

# Penangkapan, Pemanfaatan, dan Penyimpanan Karbon

Buku Panduan untuk Para  
Pembuat Kebijakan



## Kata Sambutan dari *Secretary Raimondo*

Perubahan iklim merupakan tantangan global dan perlu mendapat perhatian serius. Amerika Serikat telah menghadapi dan berhasil melalui tantangan ini. Dalam Perintah Eksekutif 14008, Administrasi Biden-Harris mengakui bahwa sekaranglah saatnya untuk bertindak untuk menghindari dampak terburuk dari krisis iklim dan menangkap peluang yang ada dalam penanganan perubahan iklim. Departemen Perdagangan Amerika Serikat adalah salah satu bagian dari upaya bersama yang bersifat kolaboratif dan koordinatif pemerintah untuk menangani masalah iklim dan memastikan proses transisi yang cepat dan terbuka menuju masa depan yang sejahtera, berkelanjutan, dan dengan tingkat karbon yang lebih rendah.

Selain melaksanakan upaya mitigasi penuh, Administrasi Biden-Harris telah mengindikasikan bahwa untuk mencapai target iklim global diperlukan penerapan teknologi penangkapan, pemanfaatan, dan penyimpanan karbon (*carbon capture, utilization, and storage* [CCUS]) dan penghapusan karbon dioksida (*carbon dioxide removal* [CDR]). CCUS memiliki peran yang sangat penting dalam sektor industri di mana masalah emisi perlu ditangani. Hal yang sama, CDR dapat membantu dalam menghilangkan karbon dioksida dari udara ambien. Amerika Serikat dan para mitranya sekarang sedang bekerja membantu beberapa negara di berbagai belahan dunia untuk mengadopsi kebijakan CCUS, memobilisasi pembiayaan iklim, menerapkan teknologi dan praktik CCUS, dan mereformasi peraturan perundang-undangan untuk menarik para investor CCUS yang bertanggung jawab.

Di Departemen Perdagangan Amerika Serikat, Program Pengembangan Hukum Perdagangan (*Commercial Law Development Program* [CLDP]) dari Kantor Penasihat Umum (*Office of the General Counsel*) telah membantu sejumlah negara dalam memutakhirkan peraturan perundang-undangan negara-

negara yang bersangkutan untuk bidang perdagangan selama lebih dari 30 tahun. Saat ini, dengan dana dan dukungan dari Biro Sumber Daya Energi (*Bureau of Energy Resources* [ENR]) Departemen Luar Negeri Amerika Serikat, CLDP telah menyusun panduan yang dirancang khusus, dapat diakses, dan gratis untuk para pembuat kebijakan dan regulator mengenai bagaimana mempercepat terwujudnya investasi di bidang penangkapan emisi karbon dioksida agar dapat dimanfaatkan atau disimpan secara permanen.

Dalam mengembangkan buku panduan ini, CLDP telah mengadakan pertemuan dengan sekelompok pakar mengenai CCUS yang berasal dari Pemerintah AS, institusi multilateral, organisasi non-pemerintah, industri, dan akademisi. Para penulis dan pendukung buku panduan ini secara bersama-sama telah meluangkan banyak waktu mereka untuk penulisan buku panduan ini. Hasilnya berupa sebuah panduan yang dapat digunakan oleh para legislator, pejabat kementerian, dan regulator di seluruh dunia saat ini untuk merancang, mengadopsi, dan melaksanakan peraturan perundang-undangan baru yang akan dapat mempercepat pelaksanaan CCUS.

Buku panduan ini juga memperluas cakupan seri yang dikembangkan oleh CLDP. Seri ini dimulai dengan panduan yang berjudul *Understanding Power* yang disponsori oleh *Power Africa*: sebuah sumber terbuka dan perpustakaan pengetahuan buku panduan yang ditulis dalam bahasa sederhana yang menjelaskan berbagai topik penting dalam kontrak proyek listrik, pembiayaan, dan pengadaan. Bekerja sama dengan ENR, seri tersebut berlanjut dengan panduan-panduan dekarbonisasi baru. Panduan pertama dekarbonisasi baru tersebut adalah pengurangan metana dari minyak dan gas. Buku-buku panduan ini membantu mempromosikan tujuan-tujuan perdagangan teknologi bersih dan iklim dan Departemen Perdagangan dan Departemen Luar Negeri Amerika Serikat selain mendukung pencapaian tujuan-tujuan iklim global.

Saya sangat berterima kasih kepada CLDP, para penulis, sponsor, dan pendukung yang telah mengembangkan kontribusi penting ini sebagai upaya kolektif kita untuk menangkap peluang. Dengan bekerja sama, kita dapat mengatasi krisis iklim, mengembangkan solusi kreatif, dan mampu menghadapi tantangan.

A handwritten signature in blue ink that reads "Gina Raimondo". The signature is fluid and cursive, with the first name "Gina" and last name "Raimondo" clearly distinguishable.

Gina M. Raimondo

*U.S. Secretary of Commerce*

# D A F T A R I S I

<b>PEDOMAN BUKU PANDUAN</b>	<b>8</b>
-----------------------------	----------

<b>RINGKASAN EKSEKUTIF</b>	<b>15</b>
----------------------------	-----------

<b>1. MENGAPA KARBON?</b>	<b>20</b>
---------------------------	-----------

CO <sub>2</sub> dan Kontribusinya terhadap Perubahan Iklim	21
Pendekatan Mitigasi Perubahan Iklim	24
Apa Itu CCUS?	25

<b>2. APA ITU PENANGKAPAN, PENGANGKUTAN, PEMANFAATAN, DAN PENYIMPANAN KARBON?</b>	<b>29</b>
---	-----------

Pengantar	30
Penangkapan	32
Pengangkutan	36
Penyimpanan	38
Pemanfaatan	41
Pertimbangan Lintas Sektoral	43

<b>3. PARTISIPASI PROYEK CCUS</b>	<b>46</b>
-----------------------------------	-----------

Pengantar	47
Pemain-pemain Kunci	53
Pengembangan Kapasitas: Fokus Masyarakat	59

<b>4. PENGEMBANGAN KAPASITAS</b>	<b>66</b>
Pengantar	67
Kebutuhan Tenaga Kerja CCUS	68
Mengembangkan Tenaga Kerja CCUS	70
Penelitian, Pengembangan, dan Penerapan	77
<b>5. PETA JALAN UNTUK MENGEMBANGKAN KERANGKA HUKUM DAN REGULASI</b>	<b>87</b>
Pengantar	88
Peta Jalan Pengembangan Kerangka	89
<b>6. SUMBER DAYA DAN TANGGUNG JAWAB ATAS KERANGKA</b>	<b>96</b>
Pengantar	97
Standar-standar Internasional	98
Kerangka Perintis	101
Konvensi-konvensi Internasional	104
<b>7. KERANGKA KHUSUS PROYEK</b>	<b>111</b>
Pengantar	112
Praktik-praktik Terbaik untuk Kerangka Khusus Proyek	119
<b>8. KEUANGAN DAN INSENTIF</b>	<b>123</b>
Pengantar	124
Keekonomian Proyek CCUS	127
<i>Bankability</i> dan Pengurangan Risiko Finansial CCUS	128

Pinjaman dan Jaminan Keuangan	138
Pasar untuk Produk Rendah Karbon	139
Konsekuensi yang Tidak Diinginkan	139
Pendorong Eksternal	140

---

<b>9. SUMBER DAYA TAMBAHAN</b>	<b>144</b>
--------------------------------	------------

---

<b>AKRONIM</b>	<b>151</b>
----------------	------------

---

<b>GLOSARIUM</b>	<b>156</b>
------------------	------------

---

<b>CATATAN</b>	<b>164</b>
----------------	------------

---

<b>KOLOFON</b>	<b>176</b>
----------------	------------

---

# Pedoman Buku Panduan

---



## Untuk Siapa Buku ini Ditujukan?

Masyarakat internasional telah berkomitmen untuk mengurangi emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dari sektor perminyakan, listrik, manufaktur, dan sektor-sektor padat emisi lainnya untuk mencapai tujuan-tujuan perubahan iklim dan meningkatkan keamanan ekonomi dan energi. Namun, masih banyak negara yang belum memahami bagaimana mencapai tujuan-tujuan tersebut, khususnya melalui penggunaan dan penerapan Penangkapan, Pemanfaatan, dan Penyimpanan Karbon (CCUS). Buku panduan ini dimaksudkan untuk memperkenalkan kepada para pejabat pemerintah tentang berbagai pilihan mengenai CCUS dan memberikan panduan dalam perancangan dan penerapan kerangka hukum dan regulasi yang akan membantu mewujudkan investasi swasta yang berkelanjutan pada proyek CCUS, dengan mengambil berbagai pelajaran yang dapat dipetik dari berbagai skema regulasi yang diterapkan di berbagai negara. Para pembuat kebijakan dan regulator dari negara-negara berkembang, termasuk negara-negara di Asia,<sup>1</sup> yang mempertimbangkan atau secara aktif mengupayakan setiap bagian dari rantai nilai CCUS dapat memperoleh manfaat dari buku panduan ini.

## Ruang Lingkup Buku Ini?

Buku panduan ini menyediakan informasi yang dapat digunakan untuk mendukung para pembuat kebijakan dalam mengembangkan dan mengimplementasikan kebijakan dan regulasi CCUS yang efektif. Buku panduan ini menjelaskan berbagai teknologi, kerangka kebijakan dan hukum/regulasi, dan keikutsertaan di semua rantai nilai CCUS. Buku panduan ini mengulas beberapa teknologi CCUS spesifik secara mendalam dan menyoroti poin-poin penting pada topik-topik lain. Buku panduan ini tidak dimaksudkan untuk mendukung secara publik sejumlah kebijakan CCUS tertentu, namun buku panduan ini

memberikan gambaran umum tentang berbagai opsi yang dapat dipertimbangkan.

## Siapa yang Menulis Buku ini?

Para penulis buku panduan ini adalah para praktisi di sektor energi, termasuk pejabat pemerintah, insinyur, pakar kebijakan publik, advokat, dan akademisi. Buku panduan ini berupaya menghimpun berbagai pengalaman praktis kolektif dan pengetahuan termutakhir dari para penulis. Namun, buku ini tidak mewakili posisi kebijakan organisasi, lembaga, negara, dan/atau perusahaan yang berafiliasi atau telah berafiliasi dengan masing-masing penulis. Untuk berbagai pandangan tersebut, silakan rujuk publikasi dan situs web dari masing-masing organisasi, lembaga, negara, dan/atau perusahaan tersebut.

Mengatasi krisis iklim merupakan isu yang sangat penting di banyak negara. Banyak pakar dan organisasi mengindikasikan bahwa proses kunci dalam memitigasi emisi CO<sub>2</sub> dan efek gas rumah kaca terkait yang ditimbulkannya adalah melalui penggunaan CCUS. Para penulis berharap buku panduan ini akan dapat mendorong pengembangan dan implementasi kebijakan dan regulasi mengenai CCUS dan dapat berkontribusi dalam menurunkan emisi karbon dioksida yang berasal dari sektor-sektor yang sulit diturunkan.

## Bagaimana Buku Ini Dikembangkan?

Buku panduan ini diproduksi dengan menggunakan metode *Book Sprints* ([www.booksprints.net](http://www.booksprints.net)), yang memungkinkan proses penyusunan, pengeditan, dan penerbitan produk yang lengkap dapat dilakukan hanya dalam waktu lima hari.

Para penulis sangat berterima kasih kepada para fasilitator *Book Sprint*, Barbara Rühling dan Anna Roxas, atas kesabarannya dalam membimbing dan kepemimpinan mereka yang kuat selama

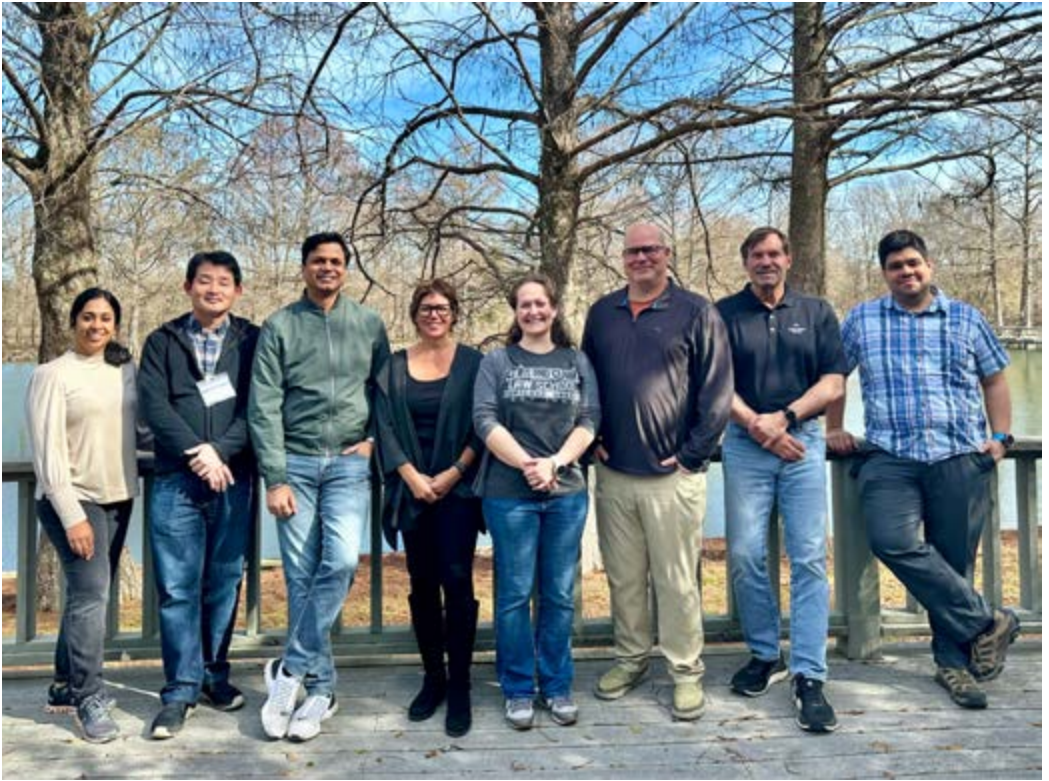
proses penyusunannya yang memerlukan waktu hampir 75 jam. Para penulis juga berterima kasih kepada Henrik van Leeuwen dan Lennart Wolfert yang telah membantu dalam mengubah beberapa coretan mentah kami menjadi serangkaian gambar ilustrasi yang indah dan bermakna, dan Agathe Baëz yang telah mendesain buku ini. Kami juga ingin menyampaikan penghargaan atas pekerjaan yang tidak mengenal lelah para penyunting naskah *Book Sprints*, Raewyn Whyte dan Christine Davis.

Para penulis menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada masing-masing individu dan lembaga berikut yang telah membantu memfokuskan dialog yang bertujuan membangun konsensus seputar potensi buku panduan ini: Biro Sumber Daya Energi, Departemen Luar Negeri Amerika Serikat; dan Stephen Gardner dan Kenyon Weaver (Program Pengembangan Hukum Perdagangan, Departemen Perdagangan Amerika Serikat). Para penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan selama proses penyusunan buku panduan ini. Mereka adalah Ian Havercroft dari Global CCS Institute; Tim Dixon dari IEAGHG; Savita Bowman dari ClearPath; Dr. Sallie Greenberg; Dr. Sean Brennan dari Geological Survey A.S.; Alec Mullee dan William Bates dari Environmental Protection Agency A.S.; Toby Lockwood dari Clean Air Task Force; Dr. Udayan Singh; Isabella Corpora dari Carbon Business Council; Dr. Owain Tucker dari Shell International Petroleum Company Ltd.; Dr. Susan Hovorka dari Bureau of Economy Geology University of Texas di Austin; CLIMIT; Macey Mayes; Tara Wildlife (tempat *Book Sprint*); dan keluarga kami. Selain itu, perencanaan dan pengembangan yang matang telah berhasil mewujudkan konsep penyusunan buku panduan ini. Para penulis juga mengucapkan terima kasih atas dukungan sponsor dari Program Tata Kelola Energi dan Mineral (*Energy and Mineral Governance Program [EMGP]*) Biro Sumber Daya Energi Departemen Luar Negeri Amerika Serikat, yang telah mendanai sepenuhnya penyusunan buku ini.

## Bagaimana Saya Dapat Menggunakan Buku Ini?

Dalam tradisi berbagi pengetahuan dengan sumber terbuka, buku panduan ini dimaksudkan untuk merefleksikan sifat dinamis proses *Book Sprint* dan berfungsi sebagai rujukan dan titik awal untuk diskusi dan pengembangan ilmu pengetahuan lebih lanjut. Buku ini diterbitkan berdasarkan ketentuan Lisensi *Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International* (CC BY NO SA). Dalam memilih lisensi publikasi ini, siapa pun diperbolehkan untuk menyalin, merangkum, mengerjakan kembali, menerjemahkan, dan menggunakan kembali teks untuk tujuan non-komersial tanpa perlu meminta izin dari para penulis, selama hasil pekerjaan tersebut juga diterbitkan berdasarkan ketentuan Lisensi *Creative Commons*. Buku panduan ini pada awalnya diterbitkan dalam bahasa Inggris. Terjemahan buku ini akan menyusul segera. Terjemahan tersedia dalam format elektronik di <https://cldp.doc.gov/resources> dan dalam format cetak. Selain itu, buku panduan ini dapat digunakan sebagai sumber daya interaktif dalam jaringan. Banyak dari para penulis yang telah berkontribusi juga berkomitmen untuk bekerja di institusi mereka masing-masing untuk menyesuaikan sumber daya ini untuk digunakan sebagai rujukan bahan pelatihan dan inisiatif bantuan teknis.

Hormat kami,  
Para Penulis



Para penulis selama *Book Sprint*.  
Dari kiri ke kanan: Priya, Atsumasa, Vikram, Pamela, Ingvild, George,  
Richard, dan José

**Vikram Vishal, Ph.D.**  
*National Centre of Excellence  
in CCU  
Indian Institute of Technology,  
Bombay  
UrjanovaC Private Limited  
(India)*

**Atsumasa Sakai**  
*Asian Development Bank  
(Filipina)*

**Priya Prasad**  
*Commercial Law Development  
Program  
U.S. Department of Commerce  
(Amerika Serikat)*

**José Benítez Torres**  
*Office of Fossil Energy and Carbon  
Management  
U.S. Department of Energy  
(Amerika Serikat)*

**Ingvild Ombudstvedt**  
*IOM Law  
(Norwegia)*

**Richard Esposito, Ph.D.**  
*Southern Company  
U.S. National Carbon Capture Center  
(Amerika Serikat)*

**George Koperna**  
*Advanced Resources  
International, Inc.  
(Amerika Serikat)*

**Pamela Tomski**  
*ENTECH Strategies, LLC  
Research Experience in Carbon  
Sequestration (RECS)  
(Amerika Serikat)*

# Ringkasan Eksekutif

---

Menangkap emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) akan menjadi cara yang sangat penting dalam mengatasi perubahan iklim. Oleh karena itu, berbagai negara mulai berupaya untuk segera mempercepat terwujudnya investasi di sektor CCUS: Penangkapan, Pemanfaatan, dan Penyimpanan Karbon. CCUS telah berhasil diwujudkan pada skala komersial. Tantangan yang dihadapi saat ini adalah bagaimana mempercepat terwujudnya investasi yang cukup di sektor CCUS, khususnya di sektor industri di mana emisi sulit untuk dikurangi. Negara-negara berkembang sangat siap untuk memanfaatkan investasi di sektor CCUS, yang akan menerima manfaat dari adanya investasi lintas negara dan berbiaya rendah.

Buku panduan ini merupakan pedoman bagi para pembuat kebijakan tentang bagaimana membuat kebijakan, undang-undang, dan peraturan yang akan berhasil menarik para investor swasta yang bertanggung jawab untuk menanamkan modalnya pada proyek-proyek CCUS. Kami mendefinisikan kumpulan kebijakan, undang-undang, dan peraturan suatu negara yang mengatur perihal investasi pada suatu proyek sebagai "kerangka". Karbon dioksida telah disimpan secara komersial selama hampir 30 tahun. Banyak negara sudah memiliki kebijakan, undang-undang, dan peraturan yang telah lama berjalan dan teruji waktu yang mengatur sektor minyak dan gas, dan akan sering melihat pada sektor minyak dan gas di negara masing-masing sebagai sumber panduan mengenai kebijakan, undang-undang, dan peraturan yang mengatur CCUS. Namun, CCUS memiliki pertimbangannya sendiri seputar penciptaan nilai, teknologi, keikutsertaan masyarakat, pengembangan kapasitas, risiko, dan sanksi finansial dan insentif. Hal ini menciptakan tantangan bagi para pembuat kebijakan yang bertanggung jawab menciptakan kerangka investasi bagi CCUS, dan mengancam akan memperlambat terwujudnya investasi yang diperlukan. Perusahaan-perusahaan yang siap untuk mengeluarkan modalnya dalam jumlah yang besar pada proyek



CCUS akan melihat kebijakan, undang-undang, dan peraturan suatu negara - kerangka CCUS domestiknya - dan akan memilih untuk berinvestasi di negara yang memiliki kerangka CCUS yang dapat diandalkan dibandingkan negara yang tidak memiliki kerangka CCUS yang dapat diandalkan.

CCUS terdiri dari berbagai komponen yang saling terkait: penangkapan, pengangkutan, pemanfaatan, penyimpanan. Setiap komponen tersebut memerlukan infrastruktur sendiri dan oleh karena itu memerlukan pertimbangan tata kelolanya sendiri. Komponen-komponen penangkapan karbon meliputi peralatan penangkapan di fasilitas industri, pembangkit listrik, dan fasilitas pemindahan. Setelah penangkapan, CO<sub>2</sub> terkadang harus dipindahkan ke lokasi penggunaan atau tempat penyimpanan. CO<sub>2</sub> dapat diangkut melalui jalur pipa, jalan rel, kapal laut/tongkang, dan truk ke fasilitas penyimpanan dan/atau pemanfaatan. Pemanfaatan berarti menggunakan CO<sub>2</sub> yang telah ditangkap yang menghasilkan pengurangan bersih emisi CO<sub>2</sub>. Fasilitas-fasilitas akan menyimpan CO<sub>2</sub> yang telah ditangkap di formasi geologi. Bab 2 menyajikan penjelasan yang terperinci mengenai CCUS.

Bagi para pembuat kebijakan yang akan membuat kerangka CCUS, panduan ini memberikan rekomendasi kepada para pembuat kebijakan untuk memastikan terlebih dahulu adanya proses yang memungkinkan keikutsertaan pemangku kepentingan dan pengembangan kapasitas. Kedua hal tersebut merupakan tema Bab 3 dan Bab 4. Untuk memastikan agar kerangka CCUS dapat berfungsi dalam waktu yang lama - dan proyek CCUS dapat dibangun tepat waktu dan sesuai anggaran - para pembuat kebijakan harus memastikan pemangku kepentingan ikut serta dalam proses pengembangan kerangka. Sebagaimana diuraikan dalam Bab 3, salah satu risiko yang sangat signifikan terhadap proyek CCSU baru adalah kurangnya koordinasi di antara para pelaku kunci di CCSU: pembuat kebijakan, regulator, pengembang proyek, dan publik/masyarakat setempat. Risiko

lainnya adalah kurangnya kapasitas di antara para pelaku kunci di CCUS. Bab 4 menguraikan secara rinci bagaimana para pembuat kebijakan dapat membangun kapasitas untuk setiap pelaku kunci: kapasitas pembuat kebijakan untuk membuat kerangka CCUS yang berfungsi lama, kapasitas regulator untuk melaksanakan aturan CCUS, kapasitas pengembang proyek untuk membangun proyek CCUS yang sesuai dengan aturan-aturan tersebut, dan kapasitas angkatan kerja setempat suatu negara untuk memenuhi kebutuhan proyek CCUS.

Dengan adanya keikutsertaan dan pengembangan kapasitas pemangku kepentingan, pemerintah siap untuk membuat kerangka CCUS. Bab 5 menjelaskan proses enam langkah dalam mewujudkan kerangka CCUS yang akan memenuhi harapan sektor publik dan swasta dan mempercepat terwujudnya investasi pada proyek infrastruktur penangkapan, pengangkutan, pemanfaatan, dan penyimpanan yang baru. Langkah pertama dimulai dengan membuat kebijakan (strategi) yang dinyatakan secara jelas yang menyatakan minat negara untuk melakukan investasi CCUS yang bertanggung jawab dan bagaimana kebijakan (strategi) tersebut melahirkan kerangka untuk investasi. Hal ini akan mendorong para pembuat kebijakan untuk menentukan apakah undang-undang dan peraturan perlu dibuat atau diubah untuk menarik para pengembang dan penyedia pembiayaan proyek CCUS baru.

Dalam membuat dan mengubah undang-undang dan peraturan tersebut, pembuat kebijakan tidak bekerja sendiri. Bab 6 menjelaskan bagaimana para pembuat kebijakan dapat memulai dengan terlebih dahulu memahami kewajiban-kewajibannya berdasarkan hukum internasional dan badan standar internasional yang ada untuk CCUS. Ada sejumlah konvensi internasional yang berlaku yang mewajibkan negara mengatur investasi CCUS secara domestik dan internasional. Selain itu, Organisasi Internasional untuk Standardisasi (*International Organization for Standardization* [ISO]) memiliki berbagai

standar yang terkait dengan CCUS dan standar-standar tersebut dapat menjadi sumber panduan regulasi yang bermanfaat bagi kerangka CCUS yang dapat mempercepat terwujudnya investasi yang bertanggung jawab.

Untuk meningkatkan investasi pada CCUS agar dapat mengatasi tantangan perubahan iklim tentu memerlukan dana. Oleh karena itu, sangatlah penting bagi para pembuat kebijakan untuk memahami keekonomian proyek CCSU, dan bagaimana pemerintah seharusnya memposisikan dirinya untuk menarik para investor yang dapat menyediakan pembiayaan yang bertanggung jawab. Bab 7 menjelaskan bagaimana proyek CCUS dapat "*bankable*": memenuhi syarat untuk memperoleh pinjaman dari lembaga keuangan dengan memperhatikan risiko yang melekat. Negara perlu mengembangkan kerangka hukum dan regulasi CCUS untuk memastikan penerapan teknologi CCUS yang aman. Kerangka CCUS akan menentukan apakah proyek CCUS *bankable* atau tidak, karena kebijakan, undang-undang, dan peraturan domestik negaralah yang akan menentukan risiko-risiko hukum bagi para pengembang dan pemberi pinjaman proyek.

Proyek CCUS kini menjadi tujuan bagi para investor besar. Lembaga, asosiasi, dan sumber daya baru kini hadir untuk para pembuat kebijakan dan pelaku kunci lain untuk membantu CCUS dalam mencapai hasil terbaiknya. Buku panduan ini ditutup dengan daftar sumber daya tambahan bagi para pembuat kebijakan, dan sebuah pengingat mengenai hal-hal yang masih perlu dilakukan.

# 1. Mengapa Karbon?

---

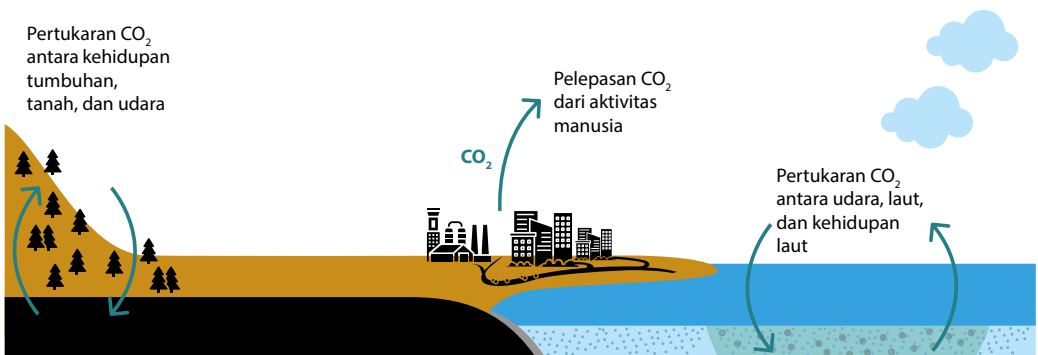
## Sejumlah Poin Penting

- Penangkapan, pemanfaatan, dan penyimpanan karbon (CCUS) diharapkan berperan penting dalam mengelola perubahan iklim.
- Meningkatkan CCUS juga memberikan manfaat pertumbuhan ekonomi yang penting: CCUS berpotensi menciptakan lapangan pekerjaan, mendorong terwujudnya inovasi, mendorong perdagangan, memonetisasi manufaktur produk rendah karbon, dan mempertahankan industri-industri yang ada saat ini melalui program-program dekarbonisasi.
- Perusahaan siap untuk berinvestasi, sebagaimana CCUS telah menunjukkan keberhasilan komersialnya selama beberapa dekade. Proyek CCUS komersial paling awal yang tidak memasukkan *enhanced oil recovery* (pengurasan/perolehan minyak tahap lanjut) dilakukan pada 1996, dan sejak itu proyek-proyek CCUS telah berkembang secara signifikan. Misalnya, di Tiongkok saja, ada tiga proyek yang telah beroperasi pada 2023.
- Oleh karena itu, tantangan utama bagi banyak negara adalah bagaimana menerapkan kebijakan, undang-undang, dan peraturan yang akan dapat mengundang para investor yang bertanggung jawab untuk berinvestasi di bidang CCUS.

## CO<sub>2</sub> dan Kontribusinya terhadap Perubahan Iklim

Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) adalah gas rumah kaca (*greenhouse gas* [GHG]) dan kontributor utama perubahan iklim. CO<sub>2</sub> adalah bagian dari siklus karbon alami. Aktivitas manusia, termasuk penggunaan bahan bakar fosil yang terus meningkat, berkontribusi terhadap peningkatan volume CO<sub>2</sub> di atmosfer yang tidak pernah terjadi sebelumnya (sebagaimana diilustrasikan

dalam Gambar 1.1 berikut), yang tidak dapat diserap oleh siklus karbon alami Karena CO<sub>2</sub> bertindak sebagai mekanisme penjemakan panas yang menyebabkan pemanasan global, penambahan CO<sub>2</sub> akan meningkatkan suhu global. Sebagai akibatnya, pengurangan dan penghapusan secara signifikan emisi CO<sub>2</sub> diperlukan untuk meminimalkan peningkatan suhu global dan memenuhi target iklim untuk membatasi kenaikan suhu global hingga 1,5°C.<sup>1</sup>



Gambar 1.1: Sumber-sumber karbon dioksida di atmosfer.

## Kebutuhan Energi Global dan Pendorong Mitigasi Iklim

Dalam beberapa dekade mendatang, aktivitas pembangunan di negara-negara berkembang akan secara signifikan meningkatkan konsumsi energi per kapita. Sebagai contoh, pada 2022, negara-negara di Asia telah menghasilkan lebih dari ~58 persen emisi CO<sub>2</sub> dunia.<sup>2</sup> Seiring berkembangnya negara-negara di Asia, emisi CO<sub>2</sub> dapat juga meningkat.

Menghadapi berbagai masalah terkait dengan perubahan iklim memerlukan transisi besar di sektor-sektor penggunaan energi, termasuk upaya mitigasi iklim, yang melibatkan pengurangan

aliran gas rumah kaca yang memerangkap panas (termasuk CO<sub>2</sub>) ke atmosfer. Ada beberapa pendorong upaya mitigasi iklim. Tujuan utamanya adalah perlunya mengurangi atau menghilangkan dampak-dampak iklim regional (misalnya, suhu tinggi/rendah dan pola cuaca). Hal-hal lain meliputi:

- Kebijakan-kebijakan domestik dan internasional untuk mencapai target emisi nol bersih sesuai dengan target iklim sebagaimana tertuang dalam Perjanjian Paris.<sup>3</sup>
- Mekanisme Penyesuaian Batas Karbon (*Carbon Border Adjustment Mechanism* [CBAM]) Uni Eropa menerapkan tarif CO<sub>2</sub> atas impor barang-barang tertentu yang berasal dari negara-negara di luar skema penetapan harga karbon.<sup>4</sup>
- Skema-skema insentif yang tersedia, seperti pasar karbon dan kredit pajak *leveraged*.
- Tuntutan masyarakat umum akan transparansi dan akuntabilitas terkait pengurangan emisi dan pelaporan.

Negara-negara berkembang, termasuk sejumlah negara di Asia, telah mengambil langkah untuk menghadapi berbagai isu terkait dengan perubahan iklim. Studi kasus berikut ini menyoroti langkah-langkah yang telah diambil di India.



## Agenda *Panchamrit* India Seputar Mitigasi Iklim<sup>5</sup>

India, yang telah meratifikasi Perjanjian Paris pada 2016, selanjutnya mengumumkan *Panchamrit*-nya, Agenda Lima Poin, untuk mengatasi perubahan iklim. Mengurangi emisi CO<sub>2</sub> adalah bagian kunci dari agenda tersebut. Diumumkan selama KTT iklim COP26 pada 2021, rencana tersebut meliputi langkah-langkah yang perlu diambil oleh negara untuk:

- Mencapai 500 Gigawat kapasitas energi non-fosil hingga 2030
- Memenuhi 50 persen kebutuhan energinya melalui energi terbarukan pada 2030
- Mengurangi total emisi karbon yang diproyeksikan sampai satu miliar ton pada 2030
- Mengurangi intensitas karbon ekonomi hingga 45% pada tahun 2030 ke tingkat seperti tahun 2005
- Mencapai emisi nol bersih pada tahun 2070

## Pendekatan Mitigasi Perubahan Iklim

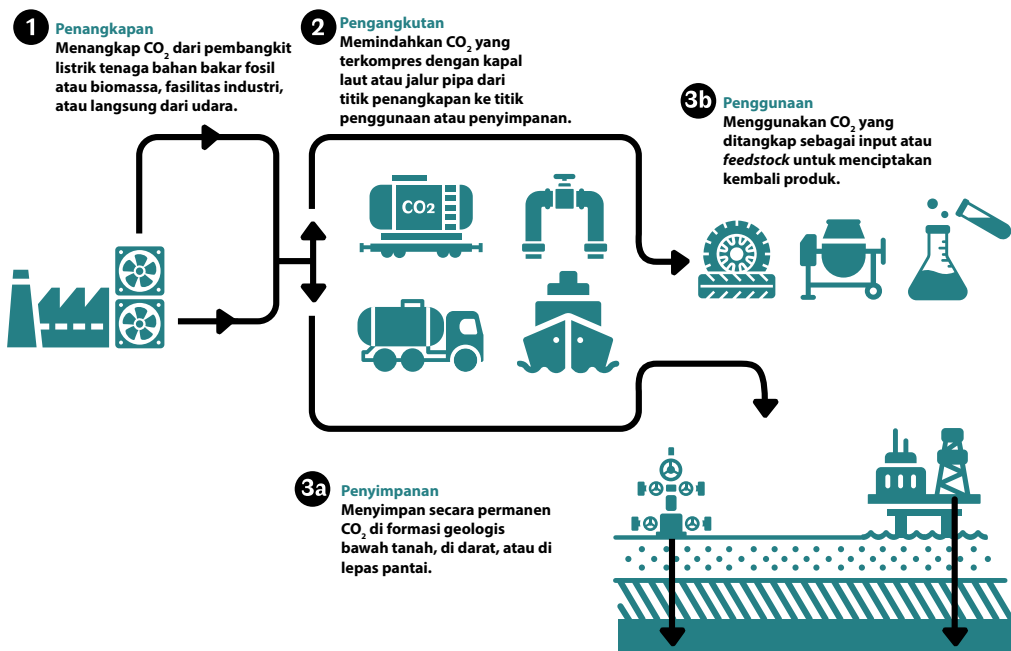
Tidak ada pendekatan mitigasi tunggal yang akan dapat mengatasi tantangan perubahan iklim. Setiap pendekatan memiliki kekuatan dan keterbatasan terkait dengan biaya, keandalan, aksesibilitas, skala, dan kinerja lingkungan. Para pakar sepakat bahwa portofolio berbagai opsi mitigasi menawarkan cara yang paling murah, paling berkelanjutan secara ekonomi untuk mencapai target mitigasi iklim.<sup>6</sup>



Mengingat setiap negara memiliki pendekatan mitigasi yang berbeda, portofolio solusi menjadi diperlukan. Beberapa solusi mencakup pengurangan emisi bahan bakar fosil, peningkatan efisiensi energi, perluasan penggunaan sumber energi terbarukan, dan pengembangan dan penggunaan bahan bakar alternatif - seperti hidrogen. Selain strategi-strategi mitigasi ini, ada penangkapan, pemanfaatan, dan penyimpanan karbon (CCUS).

