voluntary*.³⁴ Skema *REDD+* meliputi dimensi tata kelola, implementasi, penerima manfaat, penggunaan lahan, pemantauan, keanekaragaman hayati, dan pendanaan. Implementasi skema *REDD+* dapat berupa: Penurunan emisi dari deforestasi; Penurunan emisi dari degradasi hutan; Pemeliharaan dan peningkatan cadangan karbon melalui konservasi hutan, pengelolaan hutan berkelanjutan, rehabilitasi dan restorasi; Penciptaan manfaat tambahan bersamaan dengan peningkatan manfaat dari karbon melalui peningkatan kesejahteraan masyarakat lokal, peningkatan kelestarian keanekaragaman hayati, peningkatan kelestarian produksi jasa ekosistem lain.³⁵

Empat skema di atas merupakan skema upaya mitigasi dan adaptasi perubahan iklim dalam kerangka UNFCCC, skema resmi yang diakui oleh PBB dan negara-negara anggota. Merujuk pada Protokol Kyoto dan Paris Agreement, *carbon capture storage* tidak secara tegas disebutkan masuk dalam salah satu dari empat skema di atas. Dikarenakan Undang-Undang Pengesahaan UNFCCC, Undang-Undang Pengesahaan Protokol Kyoto, dan Undang-Undang

³² Stephanie Ruriko Sondakh, "Kebijakan Tradable Permit dalam Upaya Mengatasi Kelangkaan Air di Indonesia," *Bina Hukum Lingkungan* 9, no. 1 (2024): 8, <https://doi.org/10.24970/bhl.v9i1.284>.

³³ ICDH, *Loc. Cit.*

³⁴ Nur Masripatin, "Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries," *Warta Tenure*, edisi 6 (2013): 1.

³⁵ Muhamad Iqbal, "Apa Itu REDD+? Pengertian, Sejarah, Implementasi, hingga Perkembangannya di Indonesia," *LindungiHutan*, 2024, diakses 20 Mei 2024, <https://lindungihutan.com/blog/pengertian-redd-adalah/>.

Pengesahaan Paris Agreement tidak menyebutkan CCS, maka belum terdapat peraturan setingkat undang-undang yang menjadi rujukan dasar hukum pengaturan CCS. Regulasi CCS di Indonesia baru dalam tingkatan peraturan presiden.

Berkenaan dengan regulasi, Perpres No. 14 tahun 2024 tentang Penyelenggaraan Kegiatan Penangkapan dan Penyimpanan Karbon pada diktum mengingatnya langsung merujuk pada Pasal 4 ayat 1 Undang Undang Dasar Republik Indonesia 1945, yang mengatur mengenai kewenangan presiden mengundangkan peraturan pemerintah di dalam keadaan memaksa. Sementara keadaan memaksa dimaksud tidak disebutkan dalam diktum menimbang. Selain itu peraturan yang disebut Pasal 4 ayat 1 Undang Undang Dasar Republik Indonesia 1945 adalah peraturan pemerintah bukan peraturan presiden. Antara Peraturan Pemerintah dengan Peraturan Presiden tentunya berbeda hierarkhi dan materi muatannya. Kondisi tersebut mengindikasikan adanya permasalahan regulasi, di mana presiden terkesan tidak berhasil mencari landasan hukum undang-undangnya.

Pada diktum menimbang Perpres No. 14 tahun 2024 tentang Penyelenggaraan Kegiatan Penangkapan dan Penyimpanan Karbon dituliskan bahwa pemberlakuan peraturan presiden dimaksudkan untuk mendukung pencapaian NDC Indonesia, dan dalama rangka mewujudkan *net zero emission* pada tahun 2060. Merujuk pada diktum menimbang tersebut, berarti pengaturan CCS di Indonesia dalam upaya mendukung mitigasi dan adaptasi perubahan iklim sebagaimana dimaksud Protokol Kyoto dan Paris Agreement. Dengan demikian secara eksplisit perpres sejalan dengan Undang-Undang Pengesahaan UNFCCC, Undang-Undang Pengesahaan Protokol Kyoto, dan Undang-Undang Pengesahaan Paris Agreement.

Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, sebagaimana diubah dengan Undang-Undang No. 6 Tahun 2023 tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang No. 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja Menjadi Undang-Undang, mengatur mengenai pengelolaan limbah B3. Setiap orang baik orang perorang maupun badan usaha yang menghasilkan limbah B3 wajib melakukan pengelolaan limbah B3. Pengelolaan limbah B3 bisa dilakukan dalam wujud pengurangan, penyimpanan, pengangkutan, pengumpulan, pemanfaatan, pengolahan, dan/atau benimbunan. Selain itu UUPPLH juga melarang memasukan limbah dan limbah B3 ke wilayah NKRI. Apabila karbon dioksida termasuk limbah B3 sisa pembakaran, maka penerimaan karbon dioksida dari negara lain untuk disimpan di wilayah NKRI bertentangan dengan UUPPLH di mana perbuatan tersebut merupakan kejahatan dan diancam hukuman pidana. Namun apabila karbon dioksida tidak termasuk limbah B3, maka rencana penerimaan karbon dioksida dari negara lain untuk di simpan di wilayah NKRI, terbentur hadangan Pasal 69 huruf c UUPPLH.

Pemerintah Indonesia berencana akan menjadi tempat penyimpanan dan penimbunan karbon dioksida, baik yang berasal dari dalam negeri maupun dari luar negeri. Berdasarkan hasil kajian Lemigas, potensinya mencapai 577, 62 giga ton dari sekitar 20 lokasi. Besaran

karbon yang ditangkap bisa di jual di pasar karbon. Apabila harga karbon saat ini yang menjadi acuan sebesar 60\$/ton, maka sangat besar potensi dana yang akan diterima. Potensi investasi yang sangat besar yang menjanjikan pertumbuhan ekonomi nasional. Untuk menangkap potensi investasi bisnis penyimpanan karbon, pemerintah Indonesia mengundang Perpres 14 Tahun 2024. Rencana tersebut akan sulit diwujudkan apabila dasar hukum kebijakan penyimpanan karbon dioksida dari luar wilayah Indonesia masih setingkat peraturan presiden. Untuk mengatasi kendala Pasal 69 huruf c UUPPLH tersebut, idealnya yang menjadi dasar hukum pengaturan CCS adalah peraturan setingkat undang-undang.

Selain regulasi, hal lain yang perlu dicermati terkait penerapan teknologi CCS adalah prinsip kehati-hatian. Rencana kebijakan penerapan teknologi CCS di Indonesia harus memperhatikan prinsip kehati-hatian. Pertanyaan mendasar untuk hal tersebut adalah apakah teknologi CCS benar-benar telah terbukti aman terhadap aspek lingkungan dan kesehatan? Sebagaimana telah disampaikan di muka, beberapa negara telah mengimplementasikan teknologi CCS. Amerika Serikat, Kanada, Inggris, Australia, Norwegia, dan China telah mempraktikkan teknologi ini. Praktik terbaik di Amerika Serikat teknologi tersebut secara umum aman terhadap aspek lingkungan hidup dan kesehatan. Meskipun ada potensi kebocoran, karbon dioksida berpotensi keluar dari lokasi, potensi perpindahan air tanah, dan potensi aktivitas seismik, namun praktik terbaik hanya 5% kemungkinannya. Berdasarkan praktik terbaik di Amerika risiko kebocoran maksimum hanya 6,3%.³⁶

Berdasarkan Laporan Intergovernmental Panel of Climate Change (selanjutnya disingkat: IPCC), bahwa pengangkutan karbon dioksida melalui pipa berisiko kebocoran, akan tetapi angka kecelakaan per kilometer pipa sangat rendah dan sebanding dengan angka kecelakaan pada pipa hidrokarbon. Untuk itu hanya perlu secara cermat memilih rute. Sepanjang pemilihan rute pengangkutan dan lokasi penyimpanan tepat, program pemantauan untuk mendeteksi masalah tepat, sistem remediasi untuk menghentikan jika terjadi pelepasan karbon dioksida juga tepat, maka risikonya sebanding dengan risiko penyimpanan gas alam.³⁷

Praktik terbaik di Amerika Serikat membuktikan bahwa telah terdapat kepastian ilmiah untuk menjamin keamanan teknologi CCS. Risiko-risiko dapat dideteksi dan dapat direkomendasikan pencegahan dan penanggulangannya, bila risiko terjadi. Tidak ada laporan adanya risiko kerusakan yang tak terpulihkan dari praktik. Berdasarkan praktik terbaik di Amerika tidak cukup untuk menimbulkan keraguan, dan tidak cukup alasan untuk mengklaim adanya ketidakpastian ilmiah. Dengan demikian sepanjang kajian ilmiah dan analisis mengenai dampak lingkungan proyek penangkapan dan penyimpanan karbon

³⁶ Grace Parker, "Carbon Capture, Storage: History, Current State, and Obstacles for the Future," *Environmental Law Institute Blog*, Washington, DC, 2022, 1-2.

