

Penangkapan, Penggunaan dan Penyimpanan Karbon

Buku Panduan untuk Pembuat Dasar



Penyampai Kata daripada Setiausaha Raimondo

Perubahan iklim merupakan cabaran global yang sangat besar. Amerika Syarikat telah bangkit untuk menghadapi cabaran ini. Dalam Perintah Eksekutif 14008, pihak Pentadbiran menyedari bahawa sekarang adalah masanya untuk bertindak bagi mengelakkan kesan krisis iklim yang terburuk selain merebut peluang yang ada dalam menangani perubahan iklim. Jabatan Perdagangan A.S. menjadi sebahagian daripada usaha seluruh kerajaan ini untuk menangani cabaran iklim dan memastikan peralihan yang adil dan pantas ke arah masa depan karbon yang lebih rendah, mampan dan makmur.

Sebagai tambahan kepada usaha pengurangan secara menyeluruh, pihak Pentadbiran telah menyatakan bahawa usaha untuk memenuhi cita-cita iklim global memerlukan penerahan teknologi penangkapan, penggunaan dan penyimpanan karbon (CCUS) dan penyingkiran karbon dioksida (CDR) secara bertanggungjawab. CCUS memainkan peranan penting dalam sektor perindustrian di mana pelepasan menjadi satu cabaran yang perlu ditangani. CDR pula boleh membantu dengan mengeluarkan karbon dioksida daripada udara ambien. A.S. dan rakan kongsinya sedang giat berusaha membantu negara-negara menerima dasar CCUS, menggerakkan pembiayaan iklim, melaksanakan teknologi dan amalan CCUS serta memperbaharui undang-undang dan peraturan untuk menarik pelaburan CCUS yang bertanggungjawab.

Di Jabatan Perdagangan A.S., Program Pembangunan Undang-undang Komersial (Commercial Law Development Program, CLDP) Pejabat Peguam Negara telah membantu negara mengemas kini undang-undang dan peraturan komersial masing-masing sejak lebih 30 tahun. Kini dengan pembiayaan dan sokongan daripada Biro Sumber Tenaga (ENR) Jabatan Negara A.S., CLDP telah menganjurkan panduan percuma yang boleh diakses serta sesuai untuk tujuan bagi para pembuat dasar dan pengawal selia tentang cara memangkinkan pelaburan bagi menangkap pelepasan karbon dioksida untuk digunakan atau disimpan secara kekal.

Dalam membangunkan buku panduan ini, CLDP telah menghimpunkan sekumpulan pakar CCUS daripada Kerajaan A.S., institusi pelbagai hala, pertubuhan bukan kerajaan, industri dan ahli akademik. Para pengarang ini dan ramai lagi penyokong buku panduan ini secara kolektif mengorbankan masa mereka yang bernilai secara sukarela. Hasilnya ialah panduan yang boleh digunakan oleh penggubal undang-undang, pegawai kementerian dan pengawal selia di seluruh dunia untuk merangka, menerima pakai dan menguatkuasakan undang-undang baharu yang akan mempercepatkan penerahan CCUS.

Buku panduan ini juga meluaskan skop sebuah siri buku panduan yang dibangunkan oleh CLDP. Siri ini turut dimulakan dengan panduan Memahami Kuasa yang ditaja oleh Power Africa: sebuah perpustakaan pengetahuan sumber terbuka dan dalam bahasa yang mudah bagi buku panduan yang menerangkan tentang pelbagai topik penting berkaitan kontrak, pembiayaan dan pemerolehan projek kuasa. Dengan kerjasama ENR, siri ini diteruskan dengan panduan penyahkarbonan baharu. Panduan penyahkarbonan yang pertama adalah tentang pengurangan gas metana daripada minyak dan gas. Buku panduan ini meneruskan lagi objektif perdagangan iklim dan teknologi bersih Jabatan Perdagangan dan Negara A.S. di samping menyokong matlamat iklim global.

Saya berterima kasih kepada CLDP dan para pengarang, penaja dan penyokong yang membangunkan sumbangan penting ini untuk usaha kolektif kita dalam merebut peluang ini. Kita boleh menangani krisis iklim, membangunkan penyelesaian yang kreatif dan mengatasi cabaran ini bersama-sama.



Gina M. Raimondo

Setiausaha Perdagangan A.S.