## Apa Itu CCUS?

Sebagaimana diilustrasikan berikut ini (Gambar 1.2), CCUS dapat meliputi (1) penangkapan CO<sub>2</sub> dari sumber-sumber titik atau langsung dari atmosfer, (2) pengangkutan CO<sub>2</sub> yang ditangkap untuk (3a) penyimpanan geologis atau (3b) pemanfaatan. CCUS dapat berkontribusi mengurangi emisi CO<sub>2</sub> dan menurunkan biaya mitigasi keseluruhan secara substansial. Rantai nilai CCUS itu sendiri unik sehingga teknologi yang digunakan bukan hal baru, tetapi berbagai teknologi yang ada digabung secara bersama-sama dengan cara yang unik untuk mengurangi emisi.



Gambar 1.2: Diagram alir penangkapan, pengangkutan, pemanfaatan, dan penyimpanan karbon.

Penerapan CCUS diperlukan dalam dekade ini untuk dapat mencapai target yang ditetapkan dalam Perjanjian Paris, yaitu membatasi kenaikan suhu global sampai 1,5°C pada tahun 2030.<sup>7</sup> Hal ini merupakan opsi kunci yang dapat mengurangi emisi CO<sub>2</sub> yang berasal dari instalasi pembangkit listrik tenaga bahan bakar fosil dan fasilitas industri besar sementara negara-negara tetap dapat memenuhi target iklim sebagaimana tertuang dalam Perjanjian Paris. Meskipun perkiraan biaya bervariasi, tidak dapat disangkal bahwa memenuhi target iklim akan memerlukan biaya yang jauh lebih besar tanpa menerapkan CCUS (dalam beberapa

kasus 138 persen lebih mahal) dibandingkan dengan menerapkan CCUS.<sup>8</sup> Mengembangkan industri CCUS juga dapat menciptakan lapangan pekerjaan, mendorong lahirnya inovasi, mendorong perdagangan, memonetisasi manufaktur produk rendah karbon, dan mempertahankan industri-industri yang ada saat ini melalui program-program dekarbonisasi.<sup>9</sup>

## Teknologi CCUS Siap Secara Komersial

Penangkapan dan penyimpanan karbon telah berhasil diterapkan sejak 1996,<sup>10</sup> dengan sejarah penerapan komersial teknologi komponen yang lebih panjang termasuk penangkapan dalam berbagai industri dan *enhanced oil recovery*. Ada momentum dan aktivitas global sangat besar yang memberikan keyakinan dalam keberhasilan penerapan CCUS. Terhitung Januari 2024, ada lebih dari 500 proyek CCUS di seluruh dunia dengan berbagai tahap pengembangan dan operasi.<sup>11</sup> Meskipun industri minyak dan gas selama ini menjadi yang terdepan dalam penerapan CCUS, beberapa industri lain juga ikut serta dalam aktivitas proyek seperti produsen listrik, semen, pupuk, baja, dan etanol.

## Asia Memiliki Peluang CCUS yang Besar

Kawasan Asia memiliki peluang besar untuk penerapan CCUS. Lebih dari setengah CCUS global pada 2050 dapat terwujud di kawasan Asia-Pasifik.<sup>12</sup> Jaringan CCUS pan-Asia dapat mencakup klaster lebih dari 20 hub penangkapan karbon dan penyimpanan bawah tanah.<sup>13</sup>

Potensi ini bukan sekadar teori. Ada sejumlah proyek dan aktivitas yang memberikan keyakinan terhadap kemampuan kawasan Asia dalam menerapkan CCUS. Sebagai contoh, di Tiongkok, tiga proyek telah beroperasi pada 2023 (fasilitas CCUS pembangkit listrik tenaga batu bara terbesar di Asia, fasilitas penyimpanan CO<sub>2</sub> lepas pantai pertama, dan penangkapan karbon di sebuah

fasilitas kilang minyak).<sup>14</sup> Jepang telah mengumumkan tujuh jaringan CCUS yang akan menangkap CO<sub>2</sub> di Jepang untuk disimpan.<sup>15</sup>

## **Fondasi Kolaborasi Regional terkait CCUS**

Asia telah menciptakan fondasi untuk kolaborasi regional terkait CCUS. Kapasitas dan potensi penerapan CCUS di kawasan Asia-Pasifik mendorong koordinasi dan kolaborasi di kawasan tersebut. Berbagai negara akan mengundang negara tetangganya untuk melihat fasilitas-fasilitas yang ada dan menghadiri berbagai dialog teknis dan kebijakan untuk berbagi pengalamannya masing-masing. Selain dari proyek, kawasan Asia-Pasifik juga telah mengalami pertumbuhan dalam hal pengembangan regulasi dan kebijakan. Pada akhirnya, hal ini dapat mendorong industri internasional untuk menerapkan CCUS di kawasan tersebut.<sup>16</sup>

Di luar kawasan Asia-Pasifik, koalisi dan konsorsium semakin bermunculan secara global untuk menghimpun para pemangku kepentingan dalam memajukan kerangka CCUS. Sebagaimana yang akan diuraikan pada Bab 6: Sumber Daya dan Tanggung Jawab atas Kerangka, salah satu sumber daya tersebut adalah Komite Organisasi Internasional untuk Standardisasi (ISO) terkait CCUS, yang mempertemukan sebanyak hampir 50 negara untuk mengembangkan berbagai standar dan laporan teknis di seluruh rantai nilai CCUS. Koordinasi dalam hal ini sangatlah penting ketika mengangkut dan menyimpan CO<sub>2</sub> di seluruh perbatasan wilayah internasional.

## **2. Apa Itu Penangkapan, Pengangkutan, Pemanfaatan, dan Penyimpanan Karbon?**

---

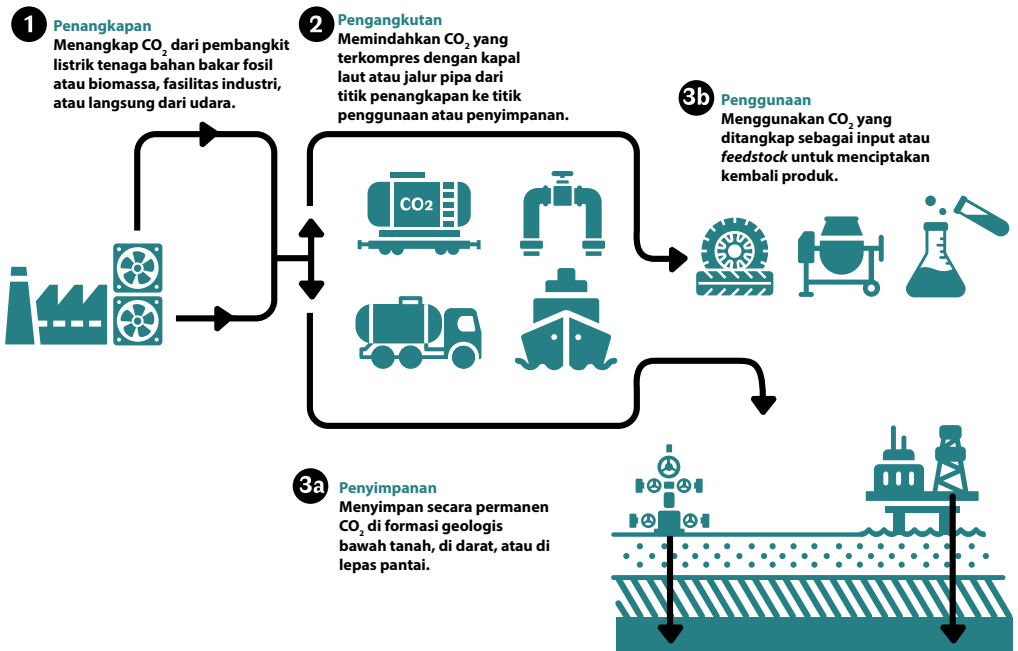
## Sejumlah Poin Penting

- Karbon dioksida dan gas-gas rumah kaca lainnya umumnya dikeluarkan di lokasi tempat gas-gas tersebut dihasilkan. CCUS mengambil CO<sub>2</sub> sebelum gas tersebut dilepaskan (atau, dalam hal Penangkapan Udara Langsung, dari atmosfer) dan kemudian mengangkutnya ke suatu tempat di mana CO<sub>2</sub> dapat digunakan atau disimpan di bawah tanah secara permanen.
- Sederhananya, CCUS adalah perangkat yang terdiri dari empat komponen yang saling tergantung: penangkapan, pengangkutan, pemanfaatan, dan penyimpanan. Setiap komponen tersebut memerlukan pertimbangan sendiri dari para pembuat kebijakan dan regulator.
- Sebagai titik awal, para pembuat kebijakan dan regulator perlu memahami berbagai opsi dan teknologi yang berkembang yang melatari setiap komponen tersebut, seperti opsi-opsi *pore space* untuk penyimpanan CO<sub>2</sub> jangka panjang yang aman.
- Meskipun huruf "U" dalam CCUS merupakan kependekan dari *Utilization* (Pemanfaatan), diperkirakan bahwa sekalipun CO<sub>2</sub> yang ditangkap akan menemukan cara untuk dikonversi dan/atau dimanfaatkan, sebagian besar CO<sub>2</sub> perlu diinjeksi ke bawah tanah untuk disimpan secara permanen.
- Terdapat sejumlah pertimbangan lintas sektor juga. Sebagai contoh, persyaratan-persyaratan teknis untuk proyek CCSU perlu mengintegrasikan ketentuan mengenai keselamatan di seluruh rantai nilai.

## Pengantar

CCUS terdiri dari empat komponen yang saling tergantung, sebagaimana ditunjukkan pada bab sebelumnya, dan diilustrasikan di bawah ini pada Gambar 2.1. CCUS dimulai dengan **penangkapan (1) CO<sub>2</sub>**, yang dapat dilakukan di fasilitas industri,

pembangkit listrik, dan fasilitas emisi negatif (misalnya, fasilitas penangkapan udara langsung atau pembakaran biomassa). CO<sub>2</sub> selanjutnya dapat **diangkut (2)** ke lokasi **penggunaan** atau **penyimpanan** akhir. Moda pengangkutan (2) CO<sub>2</sub> yang tersedia meliputi jalur pipa, jalan rel, kapal laut, dan truk. Apabila memungkinkan, lokasi penangkapan dan penyimpanan atau pemanfaatan dapat ditempatkan pada lokasi yang sama guna meminimalkan kebutuhan-kebutuhan infrastruktur pengangkutan.



Gambar 2.1: Komponen-komponen CCUS.

Untuk penyimpanan geologis (3a), tujuannya adalah penyimpanan jangka panjang yang aman. Penyimpanan dapat

terdiri dari satu atau lebih tipe lokasi penyimpanan geologis. Untuk pemanfaatan (3b), tujuannya adalah untuk menggunakan secara bermanfaat CO<sub>2</sub> untuk membuat produk, sehingga dengan cara demikian dapat mengurangi jumlah CO<sub>2</sub> yang dikeluarkan ke atmosfer. Kasus khusus adalah penggunaan CO<sub>2</sub> untuk *enhanced oil recovery* (EOR), yang berfungsi menghasilkan tambahan produksi minyak.

## Penangkapan



Penangkapan CO<sub>2</sub> dapat dilakukan dengan menggunakan sejumlah teknologi komersial. CO<sub>2</sub> dapat ditangkap dari sumber-sumber titik atau udara. Pilihan teknologi penangkapan yang digunakan umumnya didasarkan pada kriteria pemilihan yang dapat menampung jenis fasilitas, lokasi geografis, dan biaya. Pada tingkat yang sangat tinggi, jenis fasilitas sering dikelompokkan ke dalam sumber-sumber konsentrasi CO<sub>2</sub> rendah dan tinggi, dalam hal kemurnian emisi sebelum ditangkap.

Tabel 2.1. Pertimbangan penangkapan kunci.

Kriteria Seleksi	Volume emisi, konsentrasi CO <sub>2</sub> , usia aset tersisa, tekanan dan suhu gas buang, titik kedekatan dengan penyimpanan, ruang yang tersedia untuk peralatan penangkapan, dan pasokan air (untuk pendinginan).
Keselamatan / Integritas	Minimalkan emisi non-CO <sub>2</sub> , degradasi material, pembuangan limbah, desain proses, retrofit vs. bangunan baru.



## Penangkapan Konsentrasi Tinggi

Penangkapan CO<sub>2</sub> dari sumber-sumber konsentrasi tinggi dapat memerlukan sedikit pemrosesan sebelum diangkut. Contohnya adalah emisi yang berasal dari fasilitas produksi etanol yang menghasilkan CO<sub>2</sub> pada dasarnya sebagai produk turunan murni proses fermentasi. Sebagian penghilangan oksigen dapat dilakukan sebelum mengompres CO<sub>2</sub> untuk dipindahkan.

Proses-proses lain yang dianggap sebagai sumber emisi konsentrasi tinggi meliputi pemurnian minyak, produksi hidrogen dari gas alam (reformasi metana), produksi amonia (reformasi metana), dan aplikasi pengolahan gas alam.

## Penangkapan Konsentrasi Rendah

Emisi gas buang yang berasal dari gardu tenaga listrik merupakan contoh yang bagus mengenai sumber emisi konsentrasi rendah. Volume gas buang sangat besar, dan jumlah total CO<sub>2</sub> dalam aliran emisi dapat lebih rendah dari 10 persen bergantung pada sumber. Sumber-sumber konsentrasi rendah lain dapat berasal dari kegiatan pemrosesan seperti kalsinasi semen, pembuatan baja, produksi pulp dan kertas, dan pembuatan bahan kimia.

Sistem-sistem penangkapan konsentrasi rendah meliputi pelarut kimia (sering berdasarkan amina), pemisahan kriogenik, membran, dan sorben. Jenis-jenis sistem ini secara umum perlu didesain untuk aplikasi *host* khusus. Kebutuhan energi dan pendinginan untuk sistem tersebut dapat meningkatkan infrastruktur yang ada saat ini di *host facility* (misalnya, ekstraksi uap, penggunaan air pendinginan, pemulihan panas limbah).

Peningkatan teknologi penangkapan konsentrasi rendah umumnya dilakukan secara bertahap - dari tapak uji, demonstrasi/uji coba, hingga penerapan komersial. Contoh proyek percontohan/demonstrasi R&D CCUS dengan sumber konsentrasi rendah adalah fasilitas Plant Barry Alabama Power,

sebagaimana diuraikan di bawah ini. Ada juga beberapa contoh penerapan CCS komersial di luar AS. Sebagai contoh, pada 2014, the SaskPower Boundary Dam di Kanada menjadi pembangkit listrik di dunia yang berhasil menggunakan teknologi CCS.



## Peningkatan Proyek Penangkapan 25 Megawatt Plant Barry Alabama Power



Pada 2009, sebuah Proyek Percontohan CCUS 25 Megawatt di Plant Barry milik Alabama Power Company di Amerika Serikat menjadi penangkapan karbon terbesar di dunia pada pembangkit listrik tenaga batu bara serbuk. CO<sub>2</sub> ditangkap dari gas buang dengan menggunakan teknologi penangkapan solven amina yang canggih milik Mitsubishi Heavy Industries. CO<sub>2</sub> dikompres di lokasi dan diangkut sejauh 19 kilometer menuju lokasi penyimpanan geologis. Sebanyak 114 kt CO<sub>2</sub> ditangkap, diangkut, disimpan, dan dipantau selama proyek percobaan.

Kumpulan data tes dan berbagai pelajaran dari proyek ini memberikan dasar tes yang sangat baik untuk peningkatan teknologi ini dari penangkapan *slip stream* sebesar 25 Megawatt di Plant Barry dekat Mobile, Alabama ke sistem penangkapan sebesar 240 Megawatt di W.A. NRG. Parish Generating Station dekat Houston, Texas. Proyek NRG tetap beroperasi hingga saat ini.

## Penghapusan Karbon Dioksida (CDR)

Penghapusan karbon dioksida (CDR) adalah suatu proses yang dilakukan untuk menghilangkan CO<sub>2</sub> dari atmosfer dan menyimpannya secara permanen. Dua proses CDR yang terkait dengan CCUS, karena kemiripan dalam hal teknologi yang digunakan, diuraikan berikut ini.

## Penangkapan Udara Langsung

Penangkapan udara langsung (DAC) adalah jenis CDR yang melibatkan penggunaan proses untuk menghilangkan CO<sub>2</sub> dari udara. Hal ini umumnya melibatkan penggunaan teknologi berbasis solven atau sorben. Mengingat *dilute concentration* CO<sub>2</sub> di udara, udara dalam jumlah volume besar perlu diproses untuk setiap unit CO<sub>2</sub> yang ditangkap. Proses ini akan banyak memerlukan energi dan umumnya lebih mahal daripada sistem penangkapan industri.

Sebuah jenis CDR yang baru adalah penangkapan langsung CO<sub>2</sub> dari air laut. Konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam air laut lebih tinggi daripada di udara, oleh karena itu sejumlah proyek percontohan sedang dilakukan untuk menghilangkan CO<sub>2</sub> dari air laut.

## CCS Biomassa

CCS Biomassa melibatkan konversi feedstocks secara langsung menjadi energi atau produk kimia, dengan penghilangan karbon yang dihasilkan oleh proses ini. Konversi energi langsung meliputi pembakaran untuk pembangkitan listrik dan/atau produksi uap dengan penangkapan sumber titik di alir gas buang. Konversi kimia terjadi melalui proses perubahan menjadi gas dari biomassa menjadi syngas dan selanjutnya memproses syngas menjadi hidrogen dan CO<sub>2</sub>.

## Pengangkutan



Setelah tahap penangkapan, CO<sub>2</sub> dapat diangkut melalui jalur pipa, jalan rel, truk, dan kapal laut. Jalur pipa merupakan moda pengangkutan yang paling banyak digunakan untuk memindahkan CO<sub>2</sub> dengan jumlah yang sangat besar. Opsi pengangkutan melalui jalan rel, truk, dan kapal laut memerlukan pengembangan fasilitas bongkar muat agar aktivitas pengangkutan dapat ditangani.

Tabel 2.2: Pertimbangan pengangkutan kunci.

Kriteria Seleksi	Volume, kemurnian CO <sub>2</sub> , jarak, geografi, biaya, dan keterbatasan pemanfaatan lahan.
Keselamatan / Integritas	Keterbatasan pemanfaatan lahan, persyaratan tekanan dan suhu, pengotor, dan jarak.

## Jalur Pipa

Pengangkutan melalui jalur pipa digunakan di darat dan di lepas pantai. Di darat, CO<sub>2</sub> umumnya diangkut dalam jalur pipa baja

karbon yang ditanam di bawah tanah. Di lepas pantai, jalur pipa umumnya dibaringkan di dasar laut. Untuk diangkut melalui jalur pipa, CO<sub>2</sub> perlu dikompres. Proses ini sangat memerlukan energi dan dapat mendorong terjadinya emisi CO<sub>2</sub> terkait jika tenaga listrik untuk kompresor bukan berasal dari sumber rendah karbon. Jalur pipa CO<sub>2</sub> telah beroperasi di AS selama lebih dari 50 tahun, dengan lebih dari 5.000 mil jalur pipa saat ini sudah beroperasi.<sup>1</sup>

## Jalan Rel

Pengangkutan CO<sub>2</sub> melalui jalan rel utamanya dilakukan dengan menggunakan gerbong kereta tanki bertekanan yang mengangkut CO<sub>2</sub> cair. Untuk pengangkutan melalui jalan rel, operator harus mengembangkan infrastruktur yang sesuai untuk mencairkan, menyimpan, memuat, dan memindahkan CO<sub>2</sub> ke gerbong kereta tanki. Di lokasi penyimpanan, peralatan yang sesuai untuk pemindahan, penyimpanan di tanki, dan kompresi ulang diperlukan untuk dapat menangani CO<sub>2</sub>. Pengangkutan CO<sub>2</sub> melalui jalan rel juga harus mempertimbangkan faktor *boil-off* sebagian CO<sub>2</sub>, yang dikenal dengan nama *boil-off losses*, yang terjadi selama proses pengangkutan.

## Kapal Laut/Tongkang

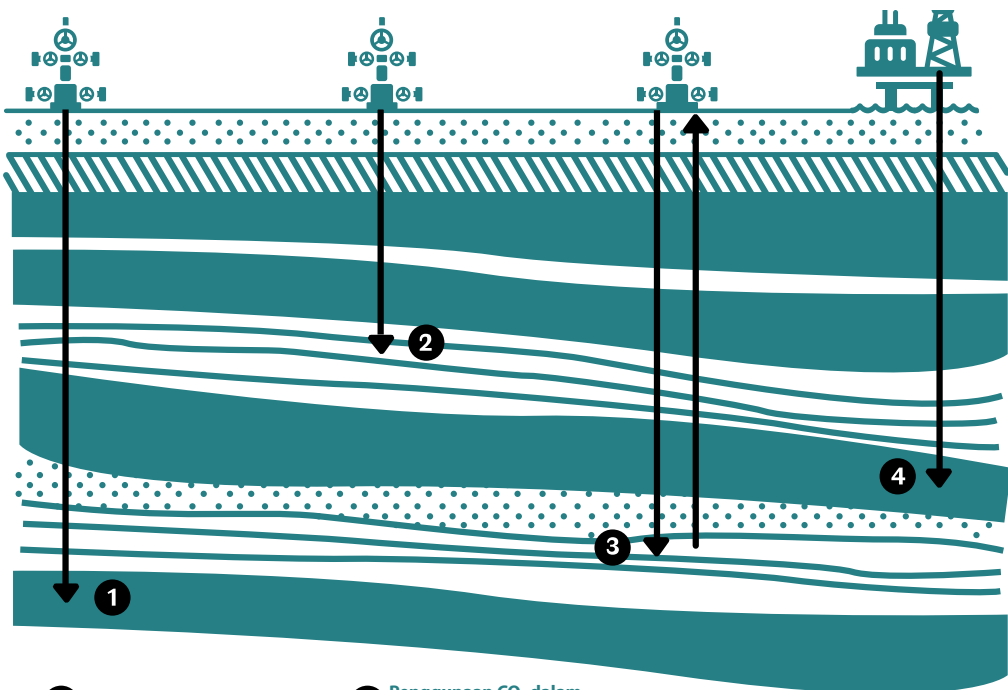
Mengangkut CO<sub>2</sub> dengan kapal laut<sup>2</sup> memerlukan fasilitas bongkar muat di tepi air untuk memudahkan pengangkutan. Pengangkutan dengan menggunakan kapal laut telah dianggap sebagai opsi yang layak untuk proyek lepas pantai yang bertujuan untuk menyimpan sejumlah volume kecil atau volume dari berbagai sumber, dan opsi yang layak untuk pengangkutan CO<sub>2</sub> lintas negara (saat ini sedang dipertimbangkan dalam studi kelayakan dan percontohan di Eropa Utara dan Asia Tenggara). Di Jepang, sebuah kapal degan kapasitas sebesar 1.450 m<sup>3</sup> dibangun pada tahun 2023<sup>3</sup> untuk mengangkut CO<sub>2</sub> cair untuk demonstrasi/percontohan skala besar di Tomakomai.<sup>4</sup>

## Truk

Pengangkutan CO<sub>2</sub> dengan menggunakan truk digunakan secara luas untuk pengangkutan dengan volume kecil jarak pendek. Biasanya, kapal tanker kriogenik bervolume rendah atau kapal bertekanan digunakan untuk mengangkut CO<sub>2</sub>. Teknologi ini juga memerlukan fasilitas bongkar muat untuk mengangkut CO<sub>2</sub> ke dan dari truk.

## Penyimpanan

Setelah tahap pengangkutan, CO<sub>2</sub> dapat disimpan secara geologis di reservoir garam dalam, reservoir minyak dan gas yang sudah habis, dan formasi lainnya, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini (Gambar 2.3). Penyimpanan melalui pemanfaatan (1) dapat dilakukan di bawah permukaan tanah selama *enhanced oil recovery* (EOR) dan *enhanced gas recovery* (EGR) dan (2) juga dapat digunakan untuk membuat produk seperti bahan bangunan, karbon hitam, serat karbon, atau plastik.



- 1** Formasi saline
- 2** Penggunaan CO<sub>2</sub> dalam enhanced gas recovery
- 3** Penggunaan CO<sub>2</sub> dalam enhanced oil recovery
- 4** Depleted Reservoir Minyak dan Gas

Gambar 2.3: Opsi-opsi lokasi penyimpanan geologis CO<sub>2</sub>.

Meskipun ada banyak cara untuk memanfaatkan CO<sub>2</sub> yang ditangkap, mitigasi CO<sub>2</sub> yang ditangkap dalam skala besar perlu dilakukan melalui penyimpanan.<sup>5</sup>

Tabel 2.3: Pertimbangan Penyimpanan Kunci

Kriteria Seleksi	Volume CO <sub>2</sub> , kedalaman, tekanan, suhu, volume pori yang tersedia, injektivitas, kondisi batas geologis, kompleksitas geologis, tingkat <i>cap rock confinement</i> , mekanika batuan, topografi, batasan penggunaan lahan, sumur warisan, ketersediaan infrastruktur warisan, dan biaya.
Keselamatan / Integritas	Persyaratan tekanan dan suhu, penahanan, <i>induced seismicity</i> yang tidak dapat diterima, batasan penggunaan lahan, <i>legacy wells</i> , perlindungan sumber daya alam, dan peralatan keselamatan.

## Penyimpanan Formasi Saline

Formasi saline adalah strata sedimen berpori yang terdapat di dalam cekungan darat dan lepas pantai dan umumnya terdiri dari batu pasir dan karbonat yang mengandung air garam di dalam ruang porinya. Formasi ini memberikan peluang terbesar untuk dapat menyimpan CO<sub>2</sub> dalam jumlah volume komersial. Sifat-sifat yang cocok untuk penyimpanan dalam formasi saline meliputi kedalaman, penahanan stratigrafis, porositas, dan permeabilitas. Penahanan CO<sub>2</sub> yang diinjeksi dalam lapisan kedap air di atasnya diperlukan untuk memastikan penyimpanan jangka panjang yang aman dan stabilitas jangka panjang dari CO<sub>2</sub> yang disuntikkan.

## Depleted Reservoir Minyak/Gas

Reservoir minyak dan gas yang mendekati atau berada di akhir masa produktifnya merupakan opsi potensial untuk menyimpan CO<sub>2</sub>. Reservoir ini mirip dengan formasi saline seperti yang ditunjukkan di atas, namun mengandung minyak dan gas di dalamnya – baik dalam lapisan sedimen atau perangkap



struktural. Dengan penambahan CO<sub>2</sub>, tekanan reservoir dapat dikembalikan ke kondisi yang mendekati aslinya melalui sumur pantau.

### **Mafic Igneous Rocks (Batuan Beku Mafik)**

Batuan mafik, seperti basal dan peridotit, mengandung mineral yang bereaksi dengan CO<sub>2</sub> untuk membentuk karbonat mineral yang stabil (mineralisasi in situ). Proses ini mungkin penting di lokasi di mana jenis batu ini tersedia sebagai sumber daya penyimpanan.

## **Pemanfaatan**



Setelah diangkut, CO<sub>2</sub> dapat digunakan untuk membantu ekstraksi hidrokarbon atau pembuatan produk. Pemanfaatannya dapat berkontribusi pada pengembangan infrastruktur CCS khususnya untuk EOR atau EGR. CO<sub>2</sub> juga dapat digunakan untuk membuat produk seperti bahan bangunan, karbon hitam, serat karbon, atau plastik.

### **Enhanced Oil Recovery**

EOR adalah teknologi produksi minyak tahap lanjut yang telah digunakan sejak tahun 1970-an.<sup>6</sup> CO<sub>2</sub> pada tekanan reservoir adalah gas fase padat dengan sifat seperti cairan yang dapat bercampur dengan minyak. Pencampuran ini menurunkan kekentalan hidrokarbon dan memungkinkan perolehan minyak lebih lanjut dari reservoir. Biasanya, CO<sub>2</sub> diinjeksikan ke dalam reservoir, tetapi sistem loop tertutup digunakan untuk mengeluarkan CO<sub>2</sub> yang diproduksi dari aliran produksi, mengompresnya, dan mencampurnya kembali dengan CO<sub>2</sub> baru yang mungkin bersumber dari sumber penangkapan.

## ***Enhanced Gas Recovery***

EGR adalah teknik produksi hidrokarbon yang dapat digunakan di reservoir gas alam atau lapisan batu bara (*coal seams*). EGR berfungsi dengan menggantikan gas alam secara langsung. Aplikasi teknologi ini paling efektif ketika kondisi in situ meminimalkan difusi CO<sub>2</sub> dan terobosan prematur di reservoir. Kasus khusus dari EGR adalah perolehan metana dari lapisan batu bara tahap lanjut. CO<sub>2</sub> untuk menggantikan metana dalam batu bara.

## **Konversi CO<sub>2</sub> Menjadi Produk**

Kecuali pembuatan bahan bakar yang menyebabkan pelepasan langsung CO<sub>2</sub> yang digunakan, ada beberapa pilihan pemanfaatan CO<sub>2</sub> untuk produk yang dapat dianggap sebagai penyimpanan jangka panjang. Konversi CO<sub>2</sub> menjadi produk untuk tujuan pemanfaatan harus mempertimbangkan efek keseluruhan dari proses tersebut terhadap atmosfer, yang juga disebut sebagai penilaian siklus hidup.

Studi kasus di bawah ini menyoroti proses pemilihan produk di sebuah fasilitas semen di India untuk mengidentifikasi opsi-opsi yang layak dan kondisi pasar untuk penerapan komersial.



## Menilai Produk Berbahan CO<sub>2</sub> yang Ditangkap pada Industri Semen di India<sup>7</sup>

Pada tahun 2021, Bank Pembangunan Asia (ADB) membiayai sebuah studi semen di India untuk menilai kelayakan produk-produk yang dibuat dari CO<sub>2</sub> yang ditangkap. Studi tersebut mengevaluasi enam produk: urea, abu soda, mineralisasi, metanol, alga untuk pakan, dan alga untuk minyak. Evaluasi tersebut memilih urea dan mineralisasi sebagai opsi peringkat teratas. Instalasi penangkapan CO<sub>2</sub> dapat mengadopsi teknologi pasca-pembakaran dengan kapasitas 500 kt CO<sub>2</sub> per tahun. Jumlah CO<sub>2</sub> yang ditangkap ini dapat diubah menjadi 680 kt urea. Analisis keuangan menunjukkan laba atas investasi yang rendah berdasarkan asumsi kondisi standar. Untuk meningkatkan kelayakan komersial, studi tersebut menyimpulkan bahwa hal-hal berikut ini sangat penting:

- Adanya biaya operasional yang rendah untuk listrik dan uap di lokasi.
- Tingkat harga kredit karbon yang spesifik untuk mengisi kesenjangan kelayakan finansial.

## Pertimbangan Lintas Sektoral

### Keselamatan

Persyaratan teknis untuk proyek CCUS perlu mengintegrasikan ketentuan keselamatan di seluruh rantai nilai. Pertimbangan-pertimbangan keselamatan untuk proyek CCUS harus mencakup:

- Perlindungan dari pelepasan CO<sub>2</sub> yang besar (sesak napas, dampak dari pengotor CO<sub>2</sub>, dampak terhadap ekosistem laut), termasuk ketentuan mengenai tanggap darurat dan sistem keselamatan yang dirancang.
- Memantau emisi udara inkremental dari polutan udara berbahaya (produk degradasi amina, amonia, materi partikulat).
- Menilai integritas penyimpanan. Jalur kebocoran bawah permukaan utama untuk CO<sub>2</sub> yang dipindahkan adalah melalui penetrasi sumur lama yang diselesaikan melalui sistem pembatas. Sebagai contoh, untuk melindungi sumber air minum, penetrasi sumur harus mempertahankan integritas untuk memastikan tidak ada jalur pelarian (*fugitive*) bagi pergerakan CO<sub>2</sub> ke dalamnya. Selain itu, fitur geologis seperti sesar harus ditinjau.

## Analisis dan Manajemen Risiko

Risiko yang mengancam keberhasilan proyek CCUS dapat mencakup risiko keuangan, operasional, penyimpanan, kesehatan/keselamatan, dan persepsi publik. Lembaga-lembaga regulator perlu mempertimbangkan pembuatan dan penerapan analisis risiko dan sistem mitigasi. Dalam hal risiko operasional, kesehatan dan keselamatan, serta sistem mitigasi, semuanya ini dapat mencakup sistem kontrol pengawasan dan pemerolehan data (SCADA) yang menyediakan kontrol sistem otomatis dan sistem alarm untuk melindungi berbagai komponen CCUS. Selain itu, lokakarya manajemen risiko dan mitigasi harus dilakukan secara berkala untuk mengidentifikasi, melacak, dan menutup risiko.