³⁷ Metz et al., *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage* (Cambridge: Cambridge University Press, 2005), 12.

dioksida telah dinilai layak lingkungan secara obyektif, maka pemerintah tidak cukup alasan untuk menolak izin dan/atau persetujuan lingkungan atas proyek tersebut.

Berdasarkan rumusan prinsip kehati-hatian, sebagai bentuk implementasi, negara wajib menolak izin proyek pengangkutan dan penyimpanan karbon di dalam tanah dan di dasar laut yang diajukan, apabila tidak terdapat teknologi untuk memastikan keamanan, dan/atau belum tersedia teknologi yang mampu mendeteksi risiko bahaya lingkungan. Sebaliknya pemerintah dapat menerima permohonan tersebut, apabila secara ilmiah teknologi pengangkutan dan penyimpanan karbon pada praktik terbaik telah terbukti aman. Namun demikian perlu ditegaskan kembali bahwa meskipun dalam kerangka prinsip kehati-hatian kebijakan penerapan teknologi pengangkutan dan penyimpanan karbon dimungkinkan, kebijakan tetap harus memperhatikan kajian ilmiah dalam tataran proyek (Amdal) yang berkualitas dan obyektif, sebelum proyek diizinkan dan dijalankan. Selain itu penanggungjawab proyek harus memiliki kapasitas dan kredibilitas yang telah terbukti dan memiliki rekam jejak yang baik terkait perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.

Meskipun di luar konteks implementasi prinsip kehati-hatian, hati-hati di dalam analisis dan penilaian kajian ilmiah proyek pengangkutan dan penyimpanan karbon, penting untuk diperhatikan. Dalam maksud keahlian para penyusun dan tim penilai amdal harus benar-benar terjamin, keahlian, pengalaman, ketelitian dan keakuratannya. Pemerintah akan dianggap tidak hati-hati apabila mengangkat tim penilai amdal hanya dari ahli yang pro pemerintah dan pro proyek. Untuk itu diperlukan keterbukaan dan kesungguhan dari pemerintah. Untuk memastikan proyek pengangkutan dan penyimpanan karbon di Indonesia mendapati praktik terbaiknya, maka pemerintah wajib taat pada prinsip-prinsip *good governance*. Pemerintah tidak boleh tergiur pada besaran investasi, namun aspek kesehatan, keselamatan, dan lingkungan hidup untuk generasi saat ini dan generasi masa yang akan datang tidak boleh dipertaruhkan.

Misi pembangunan berkelanjutan, teknologi CCS merupakan salah satu kemajuan yang mendukung pencapaiannya. Teknologi CCS merupakan salah satu teknologi yang mampu mengatasi permasalahan perubahan iklim. Teknologi CCS mampu mengatasi dampak negatif industri terkait masalah perubahan iklim, karena karbon dioksida yang dihasilkan industri yang menggunakan bahan bakar berbasis fosil dapat dikendalikan melalui proses penangkapan dan penyimpanan. Sebagaimana telah disampaikan di atas, teknologi CCS akan menangkap emisi karbon yang dihasilkan industri, kemudian dipisahkan, diangkut, dan disimpan melalui proses penyuntikan ke dalam tanah akuifer garam, atau formasi batuan sedimentasi, atau ruang minyak atau gas yang sudah habis. Dengan berhasil disimpannya karbon dioksida pada tempat yang aman, pada masa yang akan datang keberadaan karbon dioksida pada ruang udara akan lebih terkendali. Dengan demikian pemerintah akan dapat segera mewujudkan NDC Indonesia, dan *net zero emissions* pada tahun 2060 akan dapat diwujudkan.

Aspek penting yang harus dicermati secara hati-hati selain aspek-aspek di atas adalah bahwa, implementasi teknologi CCS bisa menjadi *boomerang* bila disikapi oleh industri tidak secara positif. Budaya produk bersih yang telah dibangun akan sia-sia apabila masyarakat industri tidak lagi merasa berkewajiban untuk membangun proses emisi bersih dan produk bersih. Untuk itu kampanye proses bersih, produk bersih harus terus diupayakan. Insentif dan disinsentif terkait hal tersebut harus terus diupayakan dan dikembangkan. Kapasitas penyimpanan karbon meskipun besar namun terbatas dan tidak dapat diperbaharui, untuk itu penghematan kapasitas ruang tempat penyimpanan karbon harus tetap diupayakan.