## Spesifikasi yang Berkualitas

CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari sumber penangkapan yang berbeda mungkin memiliki komposisi pengotor yang berbeda. Pilihan pengangkutan dan penyimpanan perlu menghilangkan beberapa pengotor ini sebagai langkah untuk melindungi infrastruktur pengangkutan atau penyimpanan dari kerusakan (misalnya, korosi dan risiko publik). Beberapa negara juga sedang menyusun persyaratan regulasi untuk membatasi pengotor dalam aliran CO<sub>2</sub>. Semua persyaratan ini perlu dipertimbangkan oleh operator penangkapan dan pengangkutan untuk memastikan kepatuhan. Beberapa operasi penangkapan mungkin memerlukan peralatan pemrosesan tambahan.

## Infrastruktur yang Terintegrasi

Dengan pembangunan infrastruktur CCUS, penting untuk mengintegrasikan semua komponen yang diperlukan untuk proyek tersebut. Sebagai contoh, persyaratan operasi menurut sumber CO<sub>2</sub> yang hendak ditangkap mungkin akan memerlukan pertimbangan tertentu dalam hal sistem pengangkutan dan penyimpanannya.

# 3. Partisipasi Proyek CCUS

---

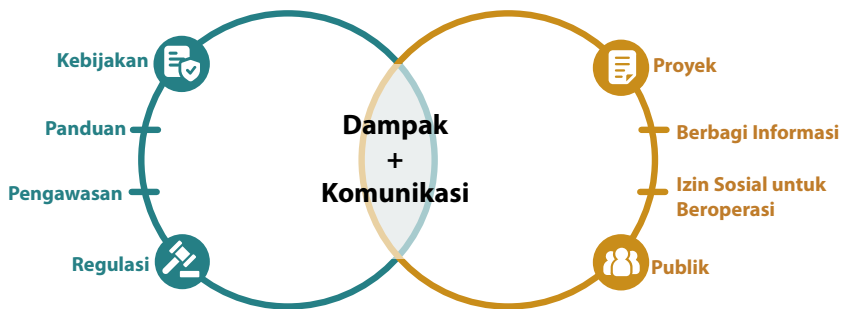
## Sejumlah Poin Penting

- Partisipasi sangat diperlukan agar proyek CCUS dapat berhasil. Partisipasi adalah komunikasi yang dilakukan oleh pembuat kebijakan, regulator, pengembang proyek, dan publik selama proyek berlangsung.
- Para pembuat kebijakan dan regulator perlu kesiapan sejak awal untuk melibatkan pemangku kepentingan publik – termasuk masyarakat setempat – untuk menghindari penundaan dan pembatalan.
- Langkah terpenting pertama adalah memahami para pemain kunci, kegiatan mereka masing-masing, dan tingkat partisipasi masing-masing yang tepat: pemetaan pemangku kepentingan dan perencanaan.
- Masyarakat yang sudah terbiasa dengan proyek-proyek minyak dan gas, atau proyek-proyek ekstraksi lain, juga bisa skeptis dengan proyek-proyek CCUS. Proyek Barendrecht di Belanda dapat menjadi contoh risiko kegagalan untuk melibatkan masyarakat dalam suatu proyek CCUS.

## Pengantar

Partisipasi adalah proses keikutsertaan pembuat kebijakan, regulator, pengembang proyek, dan publik dalam proses komunikasi selama berlangsungnya proyek. Partisipasi masyarakat bukan konsep baru dalam industri energi, namun konsep ini telah berkembang pesat dalam sepuluh tahun terakhir sehingga menjadi lebih inklusif, responsif, dan berdaya. Proyek-proyek infrastruktur besar seperti turbin angin dan jalur kereta api telah memberikan pengalaman berharga tentang pentingnya partisipasi publik yang benar sejak awal suatu proyek.<sup>1</sup> Risiko kegagalan dalam mengikutsertakan masyarakat setempat dan publik secara luas dapat menyebabkan penundaan bahkan

pembatalan proyek. Komponen-komponen utama partisipasi yang dapat digunakan untuk menyusun strategi/panduan, melakukan pengawasan, membuat keputusan, dan berbagi informasi ditunjukkan berikut ini. Irisan kebijakan dan undang-undang/peraturan yang dapat mendorong terjalannya komunikasi dengan masyarakat tentang suatu proyek merupakan komponen-komponen partisipasi. Bab ini akan menjelaskan komponen-komponen tersebut dan komponen-komponen lain secara lebih detail.



Gambar 3.1: Komponen-komponen partisipasi CCUS

Ketidaktahuan atau kurangnya pemahaman mengenai penangkapan, pemanfaatan, dan penyimpanan karbon (CCUS) sebagai teknologi mitigasi iklim dapat menjadi masalah yang menghambat keberhasilan dan pelaksanaan proyek. Lugasnya, informasi yang kurang memadai mengenai pembangunan, teknologi, latar belakang, atau proses pembuatan keputusan dapat menyebabkan proyek tidak diterima atau tidak didukung oleh masyarakat sekitar. Pada beberapa proyek, hal ini bisa menyebabkan proyek dibatalkan. Oleh karena itu, komunikasi dan partisipasi merupakan komponen penting dalam pelaksanaan proyek CCUS.



# Pentingnya Partisipasi dan Prinsip-Prinsip Pokok

Partisipasi yang efektif sangat penting untuk membuka jalur komunikasi dan memberi tahu para pemangku kepentingan tentang potensi risiko dan manfaat, menjawab pertanyaan, kekhawatiran, dan risiko yang mereka rasakan, bertukar gagasan, memberikan pengetahuan, serta membangun hubungan saling percaya dan partisipasi jangka panjang. Partisipasi yang efektif juga dapat meningkatkan kesadaran, meningkatkan dukungan, membangun pengaruh, mendukung pembuatan kebijakan dan regulasi, meningkatkan proses pembuatan keputusan, serta secara proaktif memitigasi potensi perlawanan. Perlu digarisbawahi bahwa metode dan tingkat partisipasi publik akan berkembang seiring dengan perkembangan masing-masing proyek CCUS.

Daftar prinsip-prinsip pokok partisipasi CCUS yang disusun berdasarkan pengalaman kontributor dalam proyek-proyek CCUS dijelaskan di bawah ini.



**Transparansi.** Sampaikan informasi faktual, perkembangan, dampak bagi masyarakat, serta potensi risiko dan manfaat secara jelas, terbuka, dan langsung; berikan rangkuman peristiwa yang menjadi catatan publik.



**Keberagaman, Inklusi, dan Aksesibilitas.** Bersikaplah inklusif dan beri ruang kepada orang-orang yang memiliki pandangan dan pengalaman yang berbeda-beda. Pastikan bahwa kesempatan berpartisipasi dapat diakses oleh semua orang. Berikan akomodasi sewajarnya terhadap orang-orang berkebutuhan khusus.



**Pahami Masyarakat.** Para pengembang proyek perlu memahami masalah-masalah yang sedang dihadapi oleh masyarakat, dan seiring dengan perkembangan proyek, para pengembang proyek akan menjadi bagian dari masyarakat. Masyarakat yang berbeda memahami informasi dan berkomunikasi dengan cara yang berbeda pula. Oleh karena itu, suatu proyek bisa jadi memerlukan strategi komunikasi dan partisipasi yang beragam.



**Libatkan Sejak Dini dan Sesering Mungkin.** Kenali tingkat kebutuhan dan frekuensi/forum partisipasi yang tepat.



**Pembuatan Keputusan.** Libatkan masyarakat dalam proses pembuatan keputusan dan lakukan tinjauan terhadap proyek dengan rekan-rekan sejawat melalui kegiatan simposium dan program-program yang bersifat teknis.



**Pedoman Partisipasi.** Susun pedoman untuk mendukung terjadinya pertukaran pandangan yang saling menghargai yang dapat menumbuhkan pemahaman bersama.



**Dialog Dua Arah.** Fasilitasi dialog dua arah, dorong orang untuk mendengarkan secara aktif, akui dan akomodasi perspektif dan gagasan-gagasan baru.



**Kolaborasi dan Kemitraan.** Bangun secara aktif kolaborasi dan kemitraan antara kelompok dan individu yang berbeda untuk mencapai tujuan bersama.



**Kaitkan dengan Gambar Besar.** dengan jelas 'Mengapa CCUS' dan kaitkan setiap kegiatan dengan gambar besar.



**Manfaat untuk Masyarakat.** Dalam konteks lokal, bekerja dengan penduduk setempat untuk menentukan nilai langsung yang didapatkan oleh masyarakat sebagai akibat dari pembangunan proyek. Luaskan cara pandang, bukan hanya dari sudut pandang pemilik properti, melainkan ke seluruh anggota masyarakat, termasuk bagaimana agar proyek CCUS dapat memberikan peluang kepada pihak-pihak yang kurang terlayani – usaha yang dimiliki oleh kalangan minoritas, usaha yang dimiliki oleh kalangan perempuan, dan usaha yang dimiliki oleh kalangan veteran.



**Lakukan Pengukuran/Survei Dampak.** Gunakan ukuran sukses yang dapat diukur untuk memahami bagaimana dampak kegiatan-kegiatan partisipasi terhadap para pemangku kepentingan seiring berjalannya waktu (lihat studi kasus di Houston CCS Alliance di bawah). Lakukan evaluasi untuk memahami apa yang berhasil dan apa yang tidak berhasil, dan lakukan perbaikan yang diperlukan.



**Fleksibilitas.** Bersikaplah fleksibel dan sedapat mungkin terima, sesuaikan, dan akomodasi masukan yang dapat dilaksanakan.



**Bahasa.** Kenali bahasa-bahasa utama yang digunakan dalam masyarakat, kembangkan bahan-bahan dan lakukan pertemuan dengan menggunakan bahasa-bahasa tersebut jika diperlukan.



**Kejelasan.** Gunakan visualisasi grafik yang mudah dipahami, termasuk skala kedalaman yang realistis untuk memastikan pesan dapat dipahami dengan baik.



**Pengembangan Kapasitas.** Jelaskan pengembangan tenaga kerja dan partisipasi proyek dengan para akademisi (misalnya, dengan mengadakan program-program magang).



## Upaya Partisipasi di Houston CCS Alliance



Gambar 3.2: Berdasarkan analisis data dari Departemen Energi Amerika Serikat (2018) dan Kantor Keberlanjutan Walikota NYC. (Atas izin Houston CCS Alliance)

Kawasan Houston merupakan salah satu sumber emisi CO<sub>2</sub> paling terkonsentrasi di Amerika Serikat dan terletak di dekat formasi penyimpanan geologis bawah tanah yang produktif, sehingga kawasan ini menjadi lokasi yang ideal untuk pengembangan proyek CCS berskala besar. Pada tahun 2021, sebelas penghasil emisi CO<sub>2</sub> industri terbesar di Houston, Texas, membentuk Houston CCS Alliance untuk menjawab kebutuhan untuk meningkatkan partisipasi publik dan mengedukasi masyarakat dengan lebih baik mengenai manfaat lokal yang bisa didapatkan kawasan Texas Gulf Coast dari kegiatan penangkapan dan penyimpanan karbon.

Perusahaan-perusahaan anggota yang tergabung dalam aliansi ini telah bekerja bersama-sama untuk menyelenggarakan lebih dari 30 diskusi publik mengenai CCS, membuat bahan-bahan cetak dan video edukasi komunitas dwibahasa, mensponsori acara-acara penting setempat, menyelenggarakan kegiatan-kegiatan kerelawanan yang berdampak untuk meningkatkan sumber daya publik. Semua upaya ini telah menghasilkan lebih dari 20 pernyataan dukungan dari pejabat-pejabat terpilih dan organisasi, liputan media yang positif di pasar setempat, dua resolusi dari pemerintah daerah yang memberikan pengakuan kepada Houston CCS Alliance, dan yang terbaru, penghargaan dari Harris County Commissioner yang memberikan penghargaan kepada Alliance atas bantuannya dalam meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Hingga saat ini the Alliance terus mengikutsertakan masyarakat.

## Pemain-pemain Kunci

Para pemain kunci untuk partisipasi terdiri atas empat kelompok utama: pembuat kebijakan, regulator, pengembang proyek, dan publik. Tabel di bawah (Tabel 3.1) merangkum peran-peran kunci dan sifat partisipasi dari masing-masing kelompok.



**Pembuat Kebijakan** Berbagai lembaga pemerintah dapat dilibatkan dalam membuat kebijakan CCUS yang mungkin memerlukan keikutsertaan multi-pemangku kepentingan. Salah satu mekanismenya adalah dengan melalui kelompok kerja antarlembaga yang mengoordinasikan dan menyelaraskan pembuatan kebijakan, membagikan informasi, menggabungkan rekomendasi dari semua kementerian terkait, menyusun kerangka hukum, dan/atau mendelegasikan penyusunan kerangka tersebut kepada masing-masing lembaga pemerintah, serta mengidentifikasi penggerak seperti hukuman/mandat, termasuk menetapkan target pengurangan emisi nasional secara keseluruhan sebagaimana mestinya. Mekanisme lainnya adalah melakukan penyusunan data inti, misalnya oleh lembaga ilmu pengetahuan pemerintah atau laboratorium milik negara, yang mendukung pembuatan kebijakan. Ini dapat mencakup penilaian potensi CCUS di suatu wilayah yurisdiksi tertentu dan/atau peta jalan yang mendukung pengurangan emisi sebagaimana dijelaskan dalam Bab 5: Peta Jalan untuk Mengembangkan Kerangka Hukum dan Regulasi. Khusus untuk negara yang sedang berkembang, para pembuat kebijakan memiliki peran yang sangat penting dalam mengidentifikasi lembaga pemimpin, bukan hanya untuk merancang dan menjalankan perundang-undangan/peraturan, tetapi juga untuk mengoordinasikan para pemangku kepentingan dan kegiatan tahap persiapan yang mendukung proses regulasi.



**Regulator** Regulator membuat peraturan, mengawasi pelaksanaannya (misalnya, dengan mengkaji permohonan izin), serta menegakkannya. Seringkali regulator diwajibkan untuk memimpin partisipasi publik dalam proyek dan peraturan yang diusulkan. Regulator dapat mengumpulkan opini dan hal-hal yang perlu memperoleh perhatian dari masyarakat setempat melalui pertemuan dan diskusi publik. Regulator seringkali akan memberikan jawaban terhadap opini publik, meskipun pengembang proyek dapat juga memberikan jawaban. Partisipasi/konsultasi publik pada tahapan-tahapan kunci proyek – pemilihan lokasi, operasi, dan penonaktifan – sangat disarankan.




**Pengembang Proyek.** Pengembang proyek memandu penyelesaian proyek berdasarkan rencana bisnis yang sudah dibuat. Tim-tim pengembang proyek dari perusahaan seringkali melakukan upaya partisipasi internal dan eksternal ekstensif untuk memastikan CCUS mendapatkan dukungan di semua unit bisnis dan dari pimpinan. Ketika lokasi proyek sudah ditetapkan, para pengembang proyek dapat melakukan uji coba pemetaan partisipasi pemangku kepentingan dan masyarakat yang bertanggung jawab untuk mengembangkan dan menerapkan rencana partisipasi.



**Masyarakat.** Inti dari partisipasi CCUS adalah masyarakat yang terdampak oleh proyek. Masyarakat yang dimaksud meliputi para pemimpin lokal, pejabat terpilih, pemilik tanah, LSM, dan masyarakat umum. Masalah-masalah yang berkaitan dengan penduduk miskin dan/atau termarginalkan, termasuk status keragaman demografis dari berbagai jenis yang akan terdampak secara signifikan oleh proyek CCUS, penting untuk dicatat dan dipahami. Dari segi hukum, perlu diperhatikan masalah-masalah yang berkaitan dengan ‘kedudukan’ untuk menentukan siapa yang dapat ikut serta secara formal dalam mengajukan keberatan atas keputusan-keputusan yang berkaitan dengan proyek.

Pemain-pemain kunci bertemu dalam berbagai kegiatan untuk turut serta bersama. Sifat kegiatan-kegiatan tersebut dijelaskan di bawah ini:

Tabel 3.1: Kegiatan dan Sifat Partisipasi Pemain Kunci

	Kegiatan	Sifat Partisipasi
Pembuat Kebijakan 	<ul style="list-style-type: none"><li>→ Mengembangkan kebijakan CCUS, mendukung inovasi dan kemitraan publik-swasta</li><li>→ Mengikutsertakan multi-pemangku kepentingan</li><li>→ Menjalankan koordinasi antarlembaga</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>→ Menentukan tingkat partisipasi</li><li>→ Melembagakan berbagai proses melalui satuan tugas</li></ul>

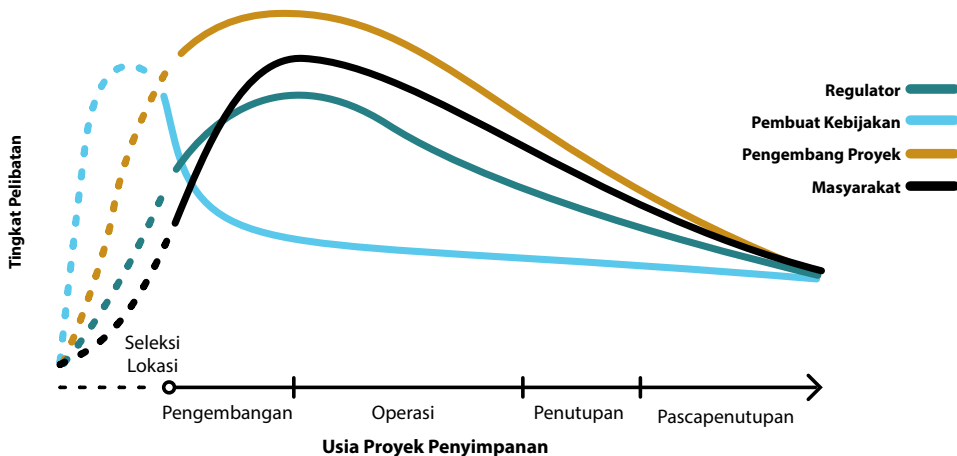


<p>Regulator</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Membuat aturan</li> <li>→ Mengkaji permohonan perizinan</li> <li>→ Mengawasi pengembang proyek dan pelaksanaan partisipasi</li> <li>→ Penegakan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Menetapkan proses partisipasi</li> <li>→ Mendapatkan informasi tentang perkembangan terakhir dari pengembang proyek</li> <li>→ Mengevaluasi dampak</li> <li>→ Meningkatkan tingkat partisipasi</li> </ul>
<p>Pengembang Proyek</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Menjalankan proyek</li> <li>→ Melakukan pemetaan dan evaluasi pemangku kepentingan</li> <li>→ Melakukan dialog dua arah</li> <li>→ Mengembangkan hubungan yang setara dan membangun kepercayaan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Menjalankan proses partisipasi</li> <li>→ Melakukan konsultasi dan negosiasi</li> <li>→ Membahas manfaat, risiko, dan mitigasi</li> </ul>
<p>Masyarakat</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Berpartisipasi dalam dialog</li> <li>→ Mendapatkan informasi</li> <li>→ Menyampaikan hal-hal yang perlu mendapat perhatian dan memastikan adanya penyelesaian</li> <li>→ Memengaruhi pembuat kebijakan dan pengembang proyek</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Melakukan dialog secara berkala dan terus-menerus dengan pengembang proyek</li> <li>→ Menjalin komunikasi dengan regulator</li> <li>→ Memberikan pendapat terhadap analisis dampak lingkungan</li> </ul>

Kelompok-kelompok ini berinteraksi sepanjang berlangsungnya proyek CCUS untuk bertukar rencana, tantangan, pengalaman,

dan pengetahuan praktis agar pembuatan keputusan dapat dilakukan berdasarkan informasi yang utuh. Interaksi keempat kelompok ini sangat penting demi keselamatan dan keberhasilan proyek CCUS.

Sebagaimana ditunjukkan pada gambar di bawah (Gambar 3.3), partisipasi haruslah merupakan proses terus-menerus dengan para pemain utama selama berlangsungnya proyek. Partisipasi bermula bahkan sebelum pemilihan lokasi dilakukan dan berlanjut hingga ke tahap pembangunan, operasi, penutupan, dan pasca-penutupan. Para penulis mengakui bahwa tidak semua proses partisipasi akan mengikuti kurva alamiah seperti diperlihatkan dalam gambar, karena suatu peristiwa pada tahap operasi bisa mengakibatkan lonjakan partisipasi, atau setelah pembangunan tingkat partisipasi bisa berkurang karena masalah-masalah lain yang menyita perhatian para pemangku kepentingan. Namun demikian, untuk membangun hubungan diperlukan waktu, usaha, transparansi, dan perencanaan.



Gambar 3.3: Tingkat partisipasi para pemain kunci selama proyek berlangsung.

# Pengembangan Kapasitas: Fokus Masyarakat

Prinsip-prinsip dasar dan pemain-pemain kunci proyek CCUS telah dibahas. Bagian ini akan membahas proses partisipasi yang berfokus pada masyarakat. Pertama, pahami siapa konstituen Anda melalui pemetaan dan survei. Setelah itu, rancang teknik-teknik penjangkauan berdasarkan jenis pesan dan komposisi masyarakat.

## Memahami Konstituen

Ada banyak pendekatan dan alternatif terhadap partisipasi. Proses-proses ini bergantung pada pemahaman yang baik atas hal-hal yang penting bagi masyarakat setempat dan yang memengaruhi pemangku kepentingan. Pendekatan yang bijaksana dapat dikembangkan dengan menggunakan survei bersasaran yang memetakan atau mengevaluasi perasaan masyarakat terhadap tindakan-tindakan atau tema-tema tertentu. Teknik-teknik ini dapat dengan cepat mengevaluasi segmen-segmen besar dalam masyarakat. Proses partisipasi masyarakat, di mana anggota masyarakat mengidentifikasi metode-metode dan topik-topik partisipasi yang paling penting untuk mereka, juga bisa menjadi teknik yang membantu memahami konstituen.

Partisipasi langsung dengan para pemangku kepentingan juga dapat dilakukan dengan mengadakan pertemuan tatap muka yang membuka kemungkinan tindakan atau tema kepada masyarakat untuk mendapatkan masukan. Acara penjangkauan umumnya terdiri dari pertemuan publik, yang dapat dihadiri oleh banyak konstituen dan diisi dengan berbagai presentasi, tanya jawab, pendapat publik, dan komunikasi tatap muka dengan para pemangku kepentingan tersebut.

Pada dasarnya tidak ada cara tunggal untuk menentukan bagaimana perasaan pemangku kepentingan terhadap suatu persoalan. Oleh karena itu, sering melakukan interaksi dengan para pemangku kepentingan dan dengan berbagai cara sangat diperlukan untuk memastikan gambaran yang masuk akal dapat diperoleh.

Tabel berikut ini (Tabel 3.2) merangkum beberapa metode partisipasi beserta kelebihan dan kekurangannya. Dalam semua kasus, jika prinsip-prinsip partisipasi inti diterapkan, aktivitas-aktivitas ini sangat penting untuk membangun kepercayaan.

Tabel 3.2: Metode penjangkauan dan potensi kelebihan dan kekurangannya.

Metode Penjangkauan	Definisi	Kelebihan	Kekurangan
Survei	Seperangkat pertanyaan untuk mengukur bagaimana perasaan masyarakat terhadap berbagai kegiatan atau isu	Dapat menjangkau banyak orang di masyarakat	Tidak ada interaksi langsung dan tingkat pengembaliannya seringkali rendah; hanya dapat menjangkau sebagian anggota masyarakat
Pertemuan Umum	Sebuah acara di mana informasi disajikan, perwakilan menjawab pertanyaan dari masyarakat, dan mereka menerima pendapat	Pesan dapat memiliki jangkauan yang luas di masyarakat sekaligus. Dapat memahami pertanyaan dan hal-hal yang perlu diperhatikan dan mengakomodasi masukan	Percakapan dapat didominasi oleh sekelompok kecil orang

<b>Penjangkauan Bersasaran</b>	Sebuah acara di mana perwakilan menyajikan rincian proyek. Hal ini bisa mencakup peninjauan lokasi dan tanya jawab	Komunikasi dua arah yang lebih baik	Seringkali melibatkan pengambilan sampel yang lebih kecil dari masyarakat, mungkin hanya para tokoh masyarakat
<b>Kantor/Bilik Umum</b>	Lokasi tetap di mana publik dapat secara bebas belajar tentang proyek dan berinteraksi dengan perwakilan	Mendorong komunikasi satu lawan satu dan berbagi informasi	Banyak partisipasi dengan jumlah jangkauan orang yang lebih sedikit di masyarakat
<b>Penjangkauan Teknis</b>	Presentasi di berbagai pertemuan, simposium, dan forum	Evaluasi teknis terhadap proyek oleh rekan-rekan sejawat	Interaksi dengan sebagian kecil orang yang mengerti teknis di masyarakat
<b>Surat Kabar/ Berita Setempat</b>	Penjangkauan melalui saluran media	Menjangkau masyarakat setempat dan dapat mengikutsertakan pihak ketiga (wartawan) dalam komunikasinya	Tidak ada interaksi langsung; tidak semua orang memiliki akses terhadap berita dan dapat mengikutsertakan pihak ketiga (wartawan) dalam komunikasinya

<b>Situs web</b>	Situs web proyek yang berisi informasi mengenai proyek, teknologi, risiko, dan proses pengambilan keputusannya	Dapat menjangkau banyak orang di masyarakat; platform yang dinamis yang bisa diperbarui seiring perkembangan proyek; dapat diterjemahkan ke dalam beberapa bahasa	Tidak ada interaksi langsung
<b>Pamflet/Iklan</b>	Informasi bersasaran yang digantung atau dibagikan di tempat-tempat umum	Menjangkau masyarakat setempat	Tidak ada interaksi langsung

Seringkali beberapa proses perlu digunakan sekaligus untuk memastikan tingkat partisipasi yang sesuai. Lihat studi kasus tentang Houston CCS Alliance di atas.

## Teknik-Teknik Partisipasi

Ada banyak cara berbagi dan bertukar informasi dengan pemangku kepentingan. Untuk mulai mengikutsertakan masyarakat, hal itu bisa dimulai dengan bertemu dengan tokoh-tokoh penting agar diperoleh pemahaman tentang persoalan-persoalan penting yang mungkin perlu mendapat perhatian lebih sebelum berinteraksi langsung dengan masyarakat.

Pemetaan pemangku kepentingan dapat menjadi alat yang penting guna mendukung kegiatan partisipasi yang efektif (lihat bagian Sumber Daya untuk Partisipasi pada Bab 9: Sumber Daya Tambahan). Pemetaan memberikan kerangka untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan secara visual memetakan potensi individu dan kelompok yang akan diajak untuk ikut

serta, mengidentifikasi peran-peran kunci, menimbang potensi kesamaan dan hambatan, menentukan potensi frekuensi dan prioritas partisipasi, dan mengembangkan pesan-pesan utama.

Para mitra dan fasilitator lokal dapat membantu mengidentifikasi kelompok-kelompok individu tersebut. Pakar yang netral (mis., akademisi) dapat disertakan untuk memberikan pendapat yang tidak memihak tentang kelayakan proyek-proyek seperti itu untuk masyarakat. LSM juga dapat memainkan peranan penting mewakili kepentingan-kepentingan seperti lingkungan hidup atau kesehatan dan keselamatan masyarakat.

Ada juga beberapa teknik komunikasi satu arah yang dapat diterapkan. Penggunaan situs web atau media sosial untuk berinteraksi dengan pemangku kepentingan merupakan aspek penjangkauan yang semakin berkembang. Wawancara dengan media (cetak, radio, sinar, atau televisi) dapat juga dipakai untuk menyebarkan pesan secara meluas kepada masyarakat.

Namun, praktik-praktik panutan menunjukkan bahwa metode komunikasi dua arah – yaitu metode di mana kedua belah pihak menerima dan menyebarkan informasi – lebih unggul. Tantangan teknik ini adalah cara memastikan agar pesan-pesan tentang proyek dapat menjangkau banyak orang di masyarakat.

Pengembang proyek kemungkinan besar akan dituntut untuk hadir langsung di tengah-tengah masyarakat dan menjadi bagian dari masyarakat itu. Cara ini membantu membangun kepercayaan dan memungkinkan terjadinya partisipasi yang lebih sering dan terus-menerus. Banyak cara dapat digunakan untuk mengembangkan rasa kebersamaan, namun tidak ada yang bisa menggantikan kehadiran langsung di tengah-tengah masyarakat. Beberapa pengembang proyek yang berhasil membuka kantor penjangkauan di tengah-tengah masyarakat untuk memungkinkan terjadinya partisipasi sehari-hari.

Contoh di bawah ini mengilustrasikan bagaimana rencana partisipasi dengan masyarakat yang buruk dapat mengakibatkan pembatalan proyek CCUS.



## **Proyek Berendrecht di Belanda Dibatalkan Karena Keikutsertaan Komunitas Tidak Cukup**

Kurangnya penerimaan publik dapat menjadi penyebab utama pembatalan proyek. Salah satu contohnya adalah proyek Barendrecht di Belanda. Proyek itu berencana untuk memisahkan dan menangkap emisi CO<sub>2</sub> dari sebuah kilang minyak sebelum menginjeksikan dan menyimpan 10 Mt CO<sub>2</sub> selama 25 tahun ke dalam ladang gas yang telah habis di bawah kota Berendrecht. Masyarakat khawatir rumah-rumah mereka akan mengalami kerusakan dan nilai properti mereka akan jatuh karena lokasinya berdekatan dengan lokasi penyimpanan. Ada juga sentimen kuat bahwa masyarakat tidak diberi informasi mengenai pembangunan proyek tersebut dan kurang atau bahkan tidak diikutsertakan dalam proses pembuatan keputusan. Selain itu, terdapat perbedaan pendapat antara pihak regulator setempat dan nasional mengenai proses partisipasi publik dan persepsi risiko proyek. Akhirnya, proyek tersebut dibatalkan.<sup>2</sup>



Pengembang proyek telah mengikutsertakan masyarakat dan menginvestasikan waktu dan sumber daya untuk partisipasi masyarakat. Namun, proses partisipasi tersebut dimulai terlalu terlambat. Karena proyek tersebut digagas sebagai proyek komersial murni,<sup>3</sup> masyarakat hampir tidak diikutsertakan dalam proses pelingkupan awal maupun proses pembuatan keputusannya. Setelah proyek tersebut dibatalkan, para pengembang proyek yakin akan pentingnya pelajaran yang didapatkan mengenai partisipasi masyarakat. Mereka menyatakan bahwa “pelajaran terpenting yang didapatkan dari proyek Berendrecht adalah bahwa rasa saling percaya dan komitmen satu pihak kepada pihak lain di antara para pemangku kepentingan dan kepada proyek itu sendiri penting untuk dibangun. Hal itu bisa dilakukan dengan mengikutsertakan seluruh pemangku kepentingan dalam prosesnya di tahap awal dan mengomunikasikan proyek dan prosesnya kepada masyarakat”.<sup>4</sup>

Partisipasi dapat dilakukan dengan cara menghimpun keterampilan, pengetahuan, sumber daya, dan jejaring yang diperlukan untuk memajukan industri CCUS, sebagaimana dijelaskan dalam Bab 4: Pengembangan Kapasitas.

# 4. Pengembangan Kapasitas

---

## Sejumlah Poin Penting

- Negara-negara perlu memastikan bahwa semua pelaku kunci – pembuat kebijakan, regulator, pengembang proyek, dan masyarakat – memiliki kapasitas. Pengembangan kapasitas adalah proses mengembangkan dan meningkatkan keterampilan, pengetahuan, sumber daya, dan jejaring lokal yang diperlukan untuk memajukan industri CCUS.
- Industri CCUS yang sedang berkembang dapat menciptakan lapangan kerja yang berkelanjutan, tetapi tenaga kerja CCUS membutuhkan berbagai macam ilmu pengetahuan, keterampilan teknik, hukum, dan keterampilan lainnya.
- Kegiatan pengembangan kapasitas di antaranya adalah mendirikan pusat pengujian dan pelatihan CCUS, mendukung kegiatan Penelitian, Pengembangan dan Penerapan (*Research, Development, and Deployment [RD&D]*), membina kegiatan magang, dan memfasilitasi jejaring karier.
- Studi kasus dari Amerika Serikat dan Norwegia menunjukkan pentingnya dan potensi dari fasilitas pengembangan kapasitas.

## Pengantar

Pengembangan kapasitas untuk CCUS bertujuan untuk membekali organisasi dan individu dengan keterampilan, pengetahuan, sumber daya, dan jejaring yang diperlukan untuk mengembangkan dan memajukan industri CCUS. Hal ini juga bertujuan untuk mendukung pertumbuhan jejaring yang kuat dan merekrut talenta yang dibutuhkan untuk mempercepat terwujudnya industri yang sedang berkembang ini. Pengembangan kapasitas dapat dilakukan melalui sejumlah pendekatan termasuk transfer pengetahuan, pelatihan, pengembangan tenaga kerja, magang, dan penelitian.

Karena teknologi CCUS umumnya belum dikenal secara luas, keikutsertaan dalam kegiatan pengembangan kapasitas dapat bermanfaat bagi siapa saja yang bekerja secara langsung atau tidak langsung di lapangan. Pengembangan kapasitas di negara-negara dengan proyek-proyek perintis dan kerangka perintis sering kali memfokuskan kegiatan seputar proyek percontohan yang mengarah ke proyek komersial. Di negara-negara berkembang, pertukaran pengetahuan yang mereka peroleh dari proyek-proyek perintis memungkinkan mereka untuk belajar dari apa yang telah dilakukan di tempat lain. Bab ini membahas kebutuhan, tantangan, pengembangan, penelitian akademis, dan penelitian/pengembangan/penerapan (RD&D) terkait tenaga kerja.

## Kebutuhan Tenaga Kerja CCUS

Meskipun sejumlah keterampilan yang dibutuhkan untuk CCUS dapat diperoleh dari industri lain, CCUS mencakup berbagai pertimbangan khusus yang diperlukan untuk melatih ulang tenaga kerja yang ada atau generasi pekerja CCUS berikutnya. Industri CCUS yang sedang berkembang memiliki potensi untuk menciptakan banyak lapangan kerja berkualitas dan menjadi bagian penting dari sektor energi global yang lebih berkelanjutan. Pekerja dibutuhkan selama masa proyek CCUS, mulai dari tahap penangkapan (yang akan membutuhkan lebih banyak personel pelatih dan peralatan), penyaringan di lokasi kerja, seleksi, dan karakterisasi hingga desain dan persetujuan lokasi, konstruksi, operasi, pemantauan pascainjeksi, dan penutupan lokasi (lihat Tabel 4.1 di bawah).

Selain kebutuhan tenaga kerja khusus untuk proyek, para pembuat kebijakan, regulator, tokoh masyarakat, dan pejabat terpilih yang ingin memahami cara memaksimalkan peluang CCUS juga harus membangun kapasitas dan pengetahuan CCUS mereka. Penelitian akademis dapat mendukung penguasaan

topik dan penyertaan topik CCUS ke dalam kurikulum akademis yang dapat membangun minat dan kemampuan dalam CCUS.

Tabel 4.1: Kebutuhan tenaga kerja untuk proyek-proyek CCUS.

<b>Lintas Sektoral</b>	Manajer proyek; professional di bidang kesehatan, keselamatan, dan lingkungan; ahli hidrologi; insinyur listrik; insinyur sipil; ekonom; pengacara; teknisi listrik; juru las; pemasang pipa; pengemudi truk; operator alat berat; petugas keamanan lokasi; analisis keuangan; akuntan; petugas kepatuhan; dan spesialis hubungan masyarakat.
<b>Penangkapan</b>	Insinyur kimia; insinyur mesin; pemodel emisi udara; dan insinyur proses.
<b>Pengangkutan</b>	Insinyur kereta api; kondektur kereta api; petugas operasional pengangkutan; pilot; kapten; buruh pelabuhan; pelaut niaga; personel konstruksi dan pemeliharaan pipa.
<b>Pemanfaatan</b>	Kimiawan; staf penjualan dan pemasaran; dan insinyur material.
<b>Penyimpanan</b>	Geolog; geofisikawan; petrofisikawan; geomekanikawan; insinyur perminyakan; seismolog; hidrogeolog, geokimiawan, profesional layanan minyak dan gas; pengebor dan kru pengeboran; insinyur penyelesaian sumur; dan insinyur pengeboran.

## Tantangan Tenaga Kerja CCUS

Berbagai pekerjaan teknis dan non-teknis diperlukan untuk CCUS. Dari sisi teknis, tenaga kerja bidang minyak dan gas memiliki banyak keterampilan dasar untuk melakukan kegiatan operasional pengangkutan dan penyimpanan CO<sub>2</sub>, dan industri pengolahan kimia dan gas memiliki pengalaman yang berkaitan dengan penangkapan CO<sub>2</sub>. Sebagaimana yang akan dijelaskan

pada Bab 2: Apa itu Penangkapan, Pengangkutan, Pemanfaatan, dan Penyimpanan Karbon?, kebutuhan untuk CCUS jauh melampaui industri saat ini. Oleh karena itu, penting untuk mempercepat terwujudnya industri CCUS yang memiliki jejaring tenaga kerja yang kuat ke universitas, kampus komunitas, lembaga kejuruan, dan program pelatihan khusus. Membangun jejaring yang kuat juga penting untuk memastikan adanya kolaborasi di antara proyek-proyek kompleks di semua rantai nilai CCUS.

## Mengembangkan Tenaga Kerja CCUS

Berikut ini secara singkat menjelaskan beberapa pendekatan untuk mengembangkan kapasitas CCUS dan pada gilirannya tenaga kerja CCUS, termasuk memasukkan pengembangan kapasitas ke dalam kegiatan penyuluhan proyek, membangun jejaring yang kuat, membangun pusat pengujian dan pelatihan CCUS, dan mendukung penelitian akademis.

### **Memasukkan Pengembangan Kapasitas ke dalam Kegiatan Penyuluhan Proyek**

Proyek CCUS di dunia nyata dapat menjadi titik fokus untuk pengembangan kapasitas. Kemitraan industri-pemerintah dapat mendukung pengembangan pengetahuan teknis dan praktik-praktik terbaik melalui implementasi proyek CCUS yang berhasil, dimulai dengan demonstrasi/percontohan lapangan dalam skala kecil dan dilanjutkan dengan peningkatan skala. Semua demonstrasi/percontohan lapangan harus mencakup kegiatan pendidikan dan penyuluhan dan menjadi titik fokus untuk pengembangan kapasitas.

## **Membangun Jejaring yang Kuat**

Ada banyak aspek di seluruh rantai nilai CCUS yang harus diintegrasikan untuk berhasilnya penerapan proyek. Penting untuk membangun jejaring yang kuat yang mendukung kolaborasi dan komunikasi di semua pekerjaan yang diperlukan untuk proyek CCUS, dan industri secara lebih luas.

## **Mendirikan Pusat Pengujian dan Pelatihan CCUS**

Pusat pengujian teknologi adalah tempat untuk menguji dan meningkatkan teknologi CCUS (terutama untuk tahap penangkapan) dengan menyediakan platform untuk pengujian dan pengembangan yang hemat biaya, dan mempercepat penerapan dengan skala yang lebih besar. Pusat-pusat ini juga memungkinkan pengembangan kapasitas dan pelatihan praktis bagi tenaga kerja di masa mendatang serta menyediakan tempat interaksi antara pengembang teknologi dan berbagai pemangku kepentingan, termasuk industri, pembuat kebijakan, regulator, pejabat pemerintah, dan masyarakat umum. Sebagai contoh, seperti yang dijelaskan di bawah ini, adalah Pusat Keunggulan Nasional untuk Penangkapan dan Pemanfaatan Karbon (*National Centre of Excellence in Carbon Capture and Utilization* [NCoE-CCU]) di India.



## Pusat Keunggulan Nasional India untuk Penangkapan dan Pemanfaatan Karbon di India



Gambar 4.1: Peresmian NCoE-CCU. (Atas izin Vikram Vishal)

Pada tahun 2021, Kementerian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Pemerintah India mendirikan Pusat Keunggulan Nasional (NCoE) pertama di Indian Institute of Technology, Bombay. NCoE berperan sebagai pusat penelitian multi-disiplin, penelitian jangka panjang, pengembangan desain, kolaboratif, dan pengembangan kapasitas untuk penelitian mutakhir dan inisiatif yang berorientasi pada aplikasi di bidang penangkapan dan pemanfaatan karbon.



NCoE diberi mandat untuk menentukan tonggak pencapaian, dan memelopori inisiatif sains dan teknologi untuk inovasi CCUS yang berorientasi pada industri di India sambil mengembangkan metodologi baru untuk meningkatkan tingkat kesiapan teknologi CCUS. NCoE sedang mengerjakan konversi CO<sub>2</sub> yang ditangkap menjadi bahan kimia, dan pengangkutan, kompresi, dan pemanfaatan CO<sub>2</sub>, serta *enhanced oil and gas recovery* sebagai jalur manfaat tambahan. NCoE telah mengembangkan metode-metode baru, berkelanjutan berbiaya rendah, dan dapat diskalakan untuk menangkap CO<sub>2</sub> menggunakan sistem penangkapan berbasis air dan konversi garam karbonat dan karbon monoksida. NCoE berperan sebagai penasihat dan mitra pengetahuan untuk beberapa kementerian dalam pemerintah India sambil memberikan akses fasilitas Penelitian & Pengembangan NCoE kepada pihak-pihak lain di dalam negeri. Secara rutin, NCoE menyelenggarakan program-program peningkatan kapasitas, seperti kursus singkat untuk industri dan lainnya.

## Mendukung Penelitian Akademik

Meskipun industri CCUS masih dalam tahap awal, dukungan pemerintah yang berkelanjutan untuk penelitian CCUS di program pascasarjana sangat penting bagi pengembangan kapasitas dan pengembangan tenaga kerja CCUS. Selain dukungan pemerintah untuk pengembangan tenaga kerja CCUS, organisasi-organisasi besar bidang geosains dan teknik melakukan kegiatan pengembangan kapasitas CCUS (seperti lokakarya yang berfokus pada CCUS atau sesi teknis pada pertemuan internasional besar). Lihat bagian Partisipasi di Bab 9: Sumber Daya Tambahan untuk informasi lebih lanjut.

## Mengembangkan Pengalaman Pelatihan yang Terfokus dan Jejaring Karier

Pelatihan dan pendidikan yang terfokus dapat menjadi sarana yang sangat baik untuk pembelajaran yang bertarget. *IEAGHG International Interdisciplinary CCS Summer School*, yang berlangsung sejak 2007 dengan lebih dari 700 alumni dari 60 negara, memberikan kesempatan kepada para ilmuwan dan peneliti muda yang ingin mendapatkan pemahaman yang lebih baik mengenai CCS untuk mengikuti pelatihan mendalam selama satu minggu.<sup>1</sup> Studi kasus berikut ini menjelaskan program pengembangan kapasitas internasional untuk mahasiswa pascasarjana dan profesional awal karier di AS.



## Pengalaman Riset dalam Penyerapan Karbon (RECS): Model Pengembangan Kapasitas untuk Mengembangkan Kepemimpinan, Penyaluran Bakat, dan Jejaring Karier CCUS



Gambar 4.2: Peserta RECS mengunjungi Proyek Citronelle di Alabama, Amerika Serikat di mana CO<sub>2</sub> dari Alabama Power-Plant Barry diangkut melalui pipa dan disuntikkan pada kedalaman 3-3,4 km. (Atas izin Pamela Tomski)

Pada tahun 2004, Kantor Energi Fosil dan Manajemen Karbon Departemen Energi Amerika Serikat memberikan dukungan untuk meluncurkan program Pengalaman Riset dalam Penyerapan Karbon (*Research Experience in Carbon Sequestration* [RECS]) dengan visi untuk membangun tenaga kerja CCUS kelas dunia dan menciptakan komunitas profesional muda untuk membantu memimpin industri CCUS yang sedang berkembang dan transisi energi bersih.

RECS diakui secara luas sebagai pengalaman pendidikan dan pelatihan CCUS yang sangat penting, serta merupakan jejaring karier bagi mahasiswa pascasarjana dan profesional awal karier di Amerika Serikat. RECS menawarkan program intensif tahunan selama 8 hari yang menggabungkan pelajaran di kelas, latihan kelompok, kunjungan ke lokasi CCUS, pelatihan komunikasi, dan kegiatan lapangan CCUS secara langsung. Kegiatan-kegiatan ini mencakup berbagai topik, termasuk sains, teknologi, kebijakan, partisipasi, dan aspek bisnis yang terkait dengan penerapan CCUS. RECS juga menyediakan kesempatan membangun jejaring, partisipasi pemangku kepentingan, dan membangun tim untuk meningkatkan keterampilan partisipasi serta menumbuhkan pengetahuan dan kolaborasi interdisipliner.

Prinsip utama RECS adalah memfokuskan kegiatan pembelajaran di lokasi CCUS dan membangun pemahaman mengenai siklus hidup proyek dan pertimbangan penerapan komersial. Peserta RECS mendapatkan pengalaman langsung yang tak ternilai dan paparan terhadap proyek CCUS di dunia nyata, sehingga memperkuat pemahaman mereka tentang tantangan dan peluang di lapangan, dan membekali peserta dengan keterampilan dan jejaring yang diperlukan untuk menjelajahi lanskap CCUS yang kompleks dan memajukan penerapan CCUS.

RECS adalah katalisator untuk membangun kepemimpinan dan pertumbuhan profesional CCUS, dan para alumni RECS berada di garis depan dalam memajukan CCUS di Amerika Serikat dan seluruh dunia.

RECS memfasilitasi jejaring dan kolaborasi di antara lebih dari 700 alumni RECS yang secara aktif ikut serta dalam semua aspek CCUS, mulai dari pemerintah dan industri hingga LSM dan penelitian akademis. Para alumni berkontribusi pada tenaga kerja CCUS melalui berbagai pekerjaan, termasuk sebagai manajemen proyek, berbagai peran teknis dan perekayasaan, pengembangan bisnis, aspek kebijakan dan peraturan, serta memajukan inovasi dan kewirausahaan melalui perusahaan rintisan mereka sendiri.

RECS berfungsi sebagai model yang berhasil untuk dipertimbangkan oleh negara dan yurisdiksi lain. Program seperti RECS dapat memainkan peran penting dalam membantu membangun tenaga kerja CCUS yang terampil dan beragam, menciptakan dan memelihara jejaring CCUS yang efektif, membangun kapasitas, dan mengembangkan pemimpin CCUS yang akan mendorong penerapan dan menciptakan masa depan yang berkelanjutan.

## Penelitian, Pengembangan, dan Penerapan

Investasi dalam penelitian, pengembangan, dan penerapan (RD&D) secara langsung mendukung strategi dekarbonisasi, mengurangi biaya, meningkatkan efisiensi, menurunkan risiko, dan mengurangi dampak lingkungan untuk CCUS. Kegiatan RD&D juga dapat membantu mempercepat integrasi komponen-komponen CCUS dan penting untuk pengembangan kapasitas.

Program RD&D harus memanfaatkan kemitraan pemerintah-swasta untuk kegiatan pengembangan dan penerapan lebih lanjut. Perhatian tambahan diperlukan di bidang-bidang RD&D berikut ini untuk pengembangan komersial CCUS dengan solusi baru yang terjangkau, dapat ditingkatkan, dan berkelanjutan. Rekomendasi untuk RD&D CCUS yang efektif meliputi:

- **Teknologi Pendukung di Semua Tahap Pengembangan.** Agar berhasil secara komersial, perlu teknologi pendukung di semua tahap pengembangan dan perlu memanfaatkan setiap pengalaman menuju skala yang semakin besar dan proyek yang lebih efisien. RD&D CCUS harus mendukung teknologi dari yang sifatnya pertama kali menjadi yang sifatnya satu-satunya sehingga sektor swasta dapat memanfaatkan pengurangan biaya dari pembelajaran pengalaman untuk menerapkan CCUS secara luas dalam skala komersial.
- **Melanjutkan dan Meningkatkan Penelitian Tahap Awal.** Bagi negara-negara berkembang yang tertarik untuk mempercepat penerapan CCUS (seperti Vietnam, Thailand, Indonesia, Malaysia), penelitian yang mendukung terobosan teknologi sangat penting untuk mengurangi ketergantungan pada teknologi dan menciptakan peluang baru untuk penerapan CCUS.
- **Memperluas Cakupan dan Aplikasi Penelitian.** CCUS dapat diterapkan secara efektif di berbagai sumber CO<sub>2</sub> yang berbeda-beda. RD&D tidak boleh dibatasi hanya pada satu topik saja, tetapi harus mencakup berbagai aplikasi potensial untuk mendorong penerapan teknologi secara luas dan integrasi dengan kegiatan ekonomi yang lebih luas. Untuk negara-negara berkembang yang lebih berfokus pada satu bagian dari rantai nilai CCUS, upaya RD&D pada satu topik tersebut mungkin lebih realistis.
  - **RD&D untuk Penangkapan Karbon.** Penelitian penangkapan yang diperluas sangat penting untuk

mengurangi biaya dan meningkatkan kinerja seiring penangkapan karbon diterapkan pada pembangkit listrik tenaga bahan bakar fosil dan industri manufaktur. Meskipun teknologi penangkapan generasi pertama telah tersedia secara luas dan komersial, RD&D dapat mengoptimalkan dan menurunkan biaya teknologi komersial yang ada, dan membantu mengembangkan teknologi generasi kedua dengan kinerja ekonomi dan teknis yang lebih baik.

- **RD&D untuk Jalur Pemanfaatan.** Meskipun *Enhanced Oil Recovery* (EOR) tetap menjadi pilihan yang layak dan ekonomis untuk penyimpanan CO<sub>2</sub> jangka panjang, banyak sumber penghasil CO<sub>2</sub> yang besar tidak terletak di dekat ladang EOR yang sesuai. Pendapatan EOR juga sangat bergantung pada harga minyak dan mungkin akan menurun seiring dengan transisi dunia ke sumber energi lainnya. Untuk alasan ini, RD&D di bidang penyimpanan dan opsi pemanfaatan non-EOR adalah sangat penting untuk mengembangkan pasar dan peluang pemanfaatan CO<sub>2</sub> yang baru. Peluang RD&D lebih lanjut adalah pada penggunaan dan penggunaan kembali karbon dengan penelitian yang didukung oleh laboratorium dengan menyediakan mekanisme teknologi untuk memanfaatkan CO<sub>2</sub> dan memiliki potensi untuk memberikan manfaat ekonomi dengan menciptakan produk ekspor baru.
- **RD&D untuk Pengangkutan.** Pengangkutan CO<sub>2</sub> merupakan kegiatan yang sudah matang namun tetap dapat memperoleh manfaat dari kegiatan RD&D. Kegiatan RD&D dapat difokuskan pada peningkatan keselamatan, penurunan biaya, dan penemuan rute-rute baru, dan mengoptimalkan moda pengangkutan. Penelitian terhadap material baru juga merupakan

peluang yang dapat mengurangi biaya secara signifikan dan meningkatkan keselamatan pengangkutan.

- **RD&D untuk Penyimpanan.** Melakukan injeksi CO<sub>2</sub> di bawah permukaan tanah membutuhkan pemahaman mendalam tentang proses penyimpanan dan kondisi geologi setempat. Kemajuan dalam penelitian diperlukan untuk meningkatkan teknik karakterisasi lokasi komersial, alat komputasi canggih untuk menangani data dalam jumlah besar, dan sistem pemantauan yang lebih baik.
- **RD&D untuk Masalah Lintas Sektor.** Pengeluaran RD&D dalam ilmu pengetahuan dasar dapat mempercepat terwujudnya inovasi dan terobosan dalam teknologi CCUS. Dukungan untuk analisis pasar yang terintegrasi dapat membantu negara-negara dalam memahami bagaimana CCUS dan strategi lainnya dapat berkontribusi pada tujuan dekarbonisasi dan menentukan jalur solusi yang hemat biaya.

Studi kasus berikut ini, yakni Pusat Penangkapan Karbon Nasional (*National Carbon Capture Center* [NCCC]) di Amerika Serikat dan Pusat Pengujian Mongstad (*Test Center Mongstad* [TCM]) di Norwegia menunjukkan manfaat dari pusat penelitian/pengujian dalam mengembangkan teknologi CCUS.





## Pusat Penangkapan Karbon Nasional (NCCC) di Alabama



Gambar 4.3: Pusat Penangkapan Karbon Nasional.  
(Atas izin Southern Company)

Departemen Energi AS/Laboratoium Teknologi Energi Nasional (*National Energy Technology Laboratory* [NETL]) dan Southern Company mengoperasikan NCCC, sebuah fasilitas penelitian netral yang bekerja untuk memajukan teknologi guna mengurangi emisi gas rumah kaca dari pembangkit listrik berbasis fosil dan proses industri, dan untuk mempromosikan konversi karbon dan inovasi penghapusan karbon, seperti penangkapan udara langsung (DAC).

Berlokasi di Wilsonville, Alabama, fasilitas ini menawarkan tempat uji yang unik untuk evaluasi pihak ketiga terhadap teknologi penangkapan CO<sub>2</sub>, konversi CO<sub>2</sub>, dan DAC yang hemat biaya—menjembatani kesenjangan antara penelitian laboratorium dan demonstrasi serta penerapan skala besar. Pada tahun 2023 saja, lebih dari 50 organisasi pemangku kepentingan mengunjungi dan melakukan tur ke NCCC.

NCCC menawarkan manfaat bagi para pengembang teknologi dengan memberikan mereka kesempatan untuk melakukan pengujian dalam kondisi operasi di dunia nyata di lokasi industri, sehingga mempercepat komersialisasi proses penangkapan dan konversi karbon berbiaya rendah, serta teknologi DAC yang sedang berkembang. Melalui pengujian lebih dari 75 teknologi, untuk para inovator di Amerika Serikat dan enam negara lainnya, NCCC telah berpartisipasi secara langsung dalam mengurangi biaya penangkapan CO<sub>2</sub> dari pembangkit listrik tenaga bahan bakar fosil sebesar lebih dari 40 persen. NCCC mendukung evaluasi teknologi canggih dari pengembang domestik dan internasional. Evaluasi ini sangat penting dalam mengidentifikasi dan menyelesaikan masalah lingkungan, kesehatan dan keselamatan, operasional, komponen, dan pengembangan sistem, serta mencapai peningkatan skala dan peningkatan proses melalui kerja sama dengan para pengembang teknologi. Proyek-proyek yang disponsori Departemen Energi, serta proyek-proyek dari industri, universitas, dan lembaga-lembaga kolaboratif lainnya, menyediakan spektrum teknologi yang lengkap untuk pengujian di Pusat Penelitian ini.

Data kinerja yang dihasilkan dalam pengujian di NCCC telah memvalidasi data laboratorium, sehingga memungkinkan peningkatan skala rekayasa dan, pada gilirannya, mendorong terobosan dalam solusi manajemen karbon. NCCC juga menawarkan bantuan untuk menemukan mitra domestik dan internasional untuk pengembangan. Operasi NCCC telah menyediakan lebih dari 150.000 jam pengujian enzim, membran, bahan penyerap, pelarut, hibrida, dan sistem terkait untuk penangkapan karbon pasca-pembakaran, serta teknologi konversi CO<sub>2</sub> dan teknologi DAC.

NCCC telah menyelesaikan tiga uji coba konversi karbon hingga saat ini, termasuk demonstrasi proses kimiawi Southern Research untuk memproduksi etilena dengan menggunakan CO<sub>2</sub> dari gas buang batu bara dan etana, dan demonstrasi proses mineralisasi CO<sub>2</sub> *CarbonBuilt Reversa™*, yang menggunakan CO<sub>2</sub> dalam gas buang dan sisa pembakaran batu bara untuk menghasilkan beton rendah karbon. Selain itu, NCCC menyelesaikan pengujian pada tahun 2023 dengan Helios-NRG LLC pada teknologi konversi ganggang pertama—sebuah sistem berbasis ganggang kontinu multi-tahap yang baru untuk menangkap CO<sub>2</sub> dari gas buang pembangkit listrik. Pada tahun 2023, NCCC juga menyelesaikan uji coba DAC pertama di lokasi, bekerja sama dengan Dewan Energi Negara-negara Bagian di Selatan dan Aircapture, dan sedang melakukan pengujian tambahan.



## Pusat Teknologi Mongstad (TCM) CO<sub>2</sub> di Norwegia



Gambar 4.4: Pusat Teknologi Mongstad CO<sub>2</sub>, Norwegia.  
(Atas izin Pusat Teknologi Mogstad, tcmda.com)

TCM dimiliki bersama oleh Negara Norwegia dan industri (Equinor, Shell, dan TotalEnergies). Sejak tahun 2012, TCM telah tersedia bagi para peneliti dan pengembang teknologi nasional dan internasional yang ingin menguji dan memverifikasi teknologi penangkapan CO<sub>2</sub>, pengujian komponen, dan pemecahan masalah. TCM juga menawarkan layanan konsultasi tentang penangkapan dan memberikan saran tentang aspek-aspek seperti degradasi pelarut, korosi, masalah emisi, dan penanganan limbah, di mana semuanya merupakan aspek penting dalam proses penangkapan.

Salah satu kontribusi terpenting dari pusat pengujian seperti TCM adalah menguji dan memverifikasi teknologi sebelum dikomersialkan. Hingga saat ini, 23 kali uji coba telah dilakukan di TCM. Misalnya, teknologi penangkapan yang digunakan untuk proyek demonstrasi/percontohan Norwegia, Longship, pertama kali diuji di TCM.<sup>2</sup>

Manfaat yang sering diremehkan dari TCM dan pusat pengujian lainnya adalah efek pengembangan kapasitas setelah keberadaan dan pengoperasian fasilitas tersebut. TCM telah menghasilkan sejumlah besar publikasi dan laporan yang tersedia untuk umum, untuk kepentingan industri, regulator, dan akademisi.<sup>3</sup> TCM memberikan banyak kesempatan untuk membangun kapasitas bagi para peneliti di Norwegia dan luar negeri. Ada perjanjian yang mewajibkan kolaborasi dengan lembaga penelitian, melalui pembagian informasi,<sup>4</sup> dan memungkinkan para peneliti untuk menguji teknologi di pusat pengujian tersebut.<sup>5</sup> TCM lebih lanjut memprakarsai dan mengambil bagian dalam Jaringan Pusat Pengujian Internasional, yang bertujuan untuk berbagi pengetahuan yang mungkin penting untuk menyempurnakan dan mengomersialkan CCS secara global.<sup>6</sup> Dalam jaringan ini, ada anggota uji coba dari Tiongkok, Jepang, dan Korea Selatan,<sup>7</sup> sehingga memungkinkan kawasan Asia mendapatkan manfaat dari lebih 10 tahun beroperasinya TCM, serta pengetahuan dan keahlian dari pusat pengujian lain dari Eropa, AS, Kanada, dan Australia.

## **Pembuat Kebijakan dan Regulator**

Sumber daya yang dijelaskan di atas tidak hanya dapat digunakan secara domestik, tetapi juga dapat digunakan untuk membangun keahlian yang relevan di kalangan pemerintahan (seperti misalnya pembuat kebijakan dan regulator). Inisiatif pertukaran bilateral dan multilateral terjadi di pemerintah Amerika Serikat dan pemerintah lainnya yang memberikan kesempatan untuk penyediaan bantuan teknis dan kerja sama.

Berbagi pengetahuan di antara para perintis tidak hanya penting untuk pengembangan teknis CCUS, tetapi juga untuk pengembangan kerangka legal dan regulasi, sebagaimana yang dijelaskan dalam Bab 5: Peta Jalan untuk Mengembangkan Kerangka Hukum dan Regulasi.

# **5. Peta Jalan untuk Mengembangkan Kerangka Hukum dan Regulasi**

---

## Sejumlah Poin Penting

- Untuk membangun suatu industri CCUS yang bertumbuh dan aman, negara perlu mengembangkan kerangka. Kerangka CCUS terdiri dari kebijakan-kebijakan, hukum-hukum, undang-undang, peraturan-peraturan, dan instrumen-instrumen terkait yang menetapkan ketentuan-ketentuan bagi para pelaku kunci untuk membangun proyek CCUS.
- Untuk menciptakan kerangka yang berhasil, Buku Panduan ini menawarkan proses enam tahap, yang diawali dengan penilaian kebijakan-kebijakan yang telah ada di suatu negara untuk menetapkan suatu kebijakan (atau strategi) negara untuk CCUS.
- Tahap keempat dalam proses enam tahap ini adalah menciptakan kerangka. Negara dapat memutuskan apakah ingin mengadopsi seluruh legislasi baru untuk menciptakan suatu kerangka CCUS yang berdiri sendiri; atau mengadaptasi legislasi yang telah ada pada suatu kerangka lama (seperti kerangka minyak dan gas). Negara juga dapat memanfaatkan standar-standar dan sumber-sumber eksternal atau tidak. Tidak ada suatu jalan tunggal yang “benar”.
- Mengingat tidak ada jalan tunggal yang benar, suatu kerangka CCUS yang berhasil harus mencakup seluruh bagian CCUS guna memastikan bahwa kegiatan regulasi oleh berbagai instansi pemerintah dapat dikoordinasikan.
- Jepang dan Norwegia memberikan contoh-contoh tentang bagaimana proyek CCUS dapat berlanjut meskipun tanpa adanya suatu kerangka CCUS yang dikembangkan secara penuh.

## Pengantar

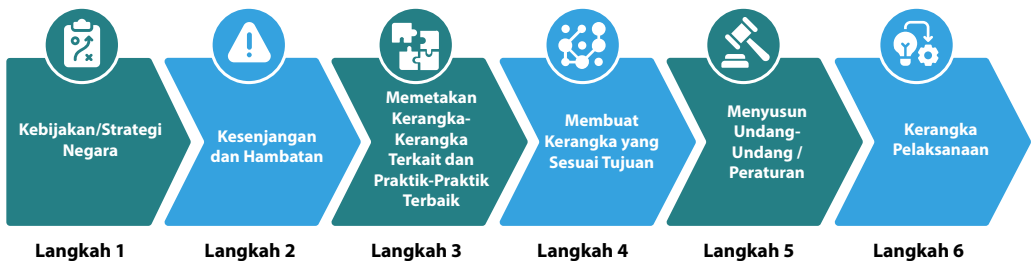
Kerangka CCUS adalah seperangkat kebijakan, hukum, undang-undang, peraturan, dan sekelompok instrumen hukum yang menyediakan struktur guna menopang pengembangan industri



CCUS dan perlindungan terhadap lingkungan. Kerangka diperlukan baik oleh sektor publik maupun sektor swasta untuk membantu memastikan prediktabilitas, operabilitas, akuntabilitas, transparansi, dan *bankability* proyek CCUS.

## Peta Jalan Pengembangan Kerangka

Ada banyak cara untuk menetapkan suatu kerangka CCUS. Suatu pendekatan dapat mencakup kombinasi enam tahapan berikut ini sebagaimana diilustrasikan di bawah ini:<sup>1</sup> Menilai dan merevisi kebijakan atau strategi nasional suatu negara; mengidentifikasi kesenjangan dan hambatan dalam kerangka yang telah ada; memetakan kerangka-kerangka terkait dan praktik-praktik terbaik dengan menggunakan sumber daya yang tersedia; mengembangkan kerangka yang sesuai dengan tujuan; merancang peraturan perundangan; dan mengimplementasikan kerangka tersebut.



## Tahap 1: Kebijakan/Strategi Negara



CCUS penting untuk dimasukkan dalam dokumen-dokumen kebijakan dan strategi nasional. Hal ini akan menetapkan arah untuk pengembangan kerangka CCUS. Juga, di banyak negara, diperlukan persetujuan pemerintah sebelum dibuatnya dan diberlakukannya undang-undang. Oleh karena itu, suatu kebijakan di tingkat nasional (atau suatu 'dokumen strategi') yang mencakup CCUS dan mengidentifikasi kementerian/instansi yang memimpin sangat penting untuk mendukung pengembangan hukum dan regulasi. Sangat direkomendasikan adanya suatu strategi partisipasi pemangku kepentingan untuk mengembangkan dan berbagi kebijakan atau strategi.

Tahap pertama dalam menetapkan kerangka CCUS adalah menilai kebijakan-kebijakan dan strategi-strategi negara yang ada untuk menentukan apakah CCUS telah dimasukkan. Mengingat CCUS adalah suatu teknologi mitigasi iklim, CCUS dapat dimasukkan sebagai bagian dari strategi mitigasi emisi yang merupakan bagian dari target iklim negara. Contohnya, Pemerintah Malaysia telah mengidentifikasi CCUS sebagai inisiatif kunci dalam Pengungkit Transisi Energinya.<sup>2</sup> Di India, NITI Aayog, suatu lembaga pemikir kebijakan Pemerintah India, telah menerbitkan suatu laporan strategis yang menguraikan intervensi-intervensi kebijakan secara luas yang diperlukan di berbagai sektor untuk penerapan CCUS.<sup>3</sup>

Ketika mengembangkan suatu kebijakan/strategi negara, pertimbangan-pertimbangannya mencakup mengidentifikasi industri-industri yang terkait, menentukan peran Negara, menetapkan kepemilikan/liabilitas/akses, menghimpun sumber daya, dan menentukan opsi-opsi keuangan.

→ **Industri Terkait.** Para produsen listrik, migas, bahan kimia, semen, dan baja. Suatu pendekatan bertahap terhadap

pengembangan kerangka seringkali dapat membantu memfokuskan upaya-upaya dan mempercepat jadwal untuk selanjutnya meningkatkan skala sesuai peraturan perundangan industri secara umum.

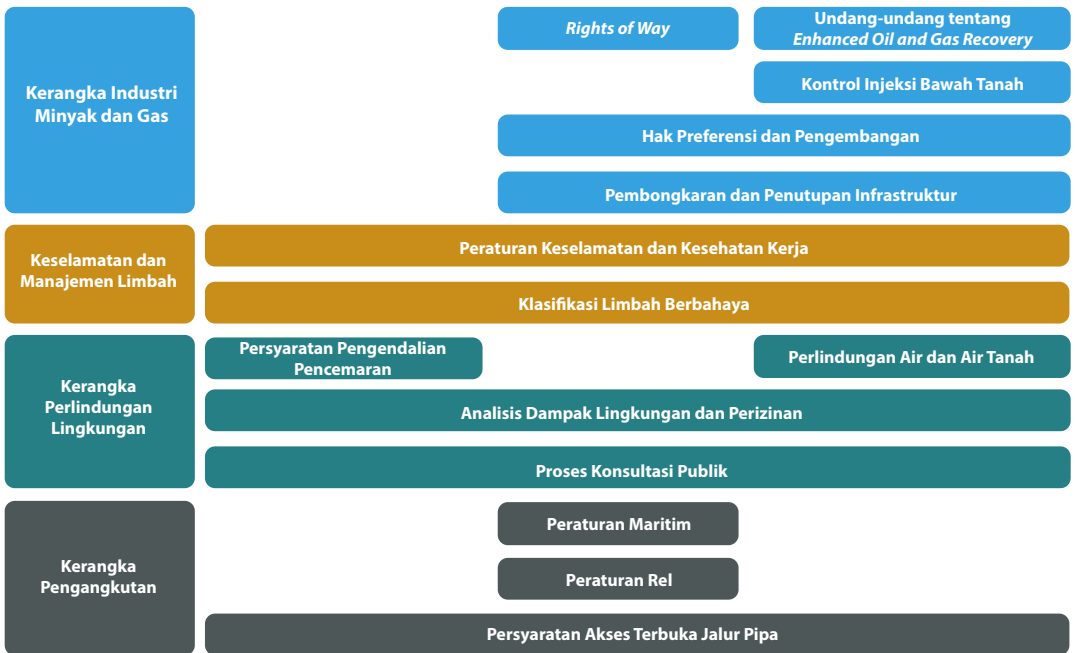
- **Peran Negara.** Meregulasi atau mendelegasikan kewenangan kepada pemerintah-pemerintah daerah.
- **Kepemilikan, Liabilitas, Akses.** Untuk pengangkutan dan penyimpanan, termasuk peran kontrak-kontrak swasta. Pertimbangkan apakah Negara akan menanggung tanggung jawab atas pengelolaan jangka panjang untuk penyimpanan dan bagaimana menentukan hak-hak dan akses lahan (permukaan/di bawah permukaan).
- **Sumber Daya.** Dalam negeri dan internasional. Bab 6: Sumber Daya dan Tanggung Jawab atas Kerangka membahas hal ini dengan lebih terperinci.
- **Insentif/Mandat Keuangan.** Membantu mendorong penerapan CCUS. Bab 7 membahas hal ini dengan lebih terperinci.