Teknologi CCS dalam konteks pembangunan keberlanjutan telah memenuhi pilar keberlanjutan secara ekologi. Analisis di atas membuktikan teknologi tersebut sangat membantu upaya-upaya pelestarian fungsi lingkungan hidup lokal dan global. Pada tataran keberlanjutan secara ekonomi, teknologi tersebut akan mendatangkan investasi yang sangat besar. Karbon yang berhasil ditangkap dan disimpan dapat di jual pada pasar karbon. Indonesia memiliki potensi penyimpanan sebesar 577, 62 giga ton. Nilai 1 ton karbon pada pasar karbon saat ini mencapai 60\$/ton, maka nilai penyimpanan mencapai 34,620 triliun dolar lebih. Nilai yang sangat besar untuk diusahakan oleh para investor. Setidak-tidaknya di Indonesia akan tumbuh investasi dibidang pemisahan dan penangkapan karbon, pengangkutan karbon, dan penyimpanan karbon. Pendapatan nasional akan bertambah dari pajak redistribusi, dan tentunya akan menjadi stimulus pertumbuhan ekonomi nasional.

Penyerapan tenaga kerja dari industri pemisahan dan penangkapan karbon, pengangkutan karbon dan penyimpanan karbon berdampak positif pada kesejahteraan masyarakat. Kesejahteraan tenaga kerja akan berdampak sistemik pada kesejahteraan masyarakat sekitarnya.³⁸ Penghasilan yang memadai akan meningkatkan kemampuan beli karyawan, sehingga akan menghidupkan roda ekonomi sekitar. Akan tumbuh warung-warung dan kaki lima penjual kebutuhan sandang, pangan bahkan papan. Belum lagi keberadaan tenaga kerja perusahaan *supplier* penyedia kebutuhan bahan baku industri pemisahan dan penangkapan karbon, pengangkutan karbon dan penyimpanan karbon. Mereka akan turut membantu meningkatkan kesejahteraan masyarakat sekitar masing-masing. Kondisi yang akan terwujud sehubungan investasi industri pemisahan dan penangkapan karbon, pengangkutan karbon, dan penyimpanan karbon sebagaimana disampaikan, merupakan analisis keberlanjutan aspek sosial.³⁹

³⁸ Rafan Darodjat dan Irfan Maulana, "Resolusi Konflik Pekerja-Pengusaha melalui Adanya Kepemilikan Saham Serikat Pekerja," *Focus: Jurnal Pekerjaan Sosial* 6, no. 2 (2023): 358–365, <https://doi.org/10.24198/focus.v6i2.52820>.

³⁹ Imamulhadi, et al., "Penyelesaian Sengketa Tenurial Lahan Hutan di Luar Pengadilan untuk Investasi Berkelanjutan," Fakultas Hukum Universitas Padjadjaran, 2024, 7–12.

PENUTUP

Simpulan

Secara konseptual rencana implementasi teknologi CCS di Indonesia berdasarkan Peraturan Presiden No. 14 Tahun 2024 tentang Penyelenggaraan Kegiatan Penangkapan dan Penyimpanan Karbon, tidak bertentangan dengan Undang-Undang Pengesahan Protokol Kyoto, Undang-Undang Pengesahan Paris Agreement, dan Undang-Undang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Rencana tersebut bahkan merupakan salah satu instrumen mitigasi dan adaptasi perubahan iklim. Namun demikian terdapat kendala hukum terkait rencana penyimpanan karbon yang berasal dari luar wilayah Indonesia. Apabila karbon adalah limbah, maka karbon dilarang didatangkan dari luar wilayah Indonesia menurut Pasal 69 huruf c Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

Risiko CCS tidak menunjukkan adanya ancaman serius, serta tidak berada dalam kondisi ketidakpastian ilmiah yang signifikan sebagaimana disyaratkan untuk mengaktifkan asas kehati-hatian menurut Prinsip 15 Deklarasi Rio dan Undang-Undang No. 32 Tahun 2009. Risiko teknologi ini sebanding dengan risiko penyimpanan gas alam, yaitu meliputi potensi kebocoran melalui sumur lama, gangguan stabilitas geologi akibat tekanan injeksi, dan migrasi fluida bawah tanah. Namun, risiko tersebut telah teridentifikasi, terukur, dan dapat dikendalikan melalui seleksi lokasi yang tepat, pengujian integritas sumur, serta sistem monitoring dan remediasi berkelanjutan. Oleh karena itu, dalam perspektif komitmen global Indonesia terhadap mitigasi perubahan iklim, penerapan CCS tetap sejalan dengan asas kehati-hatian sepanjang dilaksanakan dengan pengawasan yang ketat.