Penangkapan

Pengangkutan

Penyimpanan



Gambar 5.2: Contoh-contoh peraturan saat ini yang mungkin terkait dengan aktivitas CCUS (diadaptasi dan diperluas dari IEA 2022: Buku Panduan Hukum dan Regulasi CCUS, hal. 24)

## Tahap 2: Kesenjangan dan Hambatan



Tahap 2 melibatkan pelaksanaan suatu analisis kesenjangan dan hambatan atas instrumen hukum dan instrumen regulasi terkait CCUS yang ada untuk menentukan apakah kerangka-kerangka yang ada (seperti kerangka-kerangka yang digunakan untuk CO<sub>2</sub> EOR) dapat ditujukan ulang guna menopang aktivitas CCUS atau apakah diperlukan suatu kerangka regulasi baru. Suatu kajian dari Bank Dunia mendapati bahwa banyak negara yang sudah memiliki banyak instrumen hukum yang diperlukan untuk mendukung suatu kerangka CCUS seperti Analisis Mengenai Dampak Lingkungan, klasifikasi hukum untuk CO<sub>2</sub>, kriteria perizinan untuk jalur pipa, penanganan emisi dan limbah, dll.<sup>4</sup>

Instrumen-instrumen ini dapat berpotensi membentuk bagian dari suatu kerangka CCUS. Contohnya, Pemerintah Norwegia mendapati Peraturan dan Undang-Undang Minyak Bumi di negaranya cukup luwes untuk memasukkan penangkapan, pengangkutan, dan penyimpanan CO<sub>2</sub> dari proses produksi gas alam lepas pantai tanpa amendemen apa pun. Di Jepang, para pembuat regulasi nasional mendapati bahwa beberapa kesenjangan dalam kerangka dapat ditangani untuk mengakomodasi aktivitas-aktivitas baru. Gambar sebelumnya (Gambar 5.2) mengilustrasikan contoh-contoh regulasi yang mungkin terkait dengan suatu kerangka CCUS.

## Tahap 3: Sumber Daya Pengembangan Kerangka



Tahap 3 melibatkan pemetaan kerangka hukum/regulasi yang terkait dan pengidentifikasian praktik-praktik terbaik. Beberapa sumber daya yang tersedia secara umum dapat dimanfaatkan

selama proses pemetaan, sebagaimana diuraikan dalam Bab 6: Sumber Daya dan Tanggung Jawab atas Kerangka.

#### **Tahap 4: Pembuatan Kerangka yang Sesuai Tujuan**



Tahap 4 melibatkan pembuatan kerangka CCUS yang sesuai tujuan, dengan menggunakan berbagai sumber daya yang diuraikan dalam Tahap 3. Suatu kerangka yang sesuai tujuan dapat dikembangkan sebagai suatu kerangka CCUS yang berdiri sendiri atau sebagai suatu amendemen terhadap suatu kerangka yang telah ada. Apabila belum ada kerangka yang ada, sumber-sumber eksternal dapat digunakan untuk mengembangkan suatu kerangka yang dibuat sesuai tujuan.

#### **Tahap 5: Perancangan Peraturan Perundang-undangan**



Berdasarkan hasil dari Analisis Kesenjangan (Tahap 2), dimungkinkan untuk memberlakukan atau mengamendemen suatu undang-undang yang ada dengan memberikan penjelasan terkait kelayakan proyek-proyek CCUS. Terkadang suatu proses yang lebih ketat diperlukan untuk merancang peraturan perundang-undangan yang baru.

#### **Tahap 6: Implementasi Kerangka**



Tahap akhir adalah implementasi kerangka. Beberapa aktivitas dan pertimbangan dalam tahap ini meliputi hal-hal berikut ini:

- Mengidentifikasi instansi-instansi yang berfungsi mengawasi kepatuhan dan pelaksanaan peraturan perundang-undangan
- Mengembangkan perangkat untuk perizinan, pemantauan, pelaporan, dan verifikasi
- Menyediakan sumber daya dan templat daring untuk kebutuhan permohonan dan pelaporan
- Mengembangkan dan menyediakan sumber daya seperti atlas geologi dan data perizinan
- Menyediakan program pengembangan dan pelatihan kapasitas bagi para pembuat regulasi, industri, dan para pihak lainnya
- Mengadakan uji coba atas kerangka, seperti melalui proyek demonstrasi/percontohan yang digabungkan dengan rencana partisipasi

Akhirnya, meskipun aktivitas-aktivitas ini terdapat dalam Tahap 6, semua aktivitas tersebut sangat penting dalam membantu keberhasilan penerapan proyek-proyek CCUS. Contohnya, keberhasilan pertumbuhan pesat jumlah proyek penangkapan karbon bergantung pada kemampuan untuk secara tepat waktu memperoleh perizinan. Keterlambatan perizinan dapat menimbulkan risiko proyek yang signifikan karena ketidakpastian dalam penentuan waktu untuk menerima persetujuan proyek, yang dengan demikian hal itu dapat mengancam pembiayaan proyek dan keseluruhan pelaksanaan. Penetapan jadwal perizinan yang jelas akan meningkatkan efisiensi proses dan memberikan kepastian yang lebih baik bagi para pengembang proyek.

Bab 6: Sumber Daya dan Tanggung Jawab atas Kerangka menyediakan sumber daya yang tersedia, dari penggunaan standar, perintis, dan konvensi-konvensi internasional, yang dapat dimanfaatkan ketika mengembangkan suatu kerangka hukum dan regulasi dalam negeri.

# **6. Sumber Daya dan Tanggung Jawab atas Kerangka**

---



## Sejumlah Poin Penting

- Ketika membuat kerangka untuk CCUS, pembuat kebijakan dapat memanfaatkan sejumlah sumber daya termasuk standar internasional seperti yang dikembangkan oleh Organisasi Internasional untuk Standardisasi (ISO), serta legislasi CCUS yang sudah ada dari Amerika Serikat, Uni Eropa, dan lainnya.
- Selain itu, ketika membuat kerangka, pembuat kebijakan harus mempertimbangkan berbagai konvensi internasional yang ada. Konvensi-konvensi ini mungkin tidak hanya mewajibkan negara untuk mengatur proyek CCUS dengan cara tertentu, tetapi juga dapat menjadi sumber panduan.
- Project Greensand adalah contoh bagaimana dua negara menggunakan standar internasional dan konvensi internasional dalam proyek CCUS.

## Pengantar

Ada beberapa sumber daya yang tersedia untuk kepentingan umum, termasuk standar internasional dan kerangka perintis, yang dapat dimanfaatkan untuk membantu membangun kerangka CCUS. Beberapa sumber daya ini disajikan dalam bab ini.

- Standar-standar internasional, terutama yang berasal dari ISO/TC 265 Penangkapan, Pengangkutan, dan Penyimpanan Geologi, dapat membantu mengembangkan kerangka CCUS yang spesifik untuk setiap negara.
- Kerangka perintis dapat memberikan panduan untuk pengembangan kerangka regulasi, termasuk Kerangka Hukum dan Regulasi IEA untuk CCUS.<sup>1</sup>

- Model-model regulasi juga tersedia untuk pengangkutan dan penyimpanan CO<sub>2</sub> lintas batas.
- Konvensi-konvensi internasional mungkin juga diperlukan, tergantung sifat proyek CCUS-nya.

## Standar-standar Internasional

Standar-standar internasional, khususnya yang dikembangkan oleh ISO/TC 265 Penangkapan, Pengangkutan, dan Penyimpanan Geologi dapat membantu mengembangkan kerangka CCUS yang spesifik untuk setiap negara.

Standar-standar ini dikembangkan melalui hasil kesepakatan dari para anggota Organisasi Internasional untuk Standardisasi (ISO). Keanggotaan ISO terdiri dari negara-negara dan petugas penghubung yang diwakili oleh para ahli internasional di bidangnya yang berkumpul di bawah komite teknis untuk merumuskan spesifikasi/panduan/definisi berdasarkan praktik-praktik terdepan. Para anggota tersebut kemudian menentukan standar melalui pemungutan suara dan jika disetujui, standar tersebut biasanya ditinjau dan diperbarui setiap lima tahun. Standar bersifat tidak memaksa dan tidak dapat digunakan untuk menggantikan regulasi atau hukum yang ada. Namun, standar dapat dirujuk, dimasukkan, atau diadopsi ke dalam sebuah regulasi. Ketika yurisdiksi-yurisdiksi mengadopsi suatu standar, maka standar tersebut dapat membantu menyelaraskan peraturan dan undang-undang di semua yurisdiksi.

ISO/TC 265 didirikan pada tahun 2011 dan saat ini masih aktif. Beberapa kelompok kerja menangani isu-isu yang berkaitan dengan penangkapan CO<sub>2</sub>, pengangkutan lewat pipa, penyimpanan geologis, masalah-masalah lintas sektoral, *enhanced oil recovery*, dan pengapalan. Isu-isu yang berkaitan dengan kuantifikasi dan verifikasi dibagi di antara masing-

masing kelompok kerja. Pada tanggal penerbitan buku panduan ini, di dalam ISO/TC 265 ada 28 negara anggota peserta, 16 negara anggota pengamat, dan beberapa *liaisons*.<sup>2</sup> Setelah ISO/TC 265 mengumumkan sebuah standar, badan standar nasional suatu negara dapat mengadopsi standar tersebut secara keseluruhan atau sebagian (lihat studi kasus ISA 27914 di bawah ini). Namun, adopsi tersebut bukan berarti bahwa standar tersebut telah dimasukkan ke dalam kerangka hukum. Implementasinya berada di tangan regulator suatu negara masing-masing.



## ISO 27914

ISO 27914 dikembangkan pada tahun 2017 dan mencakup penyimpanan geologis CO<sub>2</sub>. Standar ini saat ini sedang direvisi berdasarkan ISO/TC 265 untuk menambahkan bagian kuantifikasi dan verifikasi untuk penyimpanan tanpa produksi hidrokarbon dan memasukkan pengalaman yang ada sejak ISO 27914 dipublikasi. Proses revisi ini diharapkan akan selesai pada tahun 2025.

ISO 27914 telah diadopsi oleh Jepang dan Kanada, dan dirujuk oleh regulator-regulator di Norwegia dalam pedoman-pedoman mereka terkait regulasi keselamatan CO<sub>2</sub>. ISO 27914 juga telah dirujuk dan digunakan di sejumlah proyek, termasuk proyek penyimpanan CO<sub>2</sub> Greensand di Landas Kontinen Denmark,<sup>3</sup> dan di proyek-proyek pada formasi geologis Rusia di dalam area lisensi Yamal dan Gydan. Kedua area lisensi ini telah disertifikasi sesuai dengan ISO 27914, yang mengonfirmasi kepatuhan terhadap 27914, misalnya, untuk proses pemilihan lokasi dan estimasi kapasitas penyimpanan.<sup>4</sup>

Contoh di bawah ini menjelaskan bagaimana Pusat Penyimpanan dan Penangkapan Karbon Indonesia telah memanfaatkan sumber daya internasional untuk memajukan CCUS di dalam negeri, termasuk dengan bergabung dalam ISO/TC 265 sebagai anggota yang memiliki hak suara.



## **Pusat Penangkapan dan Penyimpanan Karbon Indonesia memanfaatkan sumber daya internasional untuk memajukan CCUS**



Gambar 6.1: Para Pimpinan Pusat Penangkapan dan Penyimpanan Karbon Indonesia (Atas izin “Pusat”)

Pada tahun 2023, Pusat Penangkapan dan Penyimpanan Karbon Indonesia (“Pusat”) diresmikan, dan dipimpin oleh tim ahli di bidang teknik, sains, kebijakan, dan bisnis. Beberapa anggota diperbantukan dari lembaga-lembaga penting di Indonesia, termasuk perusahaan minyak negara Pertamina dan Kementerian Maritim dan Investasi.

Pembentukan Pusat ini didorong oleh tuntutan imperatif untuk menjadi sumber daya khusus untuk mempercepat pengembangan teknologi CCUS di Indonesia melalui penelitian, inovasi, dan advokasi.

Pusat ini telah memfasilitasi sejumlah kegiatan diskusi antarpemerintah mengenai kerja sama lintas batas CCUS, telah berpartisipasi dalam berbagai acara diskusi di tingkat internasional, telah menjadi tuan rumah forum CCUS internasional pertama di Indonesia, dan telah mendukung partisipasi badan standar nasional Indonesia sebagai anggota yang memiliki hak suara di ISO/TC 265. Pusat ini secara aktif ikut serta dalam mengembangkan kerangka kregulasi CCUS dan mendukung program inisiatif antara sesama pelaku bisnis di tingkat domestik dan regional.

## Kerangka Perintis

Kerangka yang dikembangkan oleh mereka yang mengawasi proyek-proyek CCUS yang sudah ada (perintis) dapat memandu pembuatan undang-undang dan regulasi yang baru. Contoh kerangka perintis meliputi:

- Uni Eropa menerbitkan kerangka komprehensif untuk penyimpanan CO<sub>2</sub> pada tahun 2009 melalui Perintah 2009/31/EC tentang penyimpanan geologis karbon dioksida (Perintah EU CCS).
- Badan Energi Internasional (IEA) menerbitkan contoh kerangka regulasi untuk CCS, dengan memanfaatkan kerangka dari Australia, Eropa, dan Amerika Serikat.<sup>5</sup>
- Program Kelas VI Pengendalian Injeksi Bawah Tanah di Amerika Serikat dibahas dalam studi kasus di bawah ini.



## Program Kelas VI UIC Amerika Serikat '*Primacy*'

Instrumen regulasi utama untuk penyimpanan CO<sub>2</sub> di Amerika Serikat adalah Program Kelas VI Pengendalian Injeksi Bawah Tanah (*Underground Injection Control* [UIC]) (menurut Undang-Undang Air Minum yang Aman). Tujuan dari program UIC adalah untuk melindungi sumber air minum bawah tanah dari kegiatan injeksi. Program Kelas VI ini memberikan persyaratan untuk injeksi CO<sub>2</sub> untuk penyerapan geologis permanen. Regulasi ini saat ini dikelola di tingkat federal kecuali di tiga negara bagian (North Dakota, Wyoming, dan Louisiana) yang telah menerima persetujuan EPA untuk mengelola program Kelas VI tersebut (disebut sebagai persetujuan untuk '*primacy*'). EPA memiliki sejumlah dokumen panduan yang terkait dengan Kelas VI UIC yang mungkin berguna untuk pengembangan kerangka CCUS di yurisdiksi lain.<sup>6</sup>

Tanggung jawab dan penata-layanan untuk lokasi penyimpanan CO<sub>2</sub> adalah masalah penting yang perlu dipertimbangkan ketika memberlakukan kerangka legal untuk CCUS. Contoh Kerangka Model IEA memberikan beberapa panduan terkait topik ini.



## Contoh Kerangka Model IEA: Tanggung Jawab dan Penatalayanan Jangka Panjang

Contoh Kerangka Model IEA adalah contoh kerangka perintis. Ada beberapa isu yang terkait dengan tanggung jawab, termasuk alokasi risiko dan tanggung jawab selama fase pengangkutan dari titik tangkap ke lokasi penyimpanan. Ada beberapa isu yang terkait dengan tanggung jawab, termasuk alokasi risiko dan tanggung jawab selama fase pengangkutan dari titik tangkap ke lokasi penyimpanan.

Contoh Kerangka Model IEA berpendapat bahwa masalah tanggung jawab jangka panjang umumnya dijawab dengan salah satu dari tiga cara berikut ini: dibuat sebuah ketentuan untuk mengalihkan tanggung jawab kepada otoritas terkait, tanggung jawab jangka panjang secara eksplisit berada di tangan operator, atau tanggung jawab jangka panjang tidak dibahas secara eksplisit.<sup>7</sup> Jika tanggung jawab tidak dibahas secara eksplisit, maka diasumsikan bahwa operator tetap bertanggung jawab atas tempat penyimpanan seterusnya.<sup>8</sup> Aturan Kelas VI mewajibkan perawatan tempat pasca-injeksi selama 50 tahun, di mana selama itu operator harus memantau *plume* CO<sub>2</sub> untuk memastikan segala sesuatunya berjalan sesuai rencana. Operator harus terus bertanggung jawab secara finansial selama masa ini. Beberapa negara bagian telah mengembangkan kerangka pertanggungjawaban jangka panjang yang akan berlaku setelah periode perawatan lokasi pasca-injeksi (seperti negara bagian Louisiana).

Di 30 negara yang telah mengubah Perintah CCS Uni Eropa, situasinya berbeda. Dalam Perintah CCS, ditetapkan bahwa operator bertanggung jawab penuh atas lokasi penyimpanan hingga saat pengalihan tanggung jawab, yang akan terjadi paling lama 20 tahun setelah injeksi dihentikan dan lokasi ditutup. Jangka waktu pengalihan tanggung jawab bisa lebih pendek dari periode 20 tahun yang ditentukan dalam Perintah CCS, yakni ketika otoritas yang berwenang merasa puas bahwa syarat utama pengalihan tanggung jawab telah dipenuhi pada tanggal yang lebih awal. Pengalihan tersebut berarti bahwa regulator mengambil alih tanggung jawab dan pengelolaan lokasi penyimpanan. Namun, hal ini tergantung apakah operator dapat mendemonstrasikan bahwa "CO<sub>2</sub> yang disimpan akan sepenuhnya dan secara permanen terpendam rapat".<sup>9</sup> Tidak disebutkan bagaimana demonstrasi tersebut dilakukan, tetapi aspek yang penting adalah menunjukkan bahwa lokasi penyimpanan dan *plume* CO<sub>2</sub> berperilaku stabil seperti perkiraan. Regulator dapat menggunakan daftar periksa dalam perizinan, standar teknis, dan praktik terbaik untuk memungkinkan pendekatan yang lebih dapat diprediksi dan transparan terhadap demonstrasi tersebut.

## Konvensi-konvensi Internasional

Sejumlah undang-undang pengangkutan lintas batas, regulasi internasional, dan perjanjian internasional mungkin relevan dengan proyek-proyek CCUS lintas batas internasional dan pengembangan kerangka nasional. Mungkin tidak semua dari tiga hal ini telah diratifikasi atau relevan secara geografis bagi para pembuat kebijakan yang dibahas dalam buku pegangan ini. Namun, ketiga hal tersebut mungkin berisi mekanisme atau



teks yang mungkin informatif atau potensial dilihat pertama kali ketika hendak mengimplementasikan kerangka untuk CCUS. Tabel di bawah ini (Tabel 6.1) merangkum beberapa kerangka internasional utama.

Tabel 6.1: Konvensi-konvensi Internasional.

**Konvensi  
Perserikatan  
Bangsa-Bangsa  
tentang Hukum  
Laut (1982)  
(UNCLOS)**

UNCLOS tidak secara tegas mengatur kegiatan CCUS. Ketentuan-ketentuannya dapat berdampak jika kegiatan CCUS dianggap sebagai "polusi". Menurut Pasal 210 UNCLOS, pembuangan adalah bentuk polusi. Saat ini, belum ada pendapat yang konklusif mengenai apakah pengangkutan CO<sub>2</sub> ke anjungan injeksi lepas pantai atau injeksi CO<sub>2</sub> ke dalam formasi geologis bawah laut merupakan pembuangan dan/atau pencemaran menurut UNCLOS. Lebih lanjut, Pasal 195 UNCLOS mengharuskan negara-negara "untuk tidak memindahkan, baik secara langsung maupun tidak langsung, kerusakan atau bahaya dari satu wilayah ke wilayah lain".

**Protokol 1996  
untuk Konvensi  
Pencegahan  
Pencemaran Laut  
oleh Pembuangan  
Limbah dan Bahan  
Lain, 1972. (Protokol  
London)**

Protokol London adalah instrumen hukum internasional yang komprehensif untuk perlindungan lingkungan laut. Protokol ini juga merupakan perjanjian internasional yang paling sering dibahas dalam konteks pengangkutan CO<sub>2</sub>. Meskipun banyak negara berkembang, terutama di Asia-Pasifik, bukan merupakan Negara Penandatangan Protokol, mereka tidak dilarang untuk mengimpor/mengekspor CO<sub>2</sub> dengan Negara Penandatangan.<sup>10</sup> Protokol London pada awalnya melarang ekspor CO<sub>2</sub> untuk disimpan di lepas pantai karena dianggap sebagai pembuangan di laut, yang notabene dilarang (Pasal 6 menyatakan, "Negara Penandatangan dilarang mengizinkan ekspor limbah atau hal lain ke negara lain untuk dibuang atau dibakar di laut"). Pada 2009, amendemen terhadap Protokol London diusulkan untuk mengizinkan ekspor CO<sub>2</sub> untuk dibuang jika negara-negara yang bersangkutan mengadakan perjanjian (tidak harus berupa kontrak). Amendemen ini belum diberlakukan; namun, para pihak telah mengadopsi resolusi tentang penerapan sementara. Tindakan ini sekarang mendukung CO<sub>2</sub> lintas batas. Suatu negara pengekspor yang juga Penandatangan Protokol London bertanggung jawab untuk menunjukkan bahwa kerangka peraturan perundang-undangan negara pengimpor telah sesuai dengan persyaratan Protokol London.

Beberapa negara yang belum memiliki kerangka untuk penyimpanan CO<sub>2</sub> sedang mempertimbangkan untuk tunduk pada Protokol London dan menggunakan ketentuan-ketentuan protokol tersebut sebagai dasar untuk kerangka nasional mereka.

	<p>Organisasi Maritim Internasional (<i>International Maritime Organization</i> [IMO]) menjadi tuan rumah sekretariat untuk Protokol London dan para pihaknya. IMO memfasilitasi berbagi pengetahuan melalui situs webnya dengan memberikan akses ke dokumen panduan dan resolusi,<sup>11</sup> dan lebih jauh lagi dengan membantu Negara Calon Penandatanganan baru secara langsung dan dengan memfasilitasi kontak dengan Negara Penandatanganan lainnya. Bantuan ini dapat berupa saran tentang cara menjadi Negara Penandatanganan dan cara mengimplementasikan kerangka yang sesuai dengan Protokol. IMO juga memiliki sejumlah dokumen panduan yang dijual di basis data mereka, beberapa di antaranya berhubungan dengan CCS.<sup>12</sup> Protokol London memiliki 54 Negara Penandatanganan, banyak di antaranya dari kawasan Asia-Pasifik.<sup>13</sup></p>
<p><b>Konvensi Basel (1989)</b></p>	<p>Konvensi Basel menetapkan bahwa perdagangan internasional limbah berbahaya tunduk pada persetujuan atau penolakan sebelumnya dari negara penerima. Tidak jelas apakah CO<sub>2</sub> merupakan limbah berbahaya dalam Konvensi Basel. Tanpa klarifikasi lebih lanjut, hal ini dapat menimbulkan tantangan prosedural lebih lanjut bagi pemberlakuan persyaratan yang lebih ketat bagi pengangkutan CO<sub>2</sub> lintas perbatasan internasional.</p>
<p><b>Konvensi tentang Analisis Dampak Lingkungan dalam Konteks Lintas Batas ("Konvensi Espoo")</b></p>	<p>Konvensi Espoo mewajibkan para pihak untuk menilai dampak lingkungan dari kegiatan lintas batas mereka selama tahap awal perencanaan proyek dan mengambil semua langkah yang tepat untuk mengurangi dampak lintas batas yang merugikan secara signifikan. Kegiatan terkait CCUS dan CO<sub>2</sub> tidak secara tegas termaktub sebagai kegiatan yang diatur, tetapi proyek CCUS dapat tunduk pada persyaratan konvensi ini jika dilakukan di dalam wilayah, atau oleh, pihak-pihak yang ikut serta dalam konvensi dan memenuhi kriteria dalam Lampiran III konvensi. Konvensi Espoo memiliki 45 Negara Penandatanganan, tetapi saat ini tidak ada yang berasal dari Wilayah Asia-Pasifik.<sup>14</sup></p>

**Konvensi tentang  
Akses terhadap  
Informasi,  
Partisipasi Publik  
dalam Pengambilan  
Keputusan, dan  
Akses terhadap  
Keadilan  
dalam Masalah  
Lingkungan  
(Konvensi Aarhus)**

Konvensi Aarhus memberlakukan persyaratan partisipasi publik bagi para pihak yang menjadi anggota dalam lingkup teritorial konvensi untuk kegiatan-kegiatan yang dapat memberikan dampak yang signifikan terhadap lingkungan. Konvensi Aarhus memiliki 48 Pihak Penandatanganan, tetapi saat ini tidak ada yang berasal dari Kawasan Asia-Pasifik.<sup>15</sup>

Protokol London paling sering dibahas dalam konteks pengangkutan CO<sub>2</sub> di kawasan Asia. Dua contoh di bawah ini mengilustrasikan bagaimana negara-negara yang telah meratifikasi Protokol London (sebagai Negara-negara Penandatanganan) dapat bekerja sama dan bagaimana negara yang telah meratifikasi Protokol (sebagai Negara Penandatanganan) dan negara yang belum meratifikasi Protokol (sebagai Negara Bukan Penandatanganan) dapat bekerja sama.



## Pengangkutan CO<sub>2</sub> Dua Negara Penandatanganan Protokol London



*Project Greensand* memulai injeksi CO<sub>2</sub> pada bulan Maret 2023, menandai proyek CCS lintas batas lepas pantai pertama di dunia. CO<sub>2</sub> yang ditangkap di Antwerp, Belgia, dikirim ke ladang minyak Nini West yang sudah habis di landas kontinen Denmark untuk diinjeksi.<sup>16</sup>

Tahap pertama proyek ini dilakukan dalam skala percontohan. Pemilihan dan karakterisasi lokasi dilakukan sesuai dengan ISO 27914 tentang penyimpanan geologis (terlampir di atas) sebelum percontohan ini diimplementasikan.<sup>17</sup> Keputusan akhir investasi ini masih tertunda. Jika proyek ini dilanjutkan, akan diperlukan izin penyimpanan berskala penuh. Proyek ini dapat menyimpan hingga 1,5 Mt CO<sub>2</sub> per tahun mulai tahun 2025/2026, dengan potensi peningkatan lebih lanjut hingga 8 Mt CO<sub>2</sub> per tahun pada tahun 2030.<sup>18</sup> Denmark dan Belgia adalah Negara Penandatanganan Protokol London. Nota Kesepahaman (MoU) antara Belgia dan Denmark ini merupakan pengaturan pertama yang sesuai dengan Pasal 6.2 Protokol London.<sup>19</sup> Nota Kesepahaman yang tidak mengikat secara hukum ini bersifat tingkat tinggi, mengidentifikasi lembaga-lembaga perizinan di kedua negara dan mengonfirmasi tujuan dan ruang lingkupnya, serta mengonfirmasi niat untuk melakukan kegiatan sesuai dengan hukum dan peraturan yang berlaku, tanpa membahas secara spesifik mengenai proyek.<sup>20</sup> Nota Kesepahaman ini dianggap memenuhi persyaratan Pasal 6.2, dan format ini juga yang dipilih dalam Nota Kesepahaman berikutnya, yakni antara Belanda dan Denmark. Pihak-pihak yang ikut serta dalam perjanjian ini sedang mempertimbangkan perjanjian yang lebih komprehensif dan mengikat secara hukum.



## **Pengangkutan antara Negara Penandatanganan dan Negara Bukan Penandatanganan Protokol London**

Dipimpin oleh Santos, yaitu perusahaan Australia, Timor Gap (perusahaan minyak milik negara Timor-Leste) telah menandatangani Nota Kesepahaman dengan perusahaan patungan Bayu-Undan.<sup>21</sup> Ladang Bayu-Undan terletak di lepas pantai di landas kontinen Timor-Leste, dengan potensi kapasitas penyimpanan hingga 10 MPTA. Australia adalah Negara Penandatanganan Protokol London, sedangkan Timor-Leste bukan. Pasal 6.2 lebih bersifat preskriptif untuk perjanjian antara Negara Penandatanganan dan Negara Bukan Penandatanganan Protokol London, tidak seperti pengaturan atau perjanjian antara dua Negara Penandatanganan. Sebagai Negara Penandatanganan, Australia harus memastikan bahwa perjanjian/pengaturannya dengan Timor-Leste memuat "ketentuan-ketentuan yang minimal setara dengan ketentuan-ketentuan yang terkandung dalam Protokol ini, termasuk yang berkaitan dengan penerbitan ijin dan syarat-syarat ijin untuk memenuhi ketentuan-ketentuan dalam Lampiran 2, untuk menjamin bahwa perjanjian atau pengaturan tersebut tidak mengurangi kewajiban-kewajiban Negara Penandatanganan Protokol ini untuk melindungi dan melayani lingkungan kelautan". Dengan demikian, Australia harus melakukan proses uji tuntas terhadap kerangka hukum Timor-Leste untuk Penyimpanan CO<sub>2</sub> untuk mengonfirmasi kepada Negara-negara Penandatanganan yang lain bahwa dengan mengeksport CO<sub>2</sub> ke Timor-Leste, Australia masih memenuhi kewajibannya menurut Protokol London. Saat ini, Timor-Leste masih mengembangkan kerangka regulasi tentang penyimpanan CO<sub>2</sub>,<sup>22</sup> sehingga membuat proses uji tuntas ini menjadi sulit.

# 7. Kerangka khusus proyek

---

## Sejumlah Poin Penting

- Di tingkat proyek, pembuat kebijakan dan regulator harus memahami berbagai kontrak yang dibutuhkan oleh proyek CCUS pada umumnya, dan bagaimana kontrak-kontrak ini mengalokasikan risiko.
- Sebagian besar, atau mungkin semua, kontrak-kontrak ini akan mengacu pada peraturan perundang-undangan suatu negara, meskipun bukan spesifik untuk CCUS.
- Kelayakan proyek CCUS untuk dibiayai bank (*bankability*) kemungkinan besar akan ditentukan oleh sifat dari hak kebendaan yang diberikan oleh kerangka domestiknya, seperti hak atas ruang pori, atau hak atas kredit karbon yang dihasilkan oleh proyek.

## Pengantar

Bab 6 menjelaskan sumber daya untuk mengembangkan kerangka, termasuk standar-standar, kerangka perintis, dan konvensi-konvensi internasional. Beberapa negara berkembang sedang membuat kerangka hukum dan regulasi CCUS pada tingkat spesifik proyek. Metode ini umumnya dapat memberikan pendekatan yang fleksibel dengan menangani isu-isu utama dalam kerangka CCUS tanpa proses persetujuan lintas kementerian yang panjang yang mungkin diperlukan jika ada undang-undang/regulasi CCUS baru yang khusus terpisah. Negara-negara yang mengadopsi regulasi khusus proyek masih dapat mengubah undang-undang/regulasi yang ada secara paralel dan menggunakan regulasi khusus proyek tersebut sebagai percontohan.

Pemanfaatan kerangka dapat melibatkan penerapan standar-standar, prosedur perizinan, atau pedoman yang baru. Meski tidak menampilkan keseluruhan, daftar beberapa pertimbangan untuk kerangka CCUS dapat dilihat di bawah ini.



## Pertimbangan-pertimbangan utama untuk kerangka CCUS

- Tujuan penerapan CCUS di suatu negara
- Persyaratan pelaporan emisi (menangkap emisi udara, kebocoran CO<sub>2</sub>, limbah berbahaya, dll.)
- Hak kebendaan, penggunaan lahan, dan akses untuk pengangkutan dan penyimpanan
- Kewajiban penyimpanan
- Perizinan Rantai Pasokan CCUS
- Pemantauan, verifikasi, kuantifikasi
- Persyaratan pelaporan dan penyimpanan dokumentasi
- Klasifikasi CO<sub>2</sub> (limbah, komoditas, bahan berbahaya/beracun)
- Komposisi aliran CO<sub>2</sub> dan persyaratan karakterisasi
- Penatalayanan dan tanggung jawab jangka pendek dan jangka panjang atas lokasi penyimpanan potensial
- Kepemilikan CO<sub>2</sub> dan kontrak pihak swasta
- Penilaian Lingkungan
- Partisipasi masyarakat, termasuk pertimbangan keadilan lingkungan, rencana manfaat bagi masyarakat
- Mencocokkan sumber CO<sub>2</sub> dengan lokasi penyimpanan geologis permanen (juga dikenal sebagai 'Hub dan Klaster')
- Persyaratan kandungan lokal
- Pajak untuk proyek-proyek CCUS (misalnya, aturan depresiasi dan insentif pajak)



## Proyek Sleipner di Norwegia dan Tomakomai di Jepang

Proyek-proyek CCUS komersial telah berjalan tanpa kerangka hukum/regulasi yang komprehensif, termasuk proyek Tomakomai di Jepang dan Sleipner di Norwegia.



Gambar 71: Proyek Percontohan CCUS Tomakomai. (Foto atas izin IEA (2021), CCUS di seluruh dunia pada tahun 2021, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/ccus-around-the-world-in-2021>, Lisensi: CC BY 4.0)

**Asia:** Tomakomai, sebuah proyek percontohan CCUS lepas pantai yang dipimpin oleh Japan CCS Co. Ltd., diadakan pada tahun 2012 oleh Kementerian Ekonomi, Perdagangan, dan Industri (*Ministry of Economy, Trade, and Industry* [METI]), dan pada tahun 2018 oleh Organisasi Pengembangan Teknologi Energi dan Industri Baru.<sup>1</sup> Karena Jepang tidak memiliki undang-undang khusus CCUS ketika proyek Tomakomai diluncurkan, maka mereka menerapkan atau mengubah undang-undang dan regulasi yang ada yang mengatur kegiatan operasi tersebut.

Sebagai contoh, Undang-Undang Pencegahan Pencemaran Laut dan Bencana Maritim telah diubah untuk meregulasi kegiatan penyimpanan CO<sub>2</sub> lepas pantai yang sejalan dengan amandemen Protokol London tahun 2006.<sup>2</sup> Undang-undang tersebut mensyaratkan adanya izin yang dikeluarkan oleh Menteri Lingkungan Hidup untuk penyimpanan CO<sub>2</sub> di dasar laut, dan pengajuan izin wajib menyertakan rencana proyek, rencana pemantauan, dan analisis mengenai dampak lingkungan.<sup>3</sup> Selain itu, Undang-Undang Pertambangan dan Undang-Undang Keselamatan Pertambangan METI juga diterapkan untuk memastikan standar keselamatan bagi injeksi CO<sub>2</sub> dan operasi penyimpanan.<sup>4</sup> METI juga mengembangkan sebuah pedoman berjudul 'Operasi yang Aman dari Proyek Percontohan CCS',<sup>5</sup> dan menyiapkan dan menerapkan 'Manual Standar Manajemen Reservoir Selama Injeksi CO<sub>2</sub>'. Manual ini mempertimbangkan regulasi, standar teknis, dan pedoman CCUS internasional.<sup>6</sup> Jepang belum menetapkan ketentuan mengenai pertanggungjawaban jangka panjang, penutupan lokasi, dan pengalihan tanggung jawab, tetapi sedang mengembangkannya sebagai bagian dari program regulasi pemerintah yang sedang berlangsung. Jepang terus bekerja untuk menyelesaikan kerangka CCUS yang lebih komprehensif.



Gambar 7.2: Proyek Sleipner. (Foto atas izin Gullfaks B. Av Ole Jørgen Bratland. CC BY SA 3.0. <https://snl.no/Equinor>)

**Eropa.** Di proyek Sleipner Norwegia, CO<sub>2</sub> telah diinjeksikan di lepas pantai ke dalam formasi saline bawah laut selama lebih dari 25 tahun.<sup>7</sup> Proyek Sleipner memisahkan CO<sub>2</sub> dari gas alam yang diproduksi di anjungan lepas pantai. CO<sub>2</sub> kemudian diinjeksikan dan disimpan di formasi Utsira lepas pantai di dekatnya yang terletak di bawah dasar laut.<sup>8</sup> Proyek ini dimulai pada tahun 1996, jauh sebelum Norwegia menerapkan kerangka regulasi CCUS khusus pada tahun 2014.<sup>9</sup> Proyek ini dimulai dengan mengikuti kerangka minyak dan gas yang ada; namun, kegiatan CCUS diatur berdasarkan Rencana Pengembangan dan Operasi sebelum dimulainya operasi gas. Setelah kerangka baru disahkan, para sponsor proyek mengajukan permohonan izin yang telah diperbaharui, dan dikabulkan.<sup>10</sup> Proyek ini berhasil melakukan transisi operasi proyek dengan mengikuti kerangka yang baru.<sup>11</sup>

Studi kasus di atas menjelaskan bagaimana kerangka non-CCUS yang sudah ada ternyata bisa digunakan untuk melaksanakan proyek CCUS di Jepang dan Norwegia.

Ketika memulai proses penyusunan kerangka hukum/regulasi CCUS, ikut sertakan ahli kesehatan dan keselamatan, lingkungan, dan industri yang memiliki pengalaman di bidang teknologi dan kerangka hukum. Meskipun ada berbagai cara untuk melakukan pendekatan terhadap perancangan undang-undang, secara umum ada lima komponen utama:

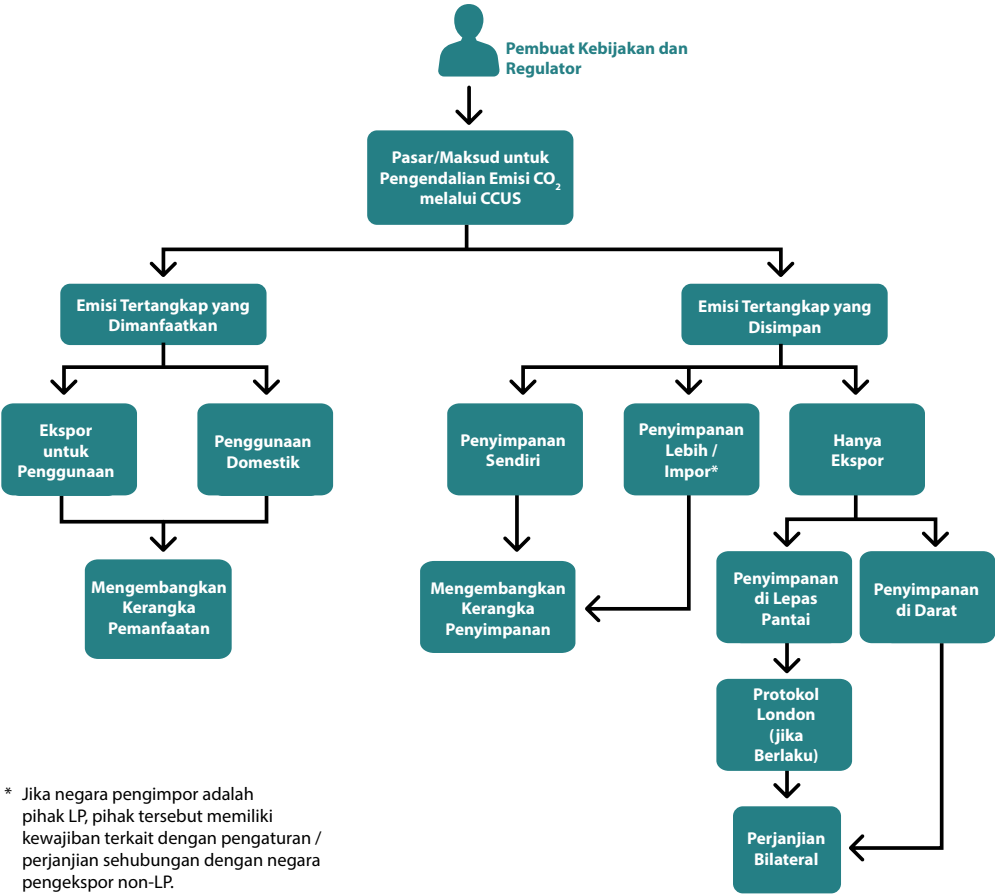
- Legalkan (capai efek hukum yang diinginkan)
- Formalkan (pilih instrumen legislasi yang tepat)
- Integrasikan (hubungkan UU baru dengan UU yang sudah ada)
- Tata (tata teks legislasi secara tepat)
- Perjelas (pastikan kejelasan maksud dapat dipahami)<sup>12</sup>

Rancangan regulasi atau undang-undang harus sesuai dengan tujuan, dapat dipahami, dan dapat dilaksanakan di yurisdiksi tempat peraturan tersebut berlaku. Proses penyusunannya dapat bersifat preskriptif (menetapkan persyaratan atau standar yang harus dipenuhi oleh operator) atau berbasis kinerja (memberikan kriteria yang harus dipenuhi oleh operator). Ada banyak sumber daya bermanfaat yang tersedia untuk membantu proses penyusunannya seperti standar-standar internasional, kerangka yang sudah ada, dan lain-lain, yang akan dibahas secara lebih rinci di Bab 6: Sumber Daya dan Tanggung Jawab atas Kerangka.

Pengembangan kerangka harus merupakan proses berulang yang mencakup informasi dan pelajaran yang dipetik dari proyek-proyek di lapangan. Menggunakan sumber daya, model kerangka, praktik terbaik, dan pelajaran yang dipetik dari negara lain dapat mempercepat proses perancangan dan pemetaan masalah solusi potensial untuk kesulitan teknis dan komersial dalam industri CCUS. Namun, setiap negara memiliki karakteristik dan tantangan yang unik; oleh karena itu, melakukan uji coba atas kerangka apa pun merupakan bagian penting dari implementasi.

Proyek percontohan akan menguji fleksibilitas dan kesesuaian instrumen hukum dan rezim perizinan serta membantu memetakan kesenjangan regulasi.<sup>13</sup> Proyek percontohan juga memungkinkan keikutsertaan pengembang proyek, regulator, dan pejabat pemerintah lainnya, yang dapat meningkatkan kerja sama dan mendukung inventarisasi pelajaran yang didapat. Proyek percontohan Longship Norwegia adalah salah satu contoh proyek percontohan yang digunakan untuk menguji kerangka hukum baru untuk CCUS. Longship adalah proyek pertama yang dikembangkan dalam kerangka khusus CCUS. Sejumlah tantangan dan masalah yang tidak terduga berhasil diidentifikasi, dan sampai batas tertentu, telah ditangani sebagai konsekuensi dari proyek tersebut.<sup>14</sup>

Gambar 7.1 adalah ilustrasi pohon keputusan untuk mengembangkan kerangka pemanfaatan atau penyimpanan, bersama dengan Langkah 1 hingga 6 yang dijelaskan dalam Bab 5, 6, dan 7 dari Buku Pegangan ini.



Gambar 71: Pohon keputusan untuk membuat kerangka. (Protokol London dibahas dalam Bab 6: Sumber Daya dan Tanggung Jawab atas Kerangka)

# Praktik-praktik Terbaik untuk Kerangka Khusus Proyek

Sumber daya yang dijelaskan di atas dapat mendukung pengembangan kerangka hukum dan regulasi dalam negeri atau internasional. Di tingkat proyek, ada juga serangkaian instrumen hukum dan kontrak yang perlu dipertimbangkan.

Seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini (Gambar 7.2), ada beberapa pemain kunci dan berbagai jenis kontrak yang biasanya diperlukan untuk proyek penyimpanan. Ini hanyalah salah satu jenis model untuk sebuah proyek. Setiap perusahaan yang melakukan CCUS perlu menentukan seberapa kuat integrasi mereka secara vertikal dalam rantai nilai. Pengembang proyek, yang terpisah dari penghasil emisi, dapat mengawasi sebagian atau seluruh rantai nilai CCUS, sehingga perusahaan penangkap/pengangkut/penyimpan (hulu/tengah/hilir) dapat terdiri atas beberapa entitas atau satu entitas. Beberapa instrumen adalah mirip dengan kontrak yang diperlukan untuk sektor listrik, seperti yang diilustrasikan dalam Buku Panduan Memahami Perjanjian Pembelian Tenaga Listrik dari CLDP.<sup>15</sup>

- **Izin dan Dokumen Terkait.** Memberikan hak kepada pengembang proyek (pemilik/operator) untuk menginjeksi CO<sub>2</sub> untuk disimpan secara permanen. Biasanya, regulator akan meminta pengembang untuk memberikan informasi karakterisasi lokasi, penilaian dampak lingkungan, rencana pemantauan lokasi selama injeksi, dan rencana penatalayanan lokasi setelah penutupan.
- **Perjanjian Layanan Pengangkutan dan Penyimpanan.** Mewajibkan pengembang untuk mendapatkan izin yang diperlukan, termasuk yang diperlukan untuk jaringan pipa, untuk melakukan operasi di lokasi sebagai syarat bagi perusahaan tengah yang menyediakan CO<sub>2</sub>. Perjanjian ini juga

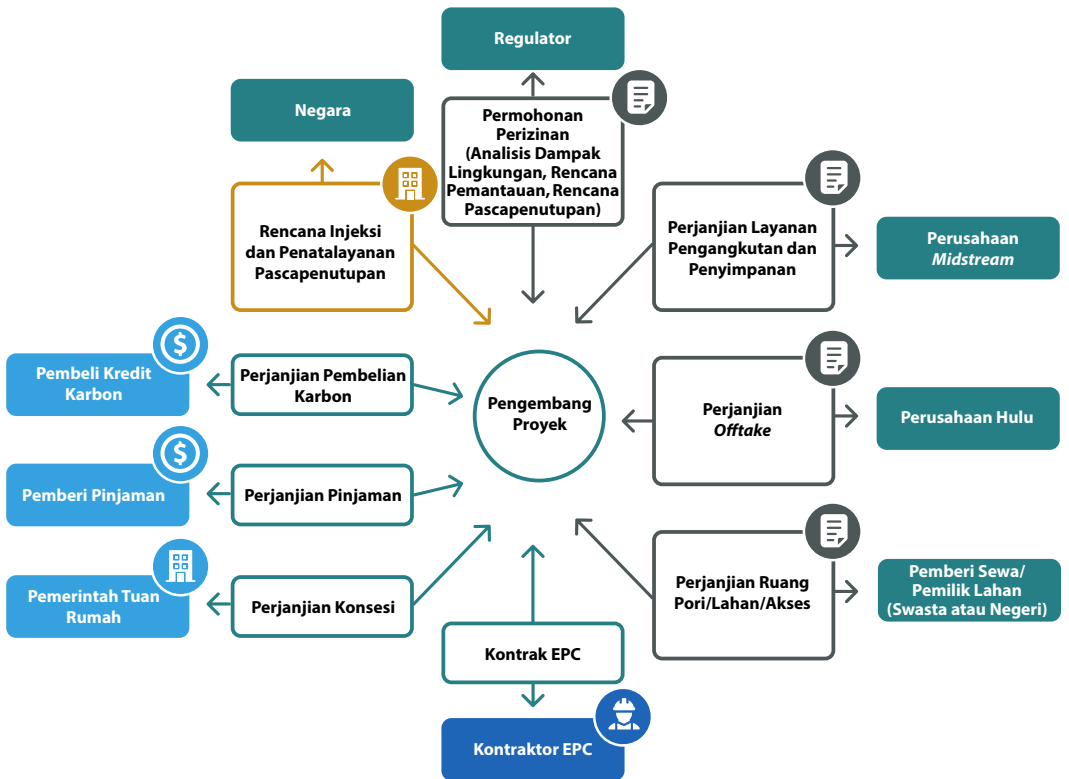
dapat mewajibkan pengembang untuk mematuhi protokol untuk mendapatkan insentif seperti kredit pajak produksi penyimpanan atau insentif penyimpanan lainnya.

- **Perjanjian Pembelian (*Offtake Agreement*)**. Mewajibkan perusahaan hulu (misalnya, entitas yang menangkap CO<sub>2</sub>) untuk menyediakan CO<sub>2</sub> dengan spesifikasi dan volume tertentu. Perjanjian ini dapat mencakup klausul 'ambil atau bayar' yang menyatakan bahwa pengembang/operator penyimpanan akan memberikan kompensasi kepada perusahaan hulu meskipun transportasi CO<sub>2</sub> atau operasi penyimpanan terganggu.
- **Perjanjian Ruang Pori/Tanah/Akses**. Mengatur sewa/konsesi atas akses ke properti permukaan atau ruang pori di tempat lokasi penyimpanan akan dikembangkan. Hal ini dapat dilakukan melalui pembelian, sewa, atau dapat dikeluarkan oleh pemilik ruang pori melalui pelepasan sumber daya penyimpanan yang telah direncanakan sebelumnya atau melalui penawaran.
- **Kontrak Rekayasa, Pengadaan, dan Konstruksi (EPC)**. Menetapkan syarat dan ketentuan untuk desain lokasi penyimpanan, pengadaan bahan dan peralatan, dan konstruksi lokasi. Kewajiban yang dibuat oleh perjanjian ini juga dapat dipecah ke dalam beberapa kontrak yang mencakup satu atau lebih lingkup-lingkup ini.
- **Perjanjian Pinjaman**. Menciptakan kewajiban pemberi pinjaman untuk membiayai proyek penyimpanan, serta kewajiban pengembang proyek untuk mematuhi berbagai ketentuan dalam perjanjian pinjaman tersebut.
- **Perjanjian Pembelian Karbon**. Mengatur persyaratan antara pengembang dan pembeli kredit karbon yang dihasilkan dari proyek penyimpanan. Penggunaan pasar karbon dibahas lebih lanjut di Bab 6: Sumber Daya dan Tanggung Jawab atas Kerangka.



- **Perjanjian Konsesi.** Memberikan hak kepada pengembang proyek untuk mengembangkan, membiayai, membangun, dan mengoperasikan proyek penyimpanan. Hal ini sangat penting terutama ketika pengembang proyek tidak berasal dari negara setempat.
- **Rencana Injeksi dan Penata-layanan Pasca-penutupan.** Sebelum injeksi, pengembang proyek mungkin diminta untuk menunjukkan bukti kesanggupan finansial kepada negara. Dana berbunga ini dapat digunakan oleh negara untuk menutupi biaya pengelolaan setelah beberapa tahun pasca-penutupan lokasi. Dalam beberapa kasus, negara dapat mengizinkan pengalihan penata-layanan jangka panjang dari pengembang kepada dirinya sendiri setelah pengembang memenuhi persyaratan pasca-penutupan tertentu.

Disertai dengan partisipasi masyarakat serta kerangka hukum dan regulasi, instrumen keuangan juga merupakan kunci keberhasilan proyek CCUS.



Gambar 7.2: Berbagai kontrak untuk pengembang proyek penyimpanan.

# 8. Keuangan dan Insentif

---

## Sejumlah Poin Penting

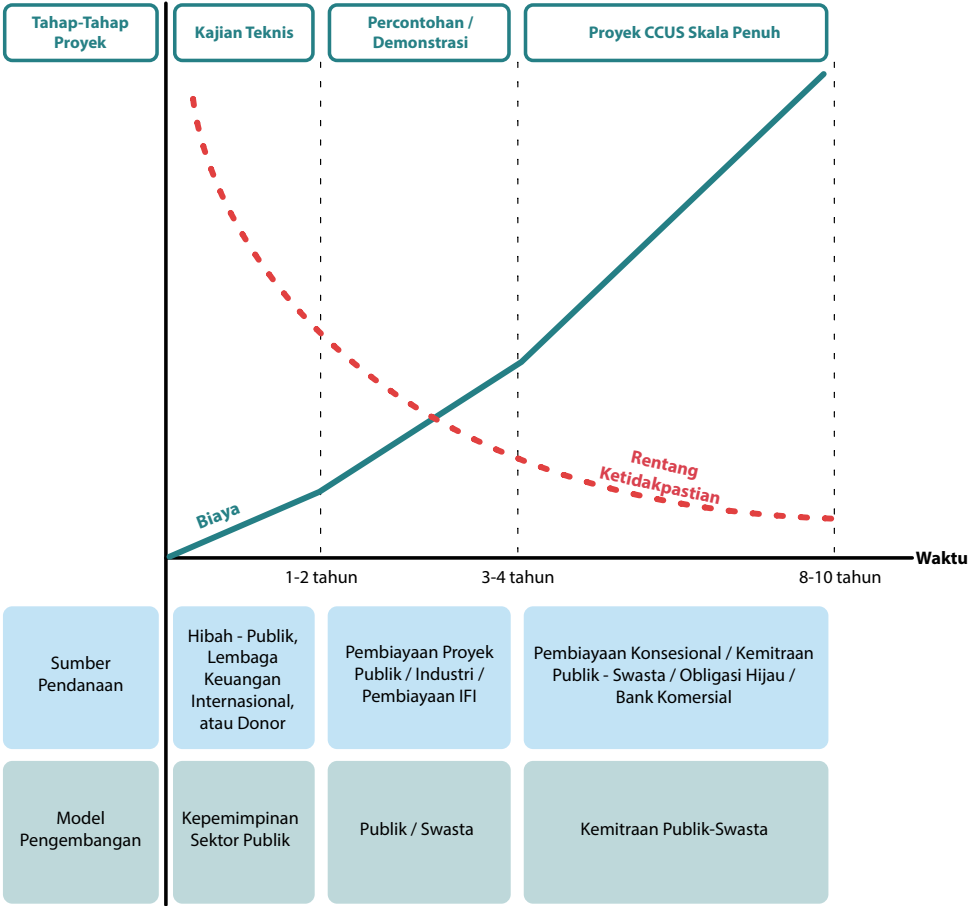
- Sebagian besar karbon yang dihasilkan harus dibuang secara permanen. Investor dan operator proyek CCUS akan diberi insentif untuk membangun dan mengoperasikan proyek CCUS bila ada alasan ekonomi untuk menangkap, mengangkut, dan menyimpan karbon limbah. Karbon yang ditangkap harus mempunyai nilai.
- Bagi pembuat kebijakan dan regulator yang ingin memberikan insentif pada investasi dalam proyek CCUS, ada sejumlah cara untuk menghasilkan nilai karbon yang ditangkap/disimpan. Beberapa cara tersebut antara lain kredit pajak, pajak karbon atas emisi, skema cap and trade (pembatasan dan perdagangan) emisi, serta persyaratan regulasi yang membatasi jumlah karbon yang dapat dikeluarkan (dan dengan demikian mendorong investasi ke CCUS untuk memenuhi ambang batas tersebut). Pasar karbon sukarela juga bisa menjadi sumber nilai bagi proyek CCUS.
- Namun, pembuat kebijakan harus menyadari konsekuensi yang tidak diinginkan dari pilihan kebijakan mereka, dan bersiap untuk menyesuaikan insentif fiskal setelah konsekuensi ini menjadi jelas.
- Untuk mengurangi biaya modal, investor dan operator proyek CCUS dapat memiliki akses terhadap pinjaman dan instrumen keuangan lainnya yang terikat pada tujuan iklim.

## Pengantar

Bab ini membahas instrumen dan mekanisme keuangan untuk dipertimbangkan oleh para pembuat kebijakan ketika menetapkan strategi dan kerangka penangkapan, pemanfaatan, dan penyimpanan (CCUS). Bab ini juga menguraikan sejumlah alat keuangan yang dapat dipertimbangkan oleh negara dan pengembang proyek untuk memajukan proyek CCUS, termasuk pinjaman bank, pajak/insentif karbon, penyesuaian perbatasan, dan pasar karbon.

Ketika mengembangkan instrumen dan mekanisme ini, penting untuk mempertimbangkan tahapan pengembangan proyek yang berbeda dan bagaimana insentif dapat membantu memajukan setiap tahapan, sebagian besar dengan mengurangi biaya dan risiko. Grafik berikut menunjukkan peningkatan khusus proyek dari studi teknis dan uji coba hingga demonstrasi dan penerapan komersial skala penuh. Grafik ini juga melacak tahap-tahap pengembangan proyek hingga ke berbagai peran kemitraan publik swasta dan jenis insentif serta mekanisme pendanaan yang mungkin diterapkan pada setiap tahap. Mungkin juga industri bisa mengejar proyek-proyek ini tanpa dukungan RD&D, misalnya dengan mengandalkan pengalaman RD&D dari negara lain.

Dari perspektif proyek demonstrasi dan komersial, perencanaan keuangan untuk proyek CCUS mencakup berbagai fase sebagaimana dilihat pada Gambar 8.1. Pada awal periode suatu proyek, biayanya diperkirakan dan disaring untuk belanja modal dan operasional berdasarkan *Front End Engineering Study* (FEED). Ketika proyek jatuh tempo, perkiraan biaya proyek disempurnakan lebih lanjut di seluruh tahapan proyek. Karena CCUS umumnya tidak memproduksi produk langsung atau menghasilkan pendapatan proyek, beberapa jenis mandat peraturan mungkin diperlukan sehingga memungkinkan keputusan investasi positif.



Gambar 8.1: Bagaimana RD&D mendukung pengembangan awal kemitraan publik-swasta. Harshit Agrawal, Grup Bank Dunia, November 2023, Mengkatalisasi Penerapan CCUS di Negara Berkembang (salindia PowerPoint).

## Keekonomian Proyek CCUS

Pemahaman mengenai keekonomian proyek CCUS penting untuk membantu pembuat kebijakan menyediakan insentif untuk mendorong penerapannya. Proyek CCUS dapat memerlukan biaya modal awal yang besar dan biaya operasi dan pemeliharaan (*operating & maintenance* [O&M]) tahunan jangka panjang. Pemahaman mengenai biaya-biaya ini sangat penting dalam mengukur tingkat insentif di berbagai tahap proyek untuk mendukung pengembangan komersial secara luas. Misalnya, biaya modal awal dan pembangunan pabrik penangkap karbon dapat berkisar antara USD\$50 juta hingga USD\$1 miliar tergantung pada sumber dan volume CO<sub>2</sub> yang akan ditangkap.<sup>1</sup> Biasanya ini merupakan belanja terbesar sekaligus untuk proyek CCUS. Operasional pengangkutan melalui pipa jarak jauh dan penyimpanan juga memerlukan belanja modal yang besar. Akses ke lokasi penyimpanan yang dekat dengan proyek penangkapan umumnya paling diinginkan dari sudut pandang total biaya proyek karena biaya pengangkutan dapat dikurangi. Setiap proyek akan memiliki atribut unik yang akan membuat profil biaya menjadi agak berbeda.

Proyek CCUS harus dievaluasi dengan cara yang sesuai dengan prinsip-prinsip ekonomi umum dan keuangan proyek. Tujuan analisis proyek adalah untuk memastikan pendapatan masa depan dan total modal dan biaya O&M dari waktu ke waktu. Selain pendapatan dan biaya, penilaian profil risiko untuk setiap komponen juga perlu dipahami bagaimana potensi perubahan pasar dan kondisi regulasi akan memengaruhi arus kas proyek.

Pendapatan proyek sebagian besar didorong oleh tindakan pemerintah. Tindakan ini bisa dalam bentuk mandat (misalnya, pajak karbon dan mandat lingkungan), atau insentif (misalnya, belanja langsung pemerintah, kredit pajak, dan jasa keuangan). Dalam beberapa kasus terbatas, pendapatan dari penjualan CO<sub>2</sub>

untuk pemanfaatan berpotensi membantu membenarkan biaya proyek, seperti dalam kasus CCUS awal melalui pengembangan CO<sub>2</sub>-EOR di Amerika Serikat.

## **Bankability dan Pengurangan Risiko Finansial CCUS**

### **Tindakan Pemerintah untuk CCUS**

Ada serangkaian pendekatan ekonomi yang bisa dilakukan pemerintah untuk memberi insentif untuk pengurangan atau penghapusan emisi CO<sub>2</sub> melalui CCUS. Mandatnya antara lain mengenakan pajak karbon atau memandatkan peraturan mengenai proses industri/ketenagalistrikan untuk melakukan pengurangan emisi. Insentif mencakup belanja untuk RD&D, hibah atau pendanaan pemerintah melalui perjanjian kerja sama, investasi langsung dan insentif produksi, kredit pajak produksi (*production tax credits* [PTC]), dan kredit pajak investasi (*investment tax credits* [ITC]), dan meningkatkan permintaan produk dekarbonisasi melalui regulasi atau insentif.

### **Pajak Karbon**

Pajak karbon adalah mekanisme di mana emisi CO<sub>2</sub> dikenakan pajak berdasarkan volume, dampak dan/atau sumbernya. Pertimbangan penting dalam kebijakan pajak karbon adalah menyertakan tindakan mitigasi seperti CCUS atau aktivitas negatif bersih seperti CDR.

Besaran pajak dapat ditetapkan oleh pemerintah dan bersifat transparan dan dapat diprediksi, dan memberikan harga emisi yang stabil. Namun, jenis kebijakan ini dapat mengakibatkan perkiraan yang terlalu rendah/lebih mengenai respons pasar



terhadap pajak, dan risiko kebocoran karbon (yaitu, kegiatan operasi akan dipindahkan ke luar negara atau wilayah ke yurisdiksi yang tidak mengenakan pajak atau mengenakan pajak yang lebih rendah).

Pada tahun 2012, Jepang menerapkan pajak karbon sebagai bagian dari keseluruhan kebijakan reformasi pajak.<sup>2</sup> Pajak Jepang berlaku untuk sektor bahan bakar fosil, namun, pemerintah telah memberikan beberapa pengecualian dan tindakan pengembalian dana atas tarif pajak karbon untuk produk bahan bakar fosil yang digunakan khususnya industri padat energi, seperti pertanian, transportasi umum, industri petrokimia, dan pembangkit listrik tenaga batu bara. Singapura juga telah menerapkan pajak karbon pada tahun 2019, dari \$5/ton setara CO<sub>2</sub>, dengan kenaikan tambahan hingga \$50-85/ton setara CO<sub>2</sub> pada tahun 2030.<sup>3</sup>

### **Cap-and-trade**

Sistem "*cap and trade*" menetapkan jumlah maksimum emisi yang diperbolehkan. Tunjangan, atau otorisasi untuk emisi, akan dijual di bawah pasar yang kompetitif kepada pembangun tertinggi. Langkah-langkah mitigasi juga dapat menjadi bagian dari sistem pasar wajib di mana transaksi antara penghasil emisi dan mitigator dapat terjadi (lihat studi kasus tentang Emisi Skema Perdagangan Emisi Uni Eropa di bawah). Sistem "*cap and trade*" mempunyai kelebihan membiarkan nilai karbon bervariasi berdasarkan permintaan emisi dan pasokan untuk mitigasi. Kelemahan sistem tersebut adalah potensi volatilitas di pasar dan dengan demikian pengurangan kepastian risiko dan pendapatan bagi proyek CCUS.



## Sistem "cap and trade" untuk Skema Perdagangan Emisi Uni Eropa

Skema Perdagangan Emisi (*Emission Trading Scheme* [ETS]) Uni Eropa diterapkan di seluruh 27 Negara Anggota Uni Eropa serta negara-negara Asosiasi Perdagangan Bebas Eropa (Islandia, Liechtenstein, dan Norwegia).<sup>4</sup> Rezim ETS mengatur batas total emisi, yaitu satu ton emisi yang diperbolehkan dinyatakan sebagai kuota. Para penghasil emisi harus menyerahkan (dan membayar) kuota yang setara dengan emisi mereka. Jika mereka gagal melakukan hal ini, mereka akan dikenakan denda.<sup>5</sup> Jika penghasil emisi mengeluarkan emisi kurang dari kuota, rezim ETS memperbolehkan para penghasil emisi untuk memperdagangkan (menjual) kelebihan kuota tersebut kepada para penghasil emisi lainnya. Jika para penghasil emisi mengurangi atau menghilangkan emisi melalui CCUS, ETS mengakui CO<sub>2</sub> tersebut sebagai tidak diemisikan. Hal ini menyebabkan penghasil emisi tidak diberi mandat untuk menyerahkan kuota volume yang dihilangkan atau dikurangi. Risiko emisi berpindah dari penghasil emisi ketika CO<sub>2</sub> dipindahkan ke salah satu fasilitas penangkapan, pemindahan, atau penyimpanan atau jika CO<sub>2</sub> dipindahkan dengan mengikat secara kimia dan secara permanen dalam suatu produk (yaitu, CO<sub>2</sub> tidak dapat memasuki atmosfer dalam penggunaan normal produk).<sup>6</sup>

ETS tidak mencakup semua jenis emisi, dan beberapa negara menerapkan pajak karbon sebagai pengurangan emisi insentif di luar ETS. Namun, ETS tidak mengecualikan Negara-Negara Anggota UE untuk menerapkan pajak karbon selain sistem batas dan perdagangan emisi yang terdiri atas ETS. Di Norwegia, kuota ETS ditumpuk di atas pajak CO<sub>2</sub> Norwegia untuk sektor minyak lepas pantai dan gas, sehingga menghasilkan insentif yang menarik untuk ikut serta dalam CCUS daripada mengeluarkan CO<sub>2</sub>.<sup>7</sup>

## Peraturan Emisi Proses Industrial / Pembangkit Listrik

Peraturan pembatasan langsung terhadap emisi dapat diterapkan sendiri atau digabungkan dengan mekanisme lain, seperti cap and trade yang dijelaskan di atas. Peraturan ini mengharuskan penghasil emisi untuk menerapkan tindakan pengendalian emisi<sup>8</sup> atau mengurangi atau menghilangkan sumber emisi (misalnya, penarikan aset paksa atau CCUS) dan mengharuskan kepatuhan terhadap standar kinerja. Peraturan jenis ini dapat dilakukan atas dasar keseimbangan massa (input bahan bakar dengan massa/proses emisi yang diperbolehkan), dasar kinerja produk akhir (output produksi massa/produksi emisi yang diperbolehkan), atau dasar keseimbangan bruto (massa emisi yang diperbolehkan per periode waktu). Contoh jenis peraturan ini adalah usulan aturan AS “Standar Kinerja Sumber Baru bagi Emisi Gas Rumah Kaca dari Unit Pembangkit Listrik Tenaga Bahan Bakar Fosil yang Baru, Dimodifikasi, dan Direkonstruksi”.<sup>9</sup> Aturan tersebut berisi persyaratan untuk pemasangan peralatan penangkapan karbon di pembangkit listrik. Contoh lainnya adalah Saudi Arabia sedang mempertimbangkan untuk mewajibkan semua pabrik gas baru memiliki CCS, atau setidaknya 'siap menangkap CO<sub>2</sub>'.<sup>10</sup>

## Belanja RD&D

Jalur potensial untuk memberikan insentif terhadap penerapan CCUS adalah pemerintah akan melakukan kegiatan penelitian, pengembangan, dan penerapan (RD&D) untuk memajukan pengetahuan lokal dan global teknologi CCUS. Program RD&D yang kuat saat ini tersedia di Amerika Serikat, Eropa, Kanada, Australia, dan Jepang yang akan membantu penerapan CCUS. Beberapa program tersebut sebagian didanai oleh insentif, seperti pajak atau kuota surplus.<sup>11</sup>

Penerapan program RD&D baru harus didahului oleh identifikasi kebutuhan dan peluang sasaran yang kuat. Tinjauan yang konsisten oleh pakar eksternal mungkin juga diperlukan untuk memastikan bahwa pendanaan digunakan secara efisien dan produktif. Program-program ini sangat berharga dalam mendorong industri untuk melakukan tindakan yang diinginkan. Perintis dapat diberi imbalan hibah RD&D, keringanan pajak yang menguntungkan, dll. untuk mendorong penerapan. Dimungkinkan untuk menggunakan infrastruktur dari proyek RD&D dalam penerapan komersial di masa depan. Contohnya mungkin mencakup penggunaan sumur yang dibor untuk studi karakterisasi lokasi geologi.

## **Bank Pembangunan Multilateral**

Bank Pembangunan Multilateral, seperti Bank Pembangunan Asia (*Asian Development Bank* [ADB]) dan Grup Bank Dunia, menyediakan berbagai sumber daya ke negara-negara berkembang untuk memfasilitasi pengembangan infrastruktur CCUS (lihat studi kasus berikut mengenai Dukungan ADB terhadap CCUS di Republik Rakyat Tiongkok). Sebagaimana dirangkum di bawah ini, sumber daya tersebut mencakup hibah untuk melakukan studi kelayakan dan menyusun kebijakan yang relevan, membuat publikasi berbagi pengetahuan, acara seperti studi banding, pinjaman lunak, dan menetapkan dana khusus untuk memobilisasi pendanaan karbon.

Salah satu praktik terbaik untuk memobilisasi dukungan dari bank adalah dengan menyatakan secara jelas bahwa suatu negara menginginkan bank untuk ikut serta dalam percepatan CCUS dan meminta bantuan dari bank sepanjang daur hidup proyek, dari pekerjaan persiapan hingga pendanaan demo proyek CCUS. Perwakilan dari berbagai bank juga telah berbagi kesediaan mereka untuk melakukan percakapan langsung dengan pemerintah sebelum permohonan resmi diterima.

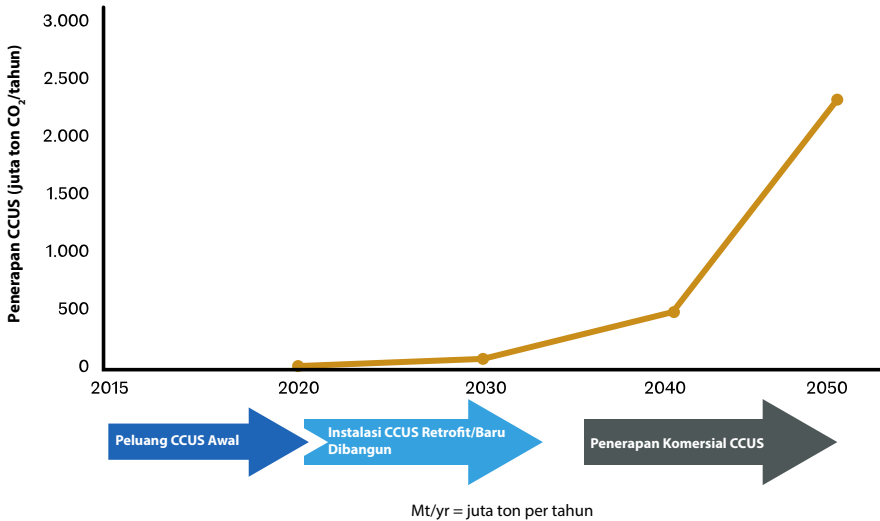


## Dukungan ADB terhadap CCUS di Republik Rakyat Tiongkok (RRT)

Sejak 2009, RRT telah bermitra dengan Bank Pembangunan Asia (ADB) untuk meningkatkan kesadaran akan CCUS melalui pengetahuan produk, lokakarya, dan pendirian Pusat Keunggulan CCUS. Sebagai hasil dari dukungan ini, pada tahun 2012, teknologi penangkapan pasca pembakaran pada pembangkit listrik tenaga batu bara (kapasitas penangkapan 20.000 t/a) mulai beroperasi di Tianjin.