Saran

Untuk mengatasi kendala regulasi implementasi CCS di Indonesia, pengaturannya harus oleh peraturan setingkat undang-undang. Terkait kehati-hatian, ahli dalam penyusunan dan penilaian amdal pada proyek pemisahan, penangkapan, pengangkutan, dan penyimpanan, harus dipastikan kapasitas dan integritasnya. Amdal yang mendasari izin/persetujuan lingkungan jangan sampai hanya sebatas formalitas. Selain itu pemerintah harus tetap terus mengembangkan instrument insentif dan disinsentif untuk proses bersih dan produk bersih.

DAFTAR PUSTAKA

Buku

Brundtland, Harlem, et al. *Our Common Future*. United Nations World Commission on Environment and Development, 1987.

Darodjat, Rafan, dan Deviana Yuanitasari. *Suatu Pengenalan: Hukum Ekonomi*. Jambi: Darbooks Media Group.

Idris. *Perkembangan Hukum Lingkungan Internasional (Bagian 1)*. Bandung: Unpad Press, 2011.

Imamulhadi. *Pokok-Pokok Hukum Lingkungan*. Bandung: Unpad Press, 2016.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

Metz, Bert, et al. *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

Wallace-Wells, David. *Bumi yang Tak Dapat Dihuni*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka, 2019.

Jurnal

Angga, La Ode. "Makna Prinsip Kehati-Hatian dalam Peraturan Daerah Rencana Tata Ruang Wilayah Berbasis Keberlanjutan Lingkungan Hidup di Maluku." 24, no. 2 (2017).

Bachu, S. "Sequestration of CO₂ in Geological Media: Criteria and Assessment Methods for Site Selection and Characterization." *Energy Conversion and Management* 44, no. 15 (2003).

Buck, H. J., et al. "Evaluating the Use of Carbon Capture and Storage in Low-Carbon Scenarios." *Nature Climate Change* 14 (2024).

Bui, M., et al. "Carbon Capture and Storage (CCS): The Way Forward." *Energy & Environmental Science* 11, no. 5 (2018).

Cook, N. "The Gorgon Carbon Dioxide Injection Project." *APPEA Journal* 59 (2019).

Darodjat, Rafan, dan Irfan Maulana. "Resolusi Konflik Pekerja–Pengusaha melalui Kepemilikan Saham Serikat Pekerja." *Focus: Jurnal Pekerjaan Sosial* 6, no. 2 (2023): 358–365. <https://doi.org/10.24198/focus.v6i2.52820>.

Dubel, R. K., dan G. S. Rao. "Extreme Weather Events over India in the Last 100 Years." *Journal of India Geographers Union* 9, no. 3 (2005).

Farihah, Liza, dan Femi Anggraeni. "Prinsip Kehati-hatian dan Kerugian Potensial dalam Perkara Tata Usaha Negara Terkait Lingkungan Hidup." *Jurnal Yudisial* 5, no. 3 (2012).

Feron, J., dan P. Burnard. "Global Status of CCS 2020." *Global CCS Institute Report* (2020).

Garbe, Julius, et al. "The Evolution of Future Antarctic Surface Melt Using PISM-dEBM-Simple." *The Cryosphere* 17, no. 1 (2023): 4571–4572. <https://doi.org/10.5194/tc-17-4571-2023>.

Griffiths, S. G., et al. "Industrial Decarbonization via Dash for Gas: A Job Creation and Economic Growth Perspective." *Applied Energy* 312 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118745>.

Harsono, Nur Alif, dan Kresensia Bangun. "Perkembangan Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia Dilihat dari Aspek Ekonomi di Indonesia." *Lakar Jurnal Arsitektur* 3, no. 2 (2020).