RRT adalah pemimpin CCUS di kawasan Asia-Pasifik, dengan 21 proyek, 11 di antaranya beroperasi pada tahun 2023 (menurut GCCSI).<sup>12</sup> Kunci keberhasilan penerapan selama dua dasawarsa sebagian besar disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama, negara mengembangkan (2015) peta jalan awal untuk Demonstrasi dan Penerapan CCUS yang kemudian diperbarui (2022). Ini mendorong sejumlah perkembangan dalam kebijakan CCUS, teknologi, dan pembiayaan.

Kedua, Pusat Penelitian Penangkapan dan Penyimpanan Karbon di Shanghai didirikan (2016) untuk mempromosikan inovasi CCUS dan pengembangan kapasitas industri untuk Shanghai dan Delta Sungai Yangtze. Selanjutnya, Pusat Keunggulan CCS Guandong mengembangkan kapasitas kelembagaan untuk melakukan penelitian dan mendemonstrasikan teknologi, kebijakan, dan mekanisme keuangan untuk mengkomersialkan CCUS. Ketiga, negara terus mengembangkan dan meningkatkan kebijakan dan peraturan CCUS, menerbitkan “Penangkapan dan Penyimpanan Karbon – Kebijakan Siap Pakai untuk Memfasilitasi Penerapan CCS di Masa Depan di Republik Rakyat Tiongkok” (Des 2014). Terakhir, RRT terus melakukan tindakan proaktif mendukung keikutsertaan CCUS sejak Rencana Lima Tahun ke-11 (2005-2010).



Gambar 8.2: Peta jalan demonstrasi dan penerapan CCUS di RRT. (Disederhanakan dari ADB 2015: Peta Jalan Demonstrasi dan Penerapan Penangkapan dan Penyimpanan Karbon di Republik Rakyat Tiongkok)

## Investasi Langsung dan Insentif Produksi

Di Amerika Utara, Kredit Pajak Investasi (ITC) dan Kredit Pajak Produksi (PTC) adalah dua insentif langsung utama. ITC didistribusikan berdasarkan belanja infrastruktur dan konstruksi dan umumnya tersedia segera setelah peralatan dimasukkan ke dalam layanan, terlepas dari penggunaan peralatan. PTC didistribusikan berdasarkan produksi suatu material (misalnya, \$/ton). Kredit baru dicairkan setelah produk diproduksi dan kondisi pengirimannya terpenuhi. PTC tidak mempertimbangkan biaya yang dikeluarkan dalam memproduksi unit dari output yang diberi insentif, namun efektif dalam memastikan pemanfaatan yang berarti dari investasi tersebut.

Di Amerika Serikat, PTC Pasal 45Q memiliki dampak besar pada pengumuman dan pengembangan proyek CCUS (lihat studi kasus berikut tentang PTC – Pasal 45Q). Di Kanada (Alberta) stimulus serupa juga telah dikembangkan untuk pengembangan proyek CCUS dalam bentuk ITC (juga dijelaskan di bawah).

Di Eropa, ada insentif investasi dan produksi langsung lainnya. Beberapa dari bantuan ini berupa hibah langsung, untuk menutupi biaya modal dan/atau operasional (sering kali didanai oleh pendapatan dari ETS), serta jaminan, pinjaman, dan mengurangi beban regulasi. Di Norwegia, proyek demonstrasi Longship adalah penerima bantuan negara senilai sekitar 2/3 dari total biaya proyek, yang akan mencakup berbagai biaya pengembangan infrastruktur proyek, insentif untuk volume CO<sub>2</sub> biogenik (yang saat ini tidak diberi insentif oleh pajak karbon atau kuota), biaya operasional untuk suatu periode, risiko yang terkait dengan permasalahan antarmuka antara pemangku kepentingan dalam rantai nilai dan kuota emisi potensial.<sup>13</sup>



### **PTC – Pasal 45Q Undang-Undang Pengurangan Inflasi (*Inflation Reduction Act* [IRA]) AS tahun 2022**

Kredit pajak berdasarkan Pasal 45Q telah tersedia sejak 2008. Namun, nilai, batasan ambang batas, dan Tanggal Mulai Konstruksi membatasi penerapan komersial secara luas. Pada tahun 2022, perubahan memberikan tingkat insentif yang diperlukan dan kerangka waktu yang dapat ditindaklanjuti untuk penerapan berdasarkan mekanisme yang didorong oleh pasar dalam lanskap geopolitik yang selalu berubah. Modifikasi tersebut antara lain (1) peningkatan nilai kredit pajak dari \$50 hingga \$85 per ton untuk penyimpanan geologi;

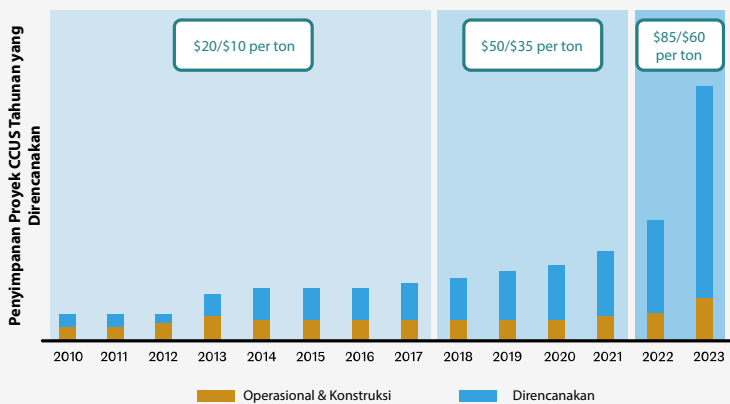
(2) peningkatan nilai kredit pajak dari \$35 menjadi \$60 untuk CO<sub>2</sub>-EOR, (3) nilai kredit pajak untuk penangkapan udara langsung (DAC) sebesar \$180 per ton untuk penyimpanan geologi dan \$130 per ton untuk pemanfaatan CO<sub>2</sub>, termasuk CO<sub>2</sub>-EOR; (4) penurunan ambang batas kelayakan emisi proyek yang memenuhi syarat, dan (5) mengizinkan pembayaran langsung sambil tetap mempertahankan kemampuan transfer kredit pajak untuk pilihan likuiditas (yang akan memungkinkan pengembang proyek untuk menghindari proses yang memberatkan dan sering kali mahal untuk meningkatkan ekuitas pajak untuk memonetisasi kredit pajak tradisional yang dihasilkan berdasarkan Pasal 45Q).<sup>14</sup>

Dari perspektif industri, salah satu perubahan yang paling signifikan yang termasuk dalam IRA adalah perpanjangan Tanggal Mulai Konstruksi hingga 1 Januari 2033. Sebelum ini, “konstruksi” fasilitas penangkapan harus dimulai pada tanggal 1 Januari 2026, dengan memulai pekerjaan fisik yang bersifat signifikan atau dengan mengeluarkan 5 persen atau lebih dari total biaya fasilitas yang memenuhi syarat.

Pasal 45Q memberikan kredit pajak untuk penyimpanan CO<sub>2</sub>, baik penyimpanan tersebut adalah bagian dari rantai nilai CCS atau untuk aplikasi EOR/industri. Panduan IRS mengizinkan entitas yang mengoperasikan proyek CO<sub>2</sub>-EOR menggunakan ISO 27916 sebagai alat untuk kuantifikasi dan verifikasi CO<sub>2</sub> yang disimpan selama proyek CO<sub>2</sub>-EOR untuk mendapatkan kredit pajak. EPA Amerika Serikat mengharuskan rencana pemantauan, pelaporan, dan verifikasi (*measurement, reporting, and verification* [MRV]) disampaikan berdasarkan Subbagian RR Program Pelaporan Gas Rumah Kaca dan telah memberikan beberapa panduan.<sup>15</sup>



Umumnya, ini mencakup deskripsi lokasi dan geologinya, wilayah pemantauan, rencana pemantauan dan frekuensinya, serta jalur kebocoran potensial di wilayah pemantauan. Jika dikabulkan, pelaporan tahunan ke EPA Amerika Serikat mencakup massa tahunan CO<sub>2</sub> yang disuntikkan/diproduksi dari lokasi penyimpanan, kebocoran permukaan di sumur dan peralatan dekat sumur, nilai yang disimpan jaring, serta massa kumulatif yang disimpan selama umur proyek.



Gambar 8.3: Pengembangan proyek berdasarkan evolusi kredit pajak Pasal 45Q. (Diadaptasi dari Pelacak Proyek CCUS IEA 2023)



## Contoh ITC: Kanada

Pada bulan November 2023, Pemerintah Kanada dan Provinsi Alberta mengumumkan kredit pajak investasi (ITC) CCUS, yang bertujuan untuk memberi insentif pada pengembangan proyek CCUS. ITC akan ditetapkan sebesar 50 persen untuk peralatan yang digunakan untuk menangkap karbon dan 37,5 persen untuk peralatan yang digunakan dalam mengangkut dan menyimpan karbon. Selain itu, rancangan peraturan perundang-undangan yang dirilis Agustus lalu memperluas ITC CCUS untuk membuat sebagian dari proyek pemulihan minyak yang ditingkatkan memenuhi syarat untuk ITC CCUS. ITC CCUS tersedia mulai 1 Januari 2022.

## Pinjaman dan Jaminan Keuangan

Selain mandat dan insentif, program keuangan berbunga rendah yang ditawarkan oleh pemerintah juga dapat membantu memulai proyek. Meskipun tidak tersedia secara luas di negara-negara berkembang, mekanisme ini lebih sering terlihat di Amerika Serikat, seperti Kantor Pinjaman Departemen Energi. Undang-Undang Pembiayaan dan Inovasi Infrastruktur Transportasi Karbon Dioksida (*Carbon Dioxide Transportation Infrastructure Finance and Innovation Act* [CIFIA]) dalam Kantor Program Pinjaman DOE bekerja sama dengan Energi Fosil dan Manajemen Karbon, menyediakan dukungan finansial untuk proyek transportasi CO<sub>2</sub> dengan pengangkut umum berkapasitas tinggi (misalnya, jaringan pipa, kereta api, pelayaran, dan metode transportasi lainnya) sebagai bagian dari inisiatif CIFIA, yang diintegrasikan ke dalam dan disahkan berdasarkan

Undang-Undang Investasi Infrastruktur dan Ketenagakerjaan (*Infrastructure Investment and Jobs Act* [IIJA]).<sup>16</sup>

Di Asia, ada dana terkait perubahan iklim yang mendukung penanaman Modal. Kemungkinan dana, tergantung pada kondisi desain, mencakup Dana Katalis Aksi Iklim ADB dan Dana Jepang untuk Mekanisme Kredit Bersama milik pemerintah Jepang. Secara umum, bunga pinjaman bank pembangunan multilateral lebih rendah dibandingkan bank umum.

## Pasar untuk Produk Rendah Karbon

Menciptakan pasar untuk produk rendah karbon, yang dijual dengan harga bahan premium, juga dapat mempercepat adopsi CCUS. Produk-produk ini, seperti semen rendah karbon, baja, dan bahan kimia diperoleh baik oleh sektor publik maupun swasta dalam jumlah yang cukup besar (khususnya di negara-negara berkembang di mana permintaan akan bahan-bahan ini terus ada).

## Konsekuensi yang Tidak Diinginkan

Konsekuensi yang tidak diinginkan dapat menjadi hambatan bagi pengembangan proyek atau mengakibatkan pembatalan proyek. Contohnya adalah pembatasan kredit yang menghambat atau menghalangi penerapan CCUS tambahan. Kasus lainnya adalah menjual kredit karbon kepada penghasil emisi untuk ditangkap, yang mungkin membuat penghasil emisi enggan melakukan investasi lain di bidang teknologi yang akan membatasi total emisinya.<sup>17</sup>

## Pendorong Eksternal

Suatu pemerintahan juga dapat dipengaruhi oleh kekuatan-kekuatan di luar wilayah negaranya. Ini mencakup pajak karbon lintas batas (seperti Mekanisme Penyesuaian Batas Karbon UE), yang bersifat wajib atau pelaporan sukarela dan pengungkapan emisi CO<sub>2</sub> secara sectoral atau tingkat industri, dan pasar karbon.

### Pajak Karbon di Luar Negeri

Pada tahun 2023, UE mengadopsi pajak karbon untuk produk karbon intensif yang diimpor, yang dikenal sebagai Mekanisme Penyesuaian Batas Karbon (*Carbon Border Adjustment Mechanism* [CBAM]). Meskipun tidak dapat diberlakukan hingga tahun 2026, kewajiban pelaporan telah dimulai. Tujuan utamanya adalah mengurangi kemungkinan emisi karbon dengan mengenakan pajak berdasarkan intensitas karbon impor tertentu termasuk besi, baja, semen, pupuk, aluminium, listrik, dan hidrogen pada produk yang diimpor ke UE dari yurisdiksi tertentu yang tidak memberlakukan pajak karbon atau kuota Negara-negara lain yang mengimpor barang-barang sarat karbon dari Asia-Pasifik sedang mempertimbangkan untuk mengadopsi pajak lintas batas yang serupa. Dengan demikian, sektor-sektor yang sulit untuk mengurangi emisinya yang tunduk pada CBAM akan mempertimbangkan untuk menangkap emisi CO<sub>2</sub> untuk membantu mengurangi intensitas emisi barang (dan dengan demikian, mempengaruhi pajak karbon yang akan dipungut pada saat ekspor).

### Penghitungan / Pengungkapan / Pelaporan Karbon

Ada peningkatan tekanan bagi industri dan perusahaan untuk bersikap transparan dalam pengungkapan dan pelaporan emisi

GHG. Sementara beberapa industri sarat emisi sering kali berasal dari persyaratan pelaporan dalam negeri melalui peraturan lingkungan mereka, permintaan baru-baru ini juga berasal dari lembaga-lembaga Negara Bagian dan Federal, serta masyarakat umum, untuk menyediakan pengungkapan emisi. Dalam kasus perusahaan publik, usulan pemegang saham semakin menuntut pelaporan emisi langsung dan tidak langsung. Dewan Standar Keberlanjutan Internasional, yang dibentuk di COP26 di Glasgow, sedang mengembangkan standar pengungkapan terkait keberlanjutan.

Meskipun tren ini meningkat di negara-negara Barat, perusahaan internasional yang melakukan bisnis di negara berkembang (termasuk Asia) diminta untuk menjelaskan penghitungan intensitas emisi semua produk dan proses yang mereka rencanakan untuk diimpor. Karena alasan ini, pemantauan jumlah CO<sub>2</sub> yang transparan dan dapat diverifikasi sepanjang rantai nilai CCUS tersebut penting. Penggunaan auditor pihak ketiga untuk meninjau data kuantifikasi emisi memberikan tingkat independensi bagi operator/pengembang dan masyarakat. Di India, 1.000 perusahaan publik teratas berdasarkan kapitalisasi pasar diwajibkan untuk melakukan pengungkapan ESG dengan emisi langsung dan tidak langsung, berdasarkan Kerangka Tanggung Jawab Bisnis dan Keberlanjutan, yang ditentukan berdasarkan Peraturan Badan Pengawas Sekuritas dan Pertukaran India (Persyaratan Kewajiban Pendaftaran dan Pengungkapan), 2015.

## Pasar Karbon

Negara-negara di kawasan ini, seperti Malaysia, Indonesia, India, Vietnam, dan Thailand, juga telah memperhatikan penggunaan pasar karbon untuk mengaktifkan proyek CCUS. Kredit karbon mewakili jumlah emisi yang dikurangi, dihilangkan, atau dihindari dan biasanya diukur dalam 1 ton CO<sub>2</sub> atau setara CO<sub>2</sub>.

Ada dua jenis skema pasar karbon – sukarela dan wajib/patuh. ETS EU, sebagaimana dijelaskan di atas, merupakan contoh skema pasar karbon wajib/patuh. Dalam kedua skema tersebut, pembeli (misalnya, individu, perusahaan, pemerintah) membeli kredit karbon untuk mengimbangi emisi dari penjual (misalnya, pengembang proyek, pemilik, pemodal).

Untuk mendukung integritas pasar karbon, penting untuk (1) menetapkan titik acuan konservatif (jumlah emisi sebelum pengurangan, penghapusan, atau penghindaran), (2) mengukur pengurangan titik acuan, memastikan aktivitas tersebut nyata dan tambahan (aktivitas telah terjadi dan tidak akan terjadi kecuali untuk mekanisme kredit), (3) menjadikannya permanen (tidak ada pembalikan aktivitas pengurangan, penghapusan, penghindaran emisi di masa depan), dan (4) tidak menghitung dua kali aktivitas tersebut (kegiatan pengurangan emisi harus dihitung hanya sekali). Penting juga bagi para penghasil emisi untuk memprioritaskan emisi dalam rantai nilai mereka – yaitu langsung, dan bila memungkinkan, tidak langsung. Kredit karbon dapat membantu industri dalam hal emisi sisa untuk mencapai target nol bersih.

## **Insentif dan Pendapatan bagi Negara**

Serupa dengan proyek industri lainnya, ada beberapa biaya yang berkaitan mengatur, mengizinkan, dan mengawasi kegiatan CCUS. Negara-negara dapat berpotensi mengimbangi biaya-biaya ini dengan menanamkan mekanisme pemulihan biaya ke dalam kerangka CCUS. Mekanisme ini dapat memiliki beberapa bentuk, seperti penerapan biaya izin, yang memungkinkan negara untuk memungut “sewa” di area yang diizinkan untuk melakukan kegiatan, biaya kepatuhan, dan tarif injeksi.

Negara juga dapat mewajibkan perusahaan milik negara untuk berpartisipasi sebagai mitra dalam lisensi penyimpanan CO<sub>2</sub>. Misalnya, perusahaan milik negara Denmark Nordsofonden akan

memiliki 20 persen partisipasi di semua lisensi penyimpanan CO<sub>2</sub>.<sup>18</sup> Oleh karena itu, negara Denmark akan menanggung 20 persen biaya, risiko, dan pendapatan terkait pengembangan dan operasi lisensi penyimpanan. Di wilayah lain di dunia, perusahaan milik negara (khususnya perusahaan minyak nasional) cenderung mempunyai peran lebih penting dalam mengembangkan rantai nilai penuh CCUS dibandingkan dengan entitas di Eropa. Misalnya, Aramco di Arab Saudi dan Perusahaan Minyak Lepas Pantai Nasional Tiongkok di Tiongkok.

# 9. Sumber Daya Tambahan

---



## Justifikasi untuk CCUS

### **United States Long-Term Strategy for Net Zero Emissions**

[www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/10/US-Long-Term-Strategy.pdf](http://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/10/US-Long-Term-Strategy.pdf)

Tautan ini menghubungkan ke laporan Strategi Jangka Panjang Amerika Serikat untuk Pengurangan Emisi Nol Bersih. Laporan ini dapat digunakan sebagai contoh analisis terpadu dan peta jalan untuk mencapai dekarbonisasi mendalam.

### **IPCC Sixth Assessment Report**

[www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/](http://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/)

Tautan ini menghubungkan ke Panel Internasional mengenai Laporan Penilaian Keenam tentang Perubahan Iklim yang berisi informasi berharga tentang perlunya mencapai pengurangan emisi GRK. Laporan ini juga berisi data teknis yang perlu dipertimbangkan oleh negara-negara ketika mengembangkan strategi dekarbonisasi mereka.

### **IEA Net Zero Roadmap**

[www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-15-0c-goal-in-reach](http://www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-15-0c-goal-in-reach)

Peta jalan yang dikembangkan oleh Badan Energi Internasional bagi dunia untuk mencapai dekarbonisasi. Peta jalan ini menyoroti perlunya penerapan teknologi CCUS.

### **CCUS in China's Mitigation Strategy**

[www.sciencedirect.com/science/article/am/pii/S1750583617307570](http://www.sciencedirect.com/science/article/am/pii/S1750583617307570)

Contoh analisis penerapan CCUS untuk Tiongkok dengan menggunakan Model Analisis Perubahan Global (GCAM). Hal ini menunjukkan bagaimana Model Penilaian Terpadu dapat digunakan untuk mempelajari peran CCUS dalam dekarbonisasi mendalam.

## **Net-zero CO<sub>2</sub> by 2050 Scenarios for the United States**

[www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2666278723000119](http://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2666278723000119)

Contoh penggunaan latihan perbandingan antarmodel dapat membantu memahami ketidakpastian model dalam merepresentasikan skenario dekarbonisasi mendalam. Makalah ini juga menyajikan informasi mengenai nilai manfaat CCUS sebagai bagian dari strategi dekarbonisasi.

## **Status/Pelacak Proyek**

### **Clean Air Task Force U.S. Carbon Capture Project Tracker**

[www.catf.us/ccsmapus](http://www.catf.us/ccsmapus)

Peta Interaktif Proyek-proyek CCUS dalam Pembangunan di AS.

### **IOGP Global CCUS Projects**

[www.iogp.org/bookstore/wp-content/uploads/sites/2/woocommerce\\_uploads/2020/03/GRA002\\_220131.pdf](http://www.iogp.org/bookstore/wp-content/uploads/sites/2/woocommerce_uploads/2020/03/GRA002_220131.pdf)

Inventarisasi proyek CCUS oleh Asosiasi Produsen Minyak dan Gas Internasional.

### **Global CCS Institute CCS Facilities Database**

[www.globalccsinstitute.com/co2re/](http://www.globalccsinstitute.com/co2re/)

Basis data proyek CCUS yang dilacak oleh Global CCS Institute.

### **IEA CCS Project Tracker**

[www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/ccus-projects-explorer](http://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/ccus-projects-explorer)

Eksplorasi Proyek - Alat-alat Data - IEA Basis data proyek-proyek CCUS seluruh dunia yang dikembangkan oleh Badan Energi Internasional (IEA)

### **U.S. EPA Permit Well Tracker**

[www.epa.gov/uic/table-epas-draft-and-final-class-vi-well-permits](http://www.epa.gov/uic/table-epas-draft-and-final-class-vi-well-permits)

Tabel Perizinan Sungai Kelas VI Draf dan Final EPA | EPA AS. Tabel daring yang dibuat oleh Badan Perlindungan Lingkungan AS dengan perizinan sumur Kelas VI draf dan akhir.

## **Informasi Teknis CCUS**

### **IEAGHG**

<https://ieaghg.org/>

IEAGHG mendanai penelitian mengenai pengembangan dan penerapan teknologi CCS.

### **U.S Department of Energy Carbon Storage Atlas**

<https://netl.doe.gov/carbon-management/carbon-storage/atlas-data>

Situs web yang dikelola oleh Laboratorium Teknologi Energi Nasional Departemen Energi AS dengan informasi berbasis GIS untuk sumber daya penyimpanan di Amerika Serikat

### **Draft 2030 Roadmap for CCUS for Upstream E&P Companies**

[https://mopng.gov.in/files/article/articlefiles/Draft\\_UFCC\\_Roadmap\\_2030\\_v3.pdf](https://mopng.gov.in/files/article/articlefiles/Draft_UFCC_Roadmap_2030_v3.pdf)

Laporan teknis yang disusun oleh Kementerian Minyak dan Gas Alam India menjelaskan aspek-aspek teknis CCUS.

### **Feasibility of Accelerating the Deployment of CCUS in Developing APEC Economies**

[www.apec.org/docs/default-source/Publications/2014/3/Feasibility-of-Accelerating-the-Deployment-of-Carbon-Capture-Utilization-and-Storage-in-Developing-A/Final-EWG\\_24\\_2011-ARI-APEC-CCUS-EOR-Report.pdf](http://www.apec.org/docs/default-source/Publications/2014/3/Feasibility-of-Accelerating-the-Deployment-of-Carbon-Capture-Utilization-and-Storage-in-Developing-A/Final-EWG_24_2011-ARI-APEC-CCUS-EOR-Report.pdf)

Laporan yang disusun oleh Kerja Sama Ekonomi Asia Pasifik mengenai kelayakan percepatan CCUS-EOR di negara-negara berkembang APEC terpilih.

## **International CCS Knowledge Center**

<https://ccsknowledge.com/>

Pusat Pengetahuan CCS Internasional, yang dikelola oleh Sask Power di Kanada, adalah sebuah organisasi yang bertujuan mengembangkan kapasitas untuk pengembangan kerangka CCUS internasional. Pusat Pengetahuan bertujuan untuk mengoptimalkan aplikasi-aplikasi CCUS skala besar untuk pabrik baja, pabrik semen, dan pembangkit listrik termal (gas alam dan batu bara) melalui inisiatif pengurangan biaya dan kemajuan teknologi.

## **Kerangka**

### **London Convention Protocol**

[www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/London-Convention-Protocol.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/London-Convention-Protocol.aspx)

Situs web yang dikelola oleh Organisasi Maritim Internasional (IMO) mengenai Protokol Konvensi London.

### **IEA CCS Model Regulatory Framework**

[www.iea.org/reports/carbon-capture-and-storage-model-regulatory-framework](http://www.iea.org/reports/carbon-capture-and-storage-model-regulatory-framework)

Laporan IEA yang mengandung informasi seputar berbagai komponen yang diperlukan untuk membuat kerangka regulasi model untuk pengembangan CCUS.

### **U.S. Reporting Requirements for UIC Permittees**

[www.law.cornell.edu/cfr/text/40/146.92](http://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/146.92)

Tautan ini berisi regulasi yang berlaku saat ini untuk pelaporan CO<sub>2</sub> yang diinjeksi ke dalam reservoir geologis yang diizinkan berdasarkan Kelas VI.

### **CCUS Policy Framework and its Deployment Mechanism in India**

[www.niti.gov.in/sites/default/files/2022-12/CCUS-Report.pdf](http://www.niti.gov.in/sites/default/files/2022-12/CCUS-Report.pdf)

Laporan yang dibuat oleh Pemerintah India mengenai kerangka kebijakan untuk CCUS.

## **Asia CCUS Network**

[www.asiaccusnetwork-eria.org/](http://www.asiaccusnetwork-eria.org/)

Situs web untuk Jaringan CCUS Asia yang menyediakan platform bagi para pemangku kepentingan CCUS di kawasan Asia.

## **Pelibatan**

### **WRI Guidelines for Community Engagement in Carbon Dioxide Capture, Transport, and Storage Projects**

[www.wri.org/research/guidelines-community-engagement-carbon-dioxide-capture-transport-and-storage-projects](http://www.wri.org/research/guidelines-community-engagement-carbon-dioxide-capture-transport-and-storage-projects)

Laporan pedoman oleh Institut Sumber Daya Dunia untuk pengembangan pelibatan masyarakat mengenai proyek CCUS.

### **U.S. DOE Public Outreach and Education for Carbon Storage Projects**

<https://netl.doe.gov/node/5828>

Manual yang dibuat oleh Departemen Energi AS untuk merancang kerangka sehubungan dengan penjangkauan publik untuk proyek- proyek penyimpanan.

### **Guidance for Creating Community Benefits Plans for Regional Direct Air Capture Hubs**

[www.energy.gov/oced/articles/community-benefits-plan-guidance](http://www.energy.gov/oced/articles/community-benefits-plan-guidance)

Dokumen panduan yang dibuat oleh Kantor Demonstrasi Energi Bersih (OCED) Departemen Energi AS untuk pembuatan rencana manfaat masyarakat dengan penekanan khusus pada program hub Penangkapan Udara Langsung.

## **Daftar Organisasi-Organisasi Profesi yang ikut serta dalam Pengembangan CCUS**

- Asosiasi Ahli Geologi Perminyakan Amerika (AAPG)
- Masyarakat Kimia Amerika

- Persatuan Geofisika Amerika
- Institut Insinyur Kimia Amerika (AIChE)
- Institut Insinyur Pertambangan, Metalurgi, dan Perminyakan Amerika (AIME)
- Asosiasi Teknologi Besi dan Baja (AIST)
- Institut Insinyur Listrik dan Elektronika (IEEE)
- Pusat Keunggulan Nasional dalam Penangkapan dan Pemanfaatan Karbon, IIT Bombay, India
- Asosiasi Ahli Geosains dan Insinyur Eropa (EAGE)
- Masyarakat Geologi Amerika (GSA)
- Masyarakat Pertambangan, Metalurgi, dan Eksplorasi (UKM)
- Perkumpulan Insinyur Perminyakan (SPE)
- Masyarakat Mineral, Logam, dan Material (TMS)

# Akronim

---

<b>ADB</b>	<i>Asian Development Bank</i> (Bank Pembangunan Asia)
<b>BECCS</b>	<i>Biomass Carbon Capture and Storage</i> (Penangkapan dan Penyimpanan Karbon Biomassa)
<b>CAPEX</b>	<i>Capital Costs</i> (Biaya Modal)
<b>CBAM</b>	<i>Carbon Border Adjustment Mechanism</i> (Mekanisme Penyesuaian Batas Karbon)
<b>CCS</b>	<i>Carbon Capture and Storage</i> (Penangkapan dan Penyimpanan Karbon) Penangkapan, Pemanfaatan, dan Penyimpanan
<b>CCUS</b>	<i>Carbon Capture, Utilization, and Storage</i> (Penangkapan, Pemanfaatan, dan Penyimpanan Karbon)
<b>CDR</b>	<i>Carbon Dioxide Removal</i> (Penghapusan Karbon Dioksida)
<b>CIFIA</b>	<i>Carbon Dioxide Transportation Infrastructure Finance and Innovation Act</i> (Undang-Undang Pembiayaan dan Inovasi Infrastruktur Pengangkutan Karbon Dioksida)
<b>CO<sub>2</sub></b>	<i>Carbon Dioxide</i> (Karbon Dioksida)
<b>EOR</b>	<i>Enhanced Oil Recovery</i> (Pengurusan/Perolehan Minyak Tahap Lanjut)
<b>DAC</b>	<i>Direct Air Capture</i> (Penangkapan Udara Langsung)
<b>DFI</b>	<i>Direct Foreign Investment</i> (Penanam Modal Asing Langsung)
<b>EGR</b>	<i>Enhanced Gas Recovery</i> (Pengurusan/Perolehan Gas Tahap Lanjut)
<b>EHR</b>	<i>Enhanced Hydrocarbon Recovery</i> (Pengurusan/Perolehan Hidrokarbon Tahap Lanjut)



<b>EOR</b>	<i>Enhanced Oil Recovery</i> (Pengurusan/Perolehan Minyak Tahap Lanjut)
<b>EOR/EGR</b>	<i>Enhanced Oil/Gas Recovery</i> (Pengurusan/Perolehan Minyak/Gas Tahap Lanjut)
<b>ETS</b>	<i>European Trading Scheme</i> (Skema Perdagangan Eropa)
<b>FECM</b>	<i>Fossil Energy and Carbon Management</i> (Manajemen Energi Fosil dan Karbon)
<b>FEED</b>	<i>Front End Engineering Studies</i> (Studi Rekayasa Bagian Depan)
<b>FOM</b>	<i>Fixed Operation and Maintenance Cost</i> (Biaya Operasi dan Pemeliharaan Tetap)
<b>GCSSI</b>	<i>Global CCS Institute</i> (Institut CCS Global)
<b>GHG</b>	<i>Greenhouse Gas</i> (Gas Rumah Kaca)
<b>IEA</b>	<i>International Energy Agency</i> (Badan Energi Internasional)
<b>IIJA</b>	<i>Infrastructure Investment and Jobs Act</i> (Undang-Undang Investasi Infrastruktur dan Lapangan Kerja)
<b>IPCC</b>	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Panel Antarpemerintah tentang Perubahan Iklim)
<b>IRA</b>	<i>Inflation Reduction Act</i> (Undang-Undang Pengurangan Inflasi)
<b>ISO</b>	<i>International Organization for Standardization</i> (Organisasi Internasional untuk Standardisasi)
<b>ISO/TC</b>	<i>International Organization for Standardization Technical Committee</i> (Komite Teknis Organisasi Internasional untuk Standardisasi)

<b>ITC</b>	<i>Investment Tax Credits</i> (Kredit Pajak Investasi)
<b>LCA</b>	<i>Life-cycle Analysis</i> (Analisis Siklus Hidup)
<b>MoU</b>	<i>Memorandum of Understanding</i> (Nota Kesepahaman)
<b>MRV</b>	<i>Measurement, Reporting, and Verification</i> (Pengukuran, Pelaporan, dan Verifikasi)
<b>MTPA</b>	<i>Million Tons Per Annum</i> (Juta Ton per Tahun)
<b>NCCC</b>	<i>National Carbon Capture Center</i> (Pusat Penangkapan Karbon Nasional)
<b>NGO</b>	<i>Non-Governmental Organization</i> (Organisasi Non-Pemerintah)
<b>NCoE</b>	<i>National Center of Excellence</i> (Pusat Keunggulan Nasional)
<b>NDC</b>	<i>Nationally Determined Contribution</i> (Kontribusi yang Ditentukan Secara Nasional)
<b>PTC</b>	<i>Production Tax Credits</i> (Kredit Pajak Produksi)
<b>R&amp;D</b>	<i>Research and Development</i> (Penelitian dan Pengembangan)
<b>RD&amp;D</b>	<i>Research, Development, and Deployment</i> (Penelitian, Pengembangan, dan Penerapan)
<b>RECS</b>	<i>Research Experience in Carbon Sequestration</i> (Pengalaman Riset dalam Penyerapan Karbon)
<b>SCADA</b>	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i> (Kontrol Pengawasan dan Pemerolehan Data)
<b>TCM</b>	<i>Test Center Mongstad</i> (Pusat Pengujian Mongstad)
<b>UIC</b>	<i>Underground Injection Control</i> (Kontrol Injeksi Bawah Tanah)

---

<b>UNCLOS</b>	<i>United Nations Convention on the Law of the Sea</i> (Konvensi Perserikatan Bangsa-Bangsa tentang Hukum Laut)
<b>VOM</b>	<i>Variable Operating and Maintenance Costs</i> (Biaya Operasi dan Pemeliharaan Variabel)

---

# Glosarium

---

***Abandonment (Penutupan Sumur)***

Proses yang digunakan untuk mengakhiri operasi secara permanen; istilah yang digunakan dalam industri untuk menunjukkan penghentian operasi sumur

***Authority (Pihak Berwenang)***

Badan pemerintah atau badan yang memiliki kekuatan hukum untuk mengatur atau mengizinkan kegiatan

***Barge (Tongkang)***

Unit terapung yang mengangkut barang di perairan yang ditarik oleh kapal

***Capture plant (Instalasi penangkapan)***

Peralatan pemrosesan dan terkait yang memisahkan dan menangani CO<sub>2</sub> dari emisi sebuah fasilitas

***Carbon dioxide (Karbon dioksida atau CO<sub>2</sub>)***

Gas yang tidak berwarna dan tidak berbau yang terdiri atas satu molekul karbon dan dua molekul oksigen; dikategorikan sebagai gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap perubahan iklim; umumnya dihasilkan oleh pembakaran atau konversi produk berbasis karbon

***Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>)-equivalent (Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>)-ekuivalen)***

Ukuran untuk membandingkan emisi dari berbagai gas rumah kaca berdasarkan potensi pemanasan global masing-masing, dibandingkan dengan potensi pemanasan CO<sub>2</sub>

***Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) stream (Aliran karbon dioksida (CO<sub>2</sub>))***

Cairan yang sebagian besar terdiri dari karbon dioksida

***Closure (Penutupan)***

Menutup lokasi penyimpanan yang sudah tidak digunakan lagi; biasanya memerlukan izin dari pihak berwenang yang memiliki yurisdiksi

***CO<sub>2</sub> emissions reduction (Pengurangan emisi CO<sub>2</sub>)***

Penurunan bersih emisi CO<sub>2</sub> yang dihitung untuk proses tertentu; penggunaan metode analisis yang kompleks seperti Penilaian Siklus Hidup diperlukan untuk memastikan pengurangan bersih

***Compression (Kompresi)***

Penggunaan sebuah perangkat yang meningkatkan tekanan CO<sub>2</sub>. Sebuah kompresor biasanya menggunakan perpindahan mekanis untuk mengompresi gas ke tekanan yang lebih tinggi sehingga gas dapat mengalir ke jaringan pipa dan fasilitas lainnya.

***Containment (Penampungan/penahanan)***

Status di mana CO<sub>2</sub> terkandung dalam reservoir penyimpanan oleh perangkat atau kombinasi dari beberapa perangkat yang efektif.

***Decommission (Pembongkaran)***

Proses menghentikan sistem atau komponen rekayasa dari layanan, dan mengembalikan area tersebut ke keadaan semula.

***Dense phase CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub> fase padat)***

CO<sub>2</sub> dalam fase cair atau superkritisnya

***Engagement (Pelibatan)***

Proses konsultasi yang melibatkan para pemangku kepentingan untuk mengidentifikasi dan menangani isu-isu yang menjadi kepentingan bersama dan untuk berbagi informasi

***CO<sub>2</sub>-enhanced oil recovery (CO<sub>2</sub>-EOR) (Pengurusan minyak tahap lanjut-CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>-EOR))***

Sebuah proses yang dirancang untuk menghasilkan hidrokarbon CO<sub>2</sub> dari reservoir geologis menggunakan injeksi CO<sub>2</sub>

***Emissions (Emisi)***

Pelepasan bahan kimia dari proses industri ke lingkungan

***Flue gas (Gas buang)***

Campuran gas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar; gas buang dapat terdiri dari produk sampingan pembakaran dan bahan kimia lain yang dihasilkan oleh reaksi sekunder

***Formation (Formasi)***

Batuan, sedimen, atau endapan

***Geological storage (Penyimpanan geologis)***

Penahanan CO<sub>2</sub> jangka panjang di bawah permukaan dalam pori-pori di dalam formasi

***Greenhouse gas (GHG) (Gas Rumah Kaca (GRK))***

Gas rumah kaca adalah gas di atmosfer seperti karbon dioksida, metana, gas berfluorinasi, dan dinitrogen oksida yang dapat menyerap radiasi inframerah dan memerangkap panas di atmosfer.

***Impurities (Pengotor)***

Zat-zat yang terdapat dalam jumlah sangat kecil di dalam suatu material; seperti yang digunakan dalam buku ini, zat-zat non-CO<sub>2</sub> yang menjadi bagian dari aliran CO<sub>2</sub> yang mungkin ditambahkan dari bahan baku atau proses penangkapan, ditambahkan sebagai hasil dari pencampuran untuk diangkut, atau dilepaskan atau terbentuk sebagai hasil dari penyimpanan di bawah permukaan dan/atau kebocoran CO<sub>2</sub>.

***Leakage (Kebocoran)***

Pelepasan CO<sub>2</sub> secara tidak disengaja

***Life cycle assessment (LCA) (Penilaian siklus hidup)***

Kompilasi dan evaluasi dari input, output, dan potensi dampak lingkungan serta kesehatan dari sebuah proyek CCUS selama siklus hidupnya.

***Long-term liability or stewardship (Kewajiban atau penatalayanan jangka panjang)***

Tanggung jawab hukum dan keuangan untuk semua aspek situs penyimpanan geologis setelah penutupan untuk jangka waktu yang lama

***Monitoring (Pemantauan)***

Pemantauan adalah pemeriksaan, pengawasan, pengamatan kritis, pengukuran, atau penentuan status dari sebuah sistem secara berkelanjutan atau berulang-ulang untuk mengidentifikasi perubahan dari titik referensi (baseline) atau penyimpangan dari level kinerja yang diharapkan.

***Net Zero (Nol Bersih)***

Keadaan selisih keseluruhan antara emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dan emisi gas rumah kaca yang diambil dari atmosfer.

***Operator (Operator)***

Orang atau entitas yang secara hukum bertanggung jawab atas pengoperasian proyek CCUS

***Onshore storage (Penyimpanan di darat)***

Penyimpanan geologis di bawah tanah

***Offshore storage (Penyimpanan lepas pantai)***

Penyimpanan geologis di bawah laut

***Paris Agreement (Perjanjian Paris)***

Diadopsi pada tahun 2015, Perjanjian ini merupakan perjanjian internasional yang mencakup mitigasi, adaptasi, dan pembiayaan perubahan iklim. Perjanjian ini membutuhkan transformasi ekonomi dan sosial berdasarkan ilmu pengetahuan terbaik yang tersedia.

***Point source (Sumber titik)***

Sumber emisi CO<sub>2</sub> dari proses industri dan pembakaran stasioner dari industri dan pembangkit listrik.



***Post-closure period (Periode pasca-penutupan)***

Periode yang dimulai setelah pelaksanaan kepatuhan terhadap kriteria penutupan lokasi

***Post-combustion CO<sub>2</sub> capture (Penangkapan CO<sub>2</sub> pasca-pembakaran)***

Menangkap karbon dioksida dari aliran gas buang yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar fosil

***CO<sub>2</sub> purity (Kemurnian CO<sub>2</sub>)***

Persentase berdasarkan massa CO<sub>2</sub> sebagai komponen CO<sub>2</sub>

***Regulator (Regulator)***

Satu atau lebih lembaga yang memiliki wewenang untuk mengizinkan, menyetujui, dan/atau mengesahkan satu atau beberapa proyek CCUS

***Risk assessment (Penilaian risiko)***

Keseluruhan proses identifikasi risiko, analisis risiko, dan evaluasi risiko

***Safe long-term (Periode jangka panjang yang aman)***

Periode yang diperlukan agar penyimpanan dapat dianggap aman secara lingkungan berdasarkan skema yang digunakan dalam pengukuran tersebut, dan mungkin sesuai dengan suatu standar atau kesepakatan.

***Site characterization (Karakterisasi lokasi)***

Evaluasi terperinci dari satu atau lebih calon lokasi untuk untuk penyimpanan CO<sub>2</sub> yang diidentifikasi dalam tahap penyaringan dan pemilihan proyek penyimpanan CO<sub>2</sub> untuk mengonfirmasi dan menyempurnakan integritas penyimpanan, sumber daya penyimpanan, dan estimasi injektivitas dan menyediakan data dasar untuk pemodelan prediktif awal aliran fluida, reaksi geokimia, efek geomekanik, penilaian risiko, dan desain program pemantauan dan validasi

***Site screening and selection* (Penyaringan dan pemilihan lokasi)**

Proses menilai dan memprioritaskan sejumlah lokasi penyimpanan geologis

***Site stewardship* (Penatalayanan lokasi)**

Pekerjaan mengawasi atau menjaga lokasi penyimpanan

***Social license to operate* (Izin sosial untuk beroperasi)**

Penerimaan yang berkelanjutan atas praktik bisnis dan prosedur operasi standar perusahaan atau industri oleh karyawan, masyarakat setempat, kelompok masyarakat adat yang terkena dampak, dan masyarakat umum

***Stakeholders* (Pemangku kepentingan)**

Individu, sekelompok individu, atau organisasi-organisasi yang kepentingannya dapat atau mungkin terdampak oleh proyek CCUS

***Storage project* (Proyek penyimpanan)**

Cakupan cakupan fisik dan temporal dari aktivitas yang terkait dengan proyek penyimpanan geologis CO<sub>2</sub> yang mencakup pemilihan dan karakterisasi lokasi, pengumpulan data dasar, perizinan, desain dan konstruksi fasilitas lokasi (pipa lokasi, kompresor, dll.), pengeboran sumur, penerimaan CO<sub>2</sub> di lokasi penyimpanan dan injeksi CO<sub>2</sub> selama fase injeksi aktif, serta penutupan lokasi (termasuk penutupan sumur dan fasilitas).

***Storage site* (Lokasi penyimpanan)**

Lokasi yang terdiri atas fasilitas penyimpanan dan sumur-sumur proyek penyimpanan

***Supercritical CO<sub>2</sub>* (Karbon dioksida superkritis)**

CO<sub>2</sub> pada tekanan dan suhu di atas tekanan kritis dan suhu kritis.

***Verification* (Verifikasi)**

Konfirmasi melalui pemeriksaan dan penyediaan bukti objektif bahwa kriteria yang ditentukan telah terpenuhi.

***Well or wellbore (Sumur atau lubang sumur)***

Lubang yang dibuat ke dalam tanah di situ kombinasi dari tubing, casing, dan semen ditempatkan untuk mengalirkan cairan masuk atau keluar dari bawah permukaan.

# Catatan

---

## Pedoman Buku Panduan

- 1 Pada tahun 2022, Asia mengeluarkan emisi lebih dari 58% CO<sub>2</sub> dunia. Ritchie, Hannah dan v Roser 2020: “Emisi CO<sub>2</sub>”, <https://ourworldindata.org/co2-emissions>

### Bab 1:

- 1 IPCC 2023: Bagian. Dalam: Perubahan Iklim 2023: Laporan Sintesis. Kontribusi Kelompok Kerja I, II dan III bagi Laporan Penilaian Keenam Panel Antarpemerintah tentang Perubahan Iklim [Tim Penulis Inti, H. Lee dan J. Romero (eds.)]. IPCC, Jenewa, Swiss, hal. 35-115, [https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_LongerReport.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf)

---

- 2 Ritchie, Hannah dan Roser, Max 2020: Emisi CO<sub>2</sub>, <https://ourworldindata.org/co2-emissions>

---

- 3 United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) 2016: Perjanjian Paris, [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/parisagreement\\_publication.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/parisagreement_publication.pdf)

---

- 4 Komisi Eropa 2023: Mekanisme Penyesuaian Batas Karbon, [https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism\\_en](https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en)

---

- 5 Kementerian Lingkungan, Hutan dan Perubahan Iklim 2022: Sikap India terhadap COP-26, <https://pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1795071>

---

- 6 IPCC 2023: Bagian. Dalam: Perubahan Iklim 2023: Laporan Sintesis. Kontribusi Kelompok Kerja I, II dan III bagi Laporan Penilaian Keenam Panel Antarpemerintah tentang Perubahan Iklim [Tim Penulis Inti, H. Lee dan J. Romero (eds.)]. IPCC, Jenewa, Swiss, hal. 35-115, [https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_LongerReport.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf)

---

- 7 IEA 2023: Peta Jalan Nol Bersih, <https://www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-15-0c-goal-in-reach/making-the-net-zero-scenario-a-reality>

- 8 Budinis, Sara dkk. 2018: Penilaian biaya, hambatan dan potensi CCS, *Energy Strategy Reviews*, Volume 22, 2018, Halaman 61-81, ISSN 2211-467X, <https://doi.org/10.1016/j.esr.2018.08.003>.
- 
- 9 Chen, Darius; Lock, Ed; dan Low, Jess Lyn 2023: Membuka potensi besar penangkapan karbon di Asia-Pasifik, <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/unlocking-asia-pacifics-vast-carbon-capture-potential>
- 
- 10 Equinor. Area Sleipner, <https://www.equinor.com/energy/sleipner>
- 
- 11 Global CCS Institute 2023: Status Global CCS 2023 – Laporan & Ringkasan Eksekutif, <https://www.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research/global-status-of-ccs-2023-executive-summary>
- 
- 12 McKinsey & Company 2023: Corraling carbon, <https://www.mckinsey.com/featured-insights/sustainable-inclusive-growth/chart-of-the-day/corraling-carbon>
- 
- 13 Chen, Darius; Lock, Ed; dan Low, Jess Lyn 2023: Membuka potensi besar penangkapan karbon di Asia-Pasifik, <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/unlocking-asia-pacifics-vast-carbon-capture-potential>
- 
- 14 Global CCS Institute 2023: Pandangan: Institute mengeluarkan Laporan Kemajuan CCUS Tiongkok, <https://www.globalccsinstitute.com/news-media/insights/insight-institute-launched-a-china-ccus-progress-report/>
- 
- 15 Global CCS Institute 2023: Tujuh Proyek CCS akan Menerima Dukungan dari Pemerintah Jepang, <https://www.globalccsinstitute.com/news-media/latest-news/seven-ccs-projects-to-receive-support-from-the-japanese-government/>
- 
- 16 Indonesia menyatakan bahwa Exxon Mobil berencana akan berinvestasi hingga \$15 miliar di Indonesia, 15 November 2023, <https://www.reuters.com/business/energy/indonesia-says-exxon-mobil-plans-invest-up-15-blb-country-2023-11-16/>

## Bab 2:

- 1 *carboncapturecoalition.org/coalition-publishes-fact-sheet-on-co2-pipeline-safety-federal-safety-authority/*

---
- 2 Yara International, 17 Agustus 2015: CO<sub>2</sub> cair baru dikirim ke Yara, *www.yara.com/news-and-media/news/archive/2015/new-liquid-co2-ship-for-yara*

---
- 3 Organisasi Pengembangan Teknologi Industri dan Energi Baru, Jepang, 28 November 2023: Rilis berita (bahasa Jepang) 世界初、低温・低圧の液化CO<sub>2</sub>大量輸送に向けた実証試験船「えくすくうる」が完成。 *https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5\_101705.html*

---
- 4 Offshore Energy, Bahtic, Fatima 28 Maret Pengangkut CO<sub>2</sub> cair pertama di dunia untuk CCUC diluncurkan, *https://www.offshore-energy.biz/worlds-1st-liquid-co2-carrier-intended-for-ccus-launched/*

---
- 5 Herzog, Howard 2023: Penangkapan Karbon, *https://climate.mit.edu/explainers/carbon-capture#:~:text=Using%20the%20CO2&text=Other%20possible%20uses%20of%20CO,of%20the%20%20 captured%20CO2*

---
- 6 Kantor Manajemen Karbon dan Energi Fosil: *Enhanced Oil Recovery*, *https://www.energy.gov/fecm/enhanced-oil-recovery*

---
- 7 ADB 2021: Studi Prakelayakan tentang Penangkapan dan Pemanfaatan Karbon, Industri Semen India. Laporan Konsultan Manila (TA 9686-REG).

## Bab 3:

- 1 Jaringan Proyek CCUS: Parmiter, Philippa; Bell, Rebecca 2020: Persepsi publik CCS: Kajian Pelibatan Publik untuk Proyek CCS, *https://www.ccusnetwork.eu/sites/default/files/TG1\_Briefing-Report-Public-Perception-of-CCS.pdf*

- 2 Jaringan Proyek CCUS: Parmiter, Philippa; Bell, Rebecca 2020: Persepsi publik CCS: Kajian Pelibatan Publik untuk Proyek CCS, [https://www.ccusnetwork.eu/sites/default/files/TG1\\_Briefing-Report-Public-Perception-of-CCS.pdf](https://www.ccusnetwork.eu/sites/default/files/TG1_Briefing-Report-Public-Perception-of-CCS.pdf)

---

- 3 Bellona, 11 November 2010: Komunikasi CCS: pelajaran yang diambil dari Barendrecht, <https://bellona.org/news/ccs/2010-11-ccs-communication-lessons-learnt-from-barendrecht>

---

- 4 Brunsting, Suzanne; Best-Waldhober, Marjolein de; Feenstra, Ynke; Mikunda, Tom (2011) sebagaimana dirujuk dalam Jaringan Proyek CCUS, Parmiter, Philippa; Bell, Rebecca May 2020: Persepsi publik CCS: Kajian Pelibatan Publik untuk Proyek CCS, [https://www.ccusnetwork.eu/sites/default/files/TG1\\_Briefing-Report-Public-Perception-of-CCS.pdf](https://www.ccusnetwork.eu/sites/default/files/TG1_Briefing-Report-Public-Perception-of-CCS.pdf)

## Bab 4:

- 1 IEA Greenhouse Gas R&D Programme Summer School Program, <https://ieaghg.org/summer-school>

---

- 2 Technology Centre Mongstad, 19 Desember 2023: TCM akan tetap di bawah kepemilikan yang sama, <https://tcmda.com/tcm-to-continue-under-the-same-ownership/>

---

- 3 Technology Centre Mongstad, 6 Mei Berbagi temuan-temuan kami, <https://tcmda.com/sharing-our-findings/>

---

- 4 Project ACCSESS, 2024: Mengenalkan TCM, <https://www.projectaccess.eu/partners/technology-centre-mongstad/>

---

- 5 Technology Centre Mongstad, 25 Januari 2024: Kolaborasi dengan SINTEF, <https://tcmda.com/collaboration-with-sintef/>

---

- 6 International Test Center Network 2024: Tentang ITCN: <https://itcn-global.org/about-the-itcn/#%20>

---

- 7 Ibid.



## Bab 5:

- 1 Donelan, Edward 2022: Tata Kelola Regulasi: Pembuatan Kebijakan, Penyusunan Legislasi dan Reformasi Hukum

---

- 2 Kementerian Ekonomi 2023: Peta Jalan Transisi Energi, [https://www.ekonomi.gov.my/sites/default/files/2023-09/National%20Energy%20Transition%20Roadmap\\_0.pdf](https://www.ekonomi.gov.my/sites/default/files/2023-09/National%20Energy%20Transition%20Roadmap_0.pdf)

---

- 3 PIB Delhi 2022: NITI Aayog menerbitkan laporan studi tentang "Kerangka Kebijakan Penangkapan, Pemanfaatan, dan Penyimpanan (CCUS) Karbon dan mekanisme Penerapannya di India', <https://pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1879865>

---

- 4 Kulichenko, Natalia; Ereira, Eleanor 2012: Penangkapan dan Penyimpanan Karbon di Negara Berkembang Perspektif terhadap Hambatan dari Penerapan, <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/615481468315295070/carbon-capture-and-storage-in-developing-countries-a-perspective-on-barriers-to-deployment>

## Bab 6:

- 1 <https://www.iea.org/reports/legal-and-regulatory-frameworks-for-ccus>

---

- 2 ISO/TC 265, 2011: Penangkapan, pengangkutan, dan penyimpanan geologis, <https://www.iso.org/committee/648607.html>

---

- 3 DNV, Schoon, Barbara 14 Juni 2023: DNV telah memverifikasi keselamatan semua aspek penyimpanan CO<sub>2</sub> Project Greensand di Laut Utara, <https://www.dnv.com/news/dnv-has-verified-the-safety-of-all-aspects-of-project-greensand-s-co2-storage-in-the-north-sea-244503>; juga lihat Europetrole, 26 November 2020: Project Greensand: Reservoir dan infrastruktur Laut Utara telah disertifikasi untuk penyimpanan CO<sub>2</sub>, <https://www.euro-petrole.com/project-greensand-north-sea-reservoir-and-infrastructure-certified-for-co2-storage-n-i-21438>

- 4 NOVATEK, 3 Februari 2022: NOVATEK memperoleh Sertifikasi Internasional untuk Lokasi Penyimpanan Bawah Tanah CO<sub>2</sub> di Yamal dan Gydan, [https://www.novatek.ru/en/press/releases/index.php?id\\_4=4861](https://www.novatek.ru/en/press/releases/index.php?id_4=4861)

---

- 5 IEA 2022: Kerangka Legal dan Regulasi untuk CCUS <https://www.iea.org/reports/legal-and-regulatory-frameworks-for-ccus>

---

- 6 Situs web EPA mencakup dokumen-dokumen panduan terkait dengan UIC Kelas VI, tersedia di [www.epa.gov/uic/final-class-vi-guidance-documents](http://www.epa.gov/uic/final-class-vi-guidance-documents). Draf perizinan dan perizinan aktif tercakup dalam situs web ini: [www.epa.gov/uic/current-class-vi-projects-under-review-epa](http://www.epa.gov/uic/current-class-vi-projects-under-review-epa). Perangkat perizinan tambahan dapat ditemukan di situs web UIC Kelas VI EPA umum: [www.epa.gov/uic/class-vi-wells-used-geologic-sequestration-carbon-dioxide/#ClassVIITools](http://www.epa.gov/uic/class-vi-wells-used-geologic-sequestration-carbon-dioxide/#ClassVIITools).

---

- 7 IEA 2010: Kerangka Regulasi Model CCS 6.11.1 <https://www.iea.org/reports/legal-and-regulatory-frameworks-for-ccus>

---

- 8 Idem.

---

- 9 Perintah 2009/31/EC Parlemen Eropa dan Dewan 23 April 2009, Pasal 18

---

- 10 Situs web Organisasi Maritim Internasional memuat daftar aktif negara-negara yang merupakan Pihak Kontrak dalam Protokol London: <https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/StatusOfConventions.aspx>.

---

- 11 Organisasi Maritim Internasional, 2024: Konvensi dan Protokol London, <https://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/ConferencesMeetings/Pages/London-Convention-Protocol.aspx>

---

- 12 International Maritime Organization Publishing, November 2023: Katalog, <https://indd.adobe.com/view/92aa64cd-a96c-45c5-ad0b-26671c21be13>

---

- 13 Organisasi Maritim Internasional: Status Konvensi, <https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/StatusOfConventions.aspx>

- 14 United Nations Treaty Collection (UNTC) 10 September 1997: Bab XXVII Lingkungan 4. Konvensi tentang Analisa Dampak Lingkungan dalam Konteks Lintas Batas Negara, UNTC [https://treaties.un.org/pages/ViewDetails.aspx?src=IND&mtdsg\\_no=XXVII-4&chapter=27&clang=\\_en](https://treaties.un.org/pages/ViewDetails.aspx?src=IND&mtdsg_no=XXVII-4&chapter=27&clang=_en)

---
- 15 United Nations Treaty Collection 30 Oktober 2001: Bab XXVII Lingkungan 13. Konvensi tentang Akses terhadap Informasi, Partisipasi Publik dalam Pengambilan Keputusan, dan Akses terhadap Keadilan dalam Masalah Lingkungan, [https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=IND&mtdsg\\_no=XXVII-13&chapter=27](https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=IND&mtdsg_no=XXVII-13&chapter=27)

---
- 16 Greensand 2024: Penyimpanan Karbon Pertama – Greensand membuka jalan untuk memitigasi perubahan iklim dengan CCS, <https://www.projectgreensand.com/en/first-carbon-storage>

---
- 17 Energi Forskning 2024: Project Greensand Tahap 1, <https://energiforskning.dk/files/media/document/64020-1080%20-%20Project%20Greensand%20Phase%201%20-%20End%20of%20Phase%20Report.pdf>

---
- 18 Greensand 2024: Apa Project Greensand?, <https://www.projectgreensand.com/en/hvad-er-project-greensand>

---
- 19 State of Green 30 September 2022: Denmark, Flanders dan Belgia menandatangani pengaturan pertama tentang pengangkutan CO<sub>2</sub> lintas batas untuk penyimpanan geologis, <https://stateofgreen.com/en/news/denmark-flanders-and-belgium-sign-groundbreaking-arrangement-on-cross-border-transportation-of-co2-for-geological-storage/>

---
- 20 Nota Kesepahaman (MOU) antara Menteri Lingkungan Wilayah Flemish dan Menteri Federal Laut Utara Belgia dan Menteri Iklim, Energi, dan Utilitas Denmark tentang Pengangkutan CO<sub>2</sub> lintas batas dengan Tujuan Penyimpanan Geologis Permanen, <https://kefm.dk/Media/638000596525014193/Bilateral%20arrangement%20DK-BE.pdf>

- 21 Santos 7 Agustus 2023: Usaha Patungan Bayu-Undan dan Timor Gap menandatangani MOU untuk bekerja sama dalam bidang penangkapan dan penyimpanan karbon, <https://www.santos.com/news/bayu-undan-joint-venture-and-timor-gap-sign-mou-to-cooperate-on-carbon-capture-and-storage/>

---

- 22 Pemerintah Timor-Leste 13 Oktober 2023: Kementerian Perminyakan dan Sumber Daya Mineral Mempromosikan Seminar mengenai Kerangka Legal dan Regulasi untuk Penangkapan dan Penyimpanan Karbon di Timor-Leste, <http://timor-leste.gov.tl/?p=34678&lang=en&n=1>

## Bab 7:

- 1 Badan Energi Internasional (IEA), Proyek Demonstrasi CCS Tomakomai, <https://www.iea.org/reports/ccus-around-the-world/tomakomai-ccs-demonstration-project>

---

- 2 Undang-undang tentang Pencegahan Pencemaran Laut dan Bencana Maritim 1970: UU No. 136

---

- 3 Global CCS Institute 2016: Kerangka hukum dan regulasi CCS di Jepang, <https://www.globalccsinstitute.com/news-media/insights/japans-legal-and-regulatory-framework-for-ccs>

---

- 4 Kementerian Ekonomi, Perdagangan dan Industri (METI), Organisasi Pengembangan Teknologi Industri dan Energi Baru (NEDO), dan Japan CCS Co., Ltd. (JCCS) 2023: Laporan Proyek Demonstrasi CCS Tomakomai dengan injeksi kumulatif 300 ribu ton, [https://www.meti.go.jp/english/press/2020/pdf/0515\\_004a.pdf](https://www.meti.go.jp/english/press/2020/pdf/0515_004a.pdf)

---

- 5 Id. Salindia 13

---

- 6 Id. Salindia 13

---

- 7 Equinor 2019: Kemitraan Sleipner mengeluarkan data penyimpanan CO<sub>2</sub>, <https://www.equinor.com/news/archive/2019-06-12-sleipner-co2-storage-data>

- 8 Ibid.
- 
- 9 Peraturan terkait dengan eksploitasi reservoir bawah laut di landas kontinen untuk penyimpanan CO<sub>2</sub> dan terkait pengangkutan CO<sub>2</sub> di landas kontinen. FOR-2014-12-05-1517. Terjemahan bahasa Inggris tersedia di sini: <https://www.sodir.no/en/regulations/regulations/exploitation-of-subsea-reservoirs-on-the-continental-shelf-for-storage-of-and-transportation-of-co/>
- 
- 10 Peraturan Pengendalian Pencemaran Norwegia §35-16, FOR-2004-06-01-931 §35-16
- 
- 11 Miljødirektoratets 2016: Tillatelse etter forurensningsloven for Injeksjon og lagring av CO<sub>2</sub> på Sleipnerfeltet Statoil Petroleum, <https://www.norskeutslipp.no/WebHandlers/PDFDocumentHandler.ashx?documentID=301400&documentType=T&companyID=16802&aar=0&epslanguage=en>
- 
- 12 Rynearson, Arthur J. 2013: Prosedur Penulisan Perundang-undangan. International Law Institute
- 
- 13 Ombudstvedt, Ingvild dan Koperna, George 2023: Membandingkan Rezim perizinan untuk Penyimpanan CO<sub>2</sub>, Seperti Membandingkan Apel dengan Jeruk?, <https://www.ogel.org/article.asp?key=4091>
- 
- 14 Gassnova 2020: Mengembangkan Pelajaran Kunci Longship, <https://gassnova.no/app/uploads/sites/6/2022/06/Gassnova-Developing-Longship-FINAL.pdf>
- 
- 15 Program Pengembangan Hukum Dagang: Memahami Perjanjian Pembelian Listrik, <https://cldp.doc.gov/sites/default/files/PPA%20Second%20Edition%20Update.pdf>

## Bab 8:

- 1 Almendra, Francisco dkk. 2011: Demonstrasi CCS di Negara-negara Berkembang: Prioritas Mekanisme Pembiayaan untuk Penangkapan dan Penyimpanan Karbon Dioksida, <https://www.wri.org/publication/ccs-demonstration-in-developing-countries>

---

- 2 Lewis, Jangira 2022: Menilai Pajak Karbon Jepang, <https://earth.org/japan-carbon-tax/>

---

- 3 Sekretariat Perubahan Iklim Nasional Singapura, Pajak Karbon, [www.nccs.gov.sg/singapores-climate-action/mitigation-efforts/carbontax/](http://www.nccs.gov.sg/singapores-climate-action/mitigation-efforts/carbontax/)

---

- 4 Komisi Eropa, Cakupan Sistem Perdagangan Emisi Uni Eropa, [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/scope-eu-emissions-trading-system\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/scope-eu-emissions-trading-system_en)

---

- 5 Komisi Eropa, Apa EU ETS?, [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/what-eu-ets\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/what-eu-ets_en)

---

- 6 Peraturan Pelaksana Komisi (UE) 2018/2066 tanggal 19 Desember 2018 tentang pemantauan dan pelaporan emisi gas rumah kaca sesuai Perintah 2003/87/EC Parlemen Eropa dan Dewan dan perubahan Peraturan Komisi (UE) No 601/2012 (Teks dengan relevansi EEA)

---

- 7 Norwegian Petroleum 2023: Emisi ke Udara, <https://www.norskpetroleum.no/en/environment-and-technology/emissions-to-air/>

---

- 8 Untuk tujuan pembahasan ini istilah "tindakan pengendalian emisi" mewakili penerapan proyek penangkapan, pengangkutan, dan penyimpanan karbon. Ada tindakan-tindakan pengendalian emisi lainnya, seperti peningkatan efisiensi, yang dapat diperlukan untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub> di instalasi industri dan pembangkit listrik.

---

- 9 EPA 2023: NSPS untuk Emisi Gas Rumah Kaca dari Unit-unit Pembangkit Utilitas Listrik yang Baru, Dimodifikasi, dan Direkonstruksi, <https://www.epa.gov/stationary-sources-air-pollution/nsps-ghg-emissions-new-modified-and-reconstructed-electric-utility>

- 10 <https://www.utilities-me.com/news/all-new-power-plants-in-saudi-arabia-to-add-carbon-capture-facility>

---

- 11 Komisi Eropa, proyek Dana Inovasi , [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-funding-climate-action/innovation-fund/innovation-fund-projects\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-funding-climate-action/innovation-fund/innovation-fund-projects_en)

---

- 12 Global CCS Institute 2023: Status Global CCS 2023 – Peningkatan sampai 2030, <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2024/01/Global-Status-of-CCS-Report-1.pdf>

---

- 13 Gassnova 2020: Pelajaran Regulasi yang Dapat Diambil dari Longship, <https://gassnova.no/app/uploads/sites/6/2022/07/Regulatory-lessons-learned-from-Longship-FINAL-WEB-1.pdf>

---

- 14 IRA mengizinkan selama 5 tahun pembayaran langsung, dan pembayaran langsung selama 12 tahun penuh untuk badan yang tidak membayar pajak. 26 Kode AS § 6417

---

- 15 Mawalkar, Sanjay; Haagsma, Autumn; dan Gupta, Neeraj 2020: Rencana Pemantauan, Pelaporan, dan Verifikasi (MRV) – Memenuhi Panduan EPA untuk GHGRP dan Subpart RR, <https://www.osti.gov/servlets/purl/1773379>

---

- 16 IIJA mengalokasikan \$600 juta untuk program CIFIA untuk masing-masing tahun fiskal federal 2022 dan 2023, dengan \$300 juta untuk masing-masing tahun fiskal dari 2024 sampai 2026. Departemen Energi AS, Infrastruktur Pengangkutan Karbon Dioksida, <https://www.energy.gov/lpo/carbon-dioxide-transportation-infrastructure>

---

- 17 Layanan Penelitian Kongres AS 2020: Kredit Pajak untuk Penyerapan Karbon (Pasal 45Q), <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF11455/1>

---

- 18 Nordsøfonden juga berpartisipasi dalam lisensi yang akan datang untuk penyimpanan karbon sebesar 20 persen, <https://eng.nordsoefonden.dk/news/2023/september/nordsoefonden-also-participates-in-upcoming-licenses-for-carbon-storage-with-20-percent>

# Kolofon

---



Karya ini diizinkan untuk digunakan di bawah Lisensi Internasional *Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 (CC BY NC SA)*.

Buku ini ditulis dengan menggunakan metode *Book Sprints* ([www.booksprints.net](http://www.booksprints.net)) dari 29 Januari sampai 2 Februari 2024.

Penulis: Vikram Vishal, Atsumasa Sakai, Priya Prasad, José Benítez Torres, Ingvild Ombudstvedt, Richard Esposito, George Koperna, Pamela Tomski

Fasilitator *Book Sprints* Barbara Rühling, Anna Roxas

Editor naskah: Raewyn Whyte, Christine Davis

Perancang buku HTML: Agathe Baëz

Ilustrator dan desainer sampul: Lennart Wolfert, Henrik van Leeuwen

Foto sampul: Southern Company / National Carbon Capture Center

Fon: Inria oleh The Black [Foundry], Techna oleh Carl Enlund, Faune oleh Alice Savoie

Dokumen ini dapat dikutip sebagai: Penangkapan, Pemanfaatan, dan Penyimpanan Karbon. Buku Panduan untuk Para Pembuat Kebijakan

Didanai oleh:



# Bureau of Energy Resources

U.S. DEPARTMENT *of* STATE

Dikembangkan oleh:



# CLDP

COMMERCIAL LAW DEVELOPMENT PROGRAM

Mitra-mitra Kelembagaan



CLEARPATH