Hassan, Najmaldin Ezaldin. "Global Warming: Causes, Impacts and Urgent Strategies for a Sustainable Future: A Review." *GSC Advanced Research and Reviews* 20, no. 3 (2024): 73. <https://doi.org/10.30574/gscarr.2024.20.3.0338>.

Hepburn, C., et al. "The Technological and Economic Prospects for CO₂ Utilization and Removal." *Nature* 575, no. 7781 (2019).

Imamulhadi. "Perkembangan Prinsip Strict Liability dan Precautionary dalam Penyelesaian Sengketa Lingkungan Hidup di Pengadilan." *Mimbar Hukum* 25, no. 3 (2013).

- Imamulhadi, et al. "Penyelesaian Sengketa Tenurial Lahan Hutan di Luar Pengadilan untuk Investasi Berkelanjutan." Fakultas Hukum Universitas Padjadjaran, 2024.
- Massumi, Brian. "Preemption Today." *Johns Hopkins University Press* 28, no. 2 (2025): 161. <https://doi.org/10.1353/tae.2025.a956273>.
- Masripatin, Nur. "Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries." *Warta Tenure* (2013).
- Nugraha, Arvin Astra, et al. "Peran Hukum Lingkungan dalam Mencegah Kerusakan dan Pencemaran Lingkungan Hidup." *Jurnal Hukum Tora* 7, no. 2 (2021).
- Permana, Meiki. "Analisis Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia." *Jurnal Manajemen dan Ekonomi Bisnis* 2 (2018).
- Prakoso, S. G., et al. "The Importance of Politics on Precautionary Principles' Implementation in the Environmental Sector." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (2021): 2. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/905/1/012005>.
- Rubin, E. S., et al. "The Cost of CO2 Capture and Storage." *International Journal of Greenhouse Gas Control* 40 (2015).
- Santer, B. D., et al. "Detection of Climate Change and Attribution of Causes." Dalam *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*, diedit oleh J. T. Houghton et al., 407–412. 1996.
- Sondakh, Stephanie Ruriko. "Kebijakan Tradable Permit dalam Upaya Mengatasi Kelangkaan Air di Indonesia." *Bina Hukum Lingkungan* 9, no. 1 (2024). <https://doi.org/10.24970/bhl.v9i1.284>.
- Sullivan, P. J., et al. "Employment Impacts of Carbon Capture and Storage: A Review and Multi-Model Analysis." *Energy Policy* 162 (2022).
- Wilberforce, Tabbi, et al. "Outlook of Carbon Capture Technology and Challenges." *Science of the Total Environment* 657 (2019): 57. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.424>.

Paraturan Perundang-undangan

- Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945
- Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1990 tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya.
- Undang-Undang Nomor 6 Tahun 1994 tentang Pengesahan *United Nations Framework Convention on Climate Change*.
- Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2004 tentang Pengesahan *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*.
- Undang-Undang Nomor 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan.
- Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang.
- Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2013 tentang Pencegahan dan Pemberantasan Perusakan Hutan.

Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan *Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change*.

Peraturan Presiden Nomor 46 Tahun 2008 tentang Dewan Nasional Perubahan Iklim.

Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon.

Peraturan Presiden Nomor 14 Tahun 2024 tentang Penyelenggaraan Kegiatan Penangkapan dan Penyimpanan Karbon.

Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 2 Tahun 2023 tentang Penyelenggaraan Penangkapan dan Penyimpanan Karbon serta Pemanfaatan dan Penyimpanan Karbon pada Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi.

Sumber Lain

Genre, Ines. "What Is Clean Development?" *Greenly*. Diakses 20 Mei 2024. <https://greenly.earth/en-us/blog/company-guide/what-is-the-clean-development-mechanism>.

Iqbal, Muhamad. "Apa Itu REDD+? Pengertian, Sejarah, Implementasi, hingga Perkembangannya di Indonesia." *LindungiHutan*, 2024. Diakses 20 Mei 2024. <https://lindungihutan.com/blog/pengertian-redd-adalah/>.

Indonesia Commodity & Derivatives Exchange (ICDX). "Apa yang Dimaksud dengan Perdagangan Karbon." 27 Agustus 2021. Diakses 19 Mei 2024. <http://www.icdx.co.id/news-detail/publication/apa-yang-dimaksud-dengan-perdagangan-karbon>.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). "What Is the United Nations Framework Convention on Climate Change?" Diakses 16 Mei 2024. <https://unfccc.int/process-and-meetings/what-is-the-united-nations-framework-convention-on-climate-change>.