K A N D U N G A N

PANDUAN UNTUK BUKU INI	7
-------------------------------	----------

RINGKASAN EKSEKUTIF	14
----------------------------	-----------

1. KENAPA KARBON?	19
--------------------------	-----------

CO ₂ dan Sumbangannya kepada Perubahan Iklim	20
Pendekatan Mitigasi Perubahan Iklim	23
Apakah CCUS?	24

2. APAKAH PENANGKAPAN, PENGANGKUTAN, PENGGUNAAN DAN PENYIMPANAN KARBON?	27
--	-----------

Pengenalan	28
Penangkapan	30
Pengangkutan	34
Penyimpanan	36
Penggunaan	39
Pertimbangan Saling Bersilang	42

3. LIBAT URUS PROJEK CCUS	44
----------------------------------	-----------

Pengenalan	45
Peserta Utama	51
Proses Libat Urus: Tumpuan Komuniti	57

4. MEMBINA KAPASITI	64
Pengenalan	65
Keperluan Tenaga Kerja CCUS	66
Membangunkan Tenaga Kerja CCUS	68
Penyelidikan, Pembangunan dan Pengerahan	74
5. PELAN HALA TUJU UNTUK MEMBANGUNKAN RANGKA KERJA PERUNDANGAN DAN KAWAL SELIA	84
Pengenalan	85
Pelan Hala Tuju untuk Membangunkan Rangka Kerja	86
6. SUMBER DAN TANGGUNGJAWAB UNTUK RANGKA KERJA	93
Pengenalan	94
Piawaian Antarabangsa	95
Rangka Kerja Penggerak Awal	98
Konvensyen Antarabangsa	101
7. RANGKA KERJA KHUSUS PROJEK	108
Pengenalan	109
Amalan Terbaik untuk Rangka Kerja Khusus Projek	116

8. KEWANGAN DAN INSENTIF	120
Pengenalan	121
Ekonomi Projek CCUS	124
Kebolehpasaran dan Pengurangan Risiko Kewangan CCUS	125
Pinjaman dan Jaminan Kewangan	136
Pasaran untuk Produk Rendah Karbon	136
Akibat Yang Tidak Diingini	137
Pemacu Luaran	137
9. SUMBER TAMBAHAN	141
AKRONIM	148
GLOSARI	153
NOTA	160
KOLOFON	172

Panduan untuk Buku Ini

Buku Ini Untuk Siapa?

Komuniti antarabangsa komited untuk mengurangkan pelepasan karbon dioksida (CO₂) dengan pantas daripada sektor petroleum, kuasa, pembuatan dan sektor pelepasan intensif yang lain bagi memenuhi objektif perubahan iklim dan meningkatkan keselamatan ekonomi dan tenaga. Walau bagaimanapun, masih banyak negara yang berusaha untuk memahami cara mencapai objektif ini, terutamanya melalui penggunaan dan pengeralahan Penangkapan, Penggunaan dan Penyimpanan Karbon (CCUS). Buku panduan ini memperkenalkan pegawai kerajaan kepada pelbagai pilihan CCUS dan membimbing reka bentuk dan pelaksanaan rangka kerja perundangan dan kawal selia yang akan memangkin pelaburan swasta yang mampan bagi projek CCUS, membina pengajaran yang dipelajari daripada skim-skim pengawalseliaan di pelbagai negara. Pembuat dasar dan pengawal selia daripada ekonomi sedang pesat membangun, termasuk yang berada di Asia¹, yang mempertimbangkan atau secara aktif mengejar mana-mana bahagian rantaian nilai CCUS boleh mendapat manfaat daripada buku panduan ini.

Apakah Skop Buku Ini?

Buku panduan ini menyediakan maklumat untuk menyokong penggubal dasar dalam membangunkan dan melaksanakan dasar dan peraturan CCUS yang berkesan. Ia menerangkan teknologi, dasar dan rangka kerja perundangan/kawal selia serta penglibatan merentas rantaian nilai CCUS. Buku panduan ini mengetengahkan beberapa teknologi CCUS yang tertentu secara mendalam dan memfokuskan pada perkara penting tentang topik-topik lain. Buku panduan ini bukanlah bertujuan menyokong dasar CCUS tertentu tetapi untuk memberi gambaran keseluruhan tentang pilihan yang ada.

Siapakah Pengarang Buku Ini?

Para pengarang buku panduan ini terdiri daripada para pengamal sektor tenaga yang pelbagai. Mereka terdiri daripada pegawai kerajaan, jurutera, pakar dasar awam, peguam dan ahli akademik. Tujuan buku panduan ini adalah untuk merakamkan secara kolektif pengalaman praktikal dan pengetahuan semasa para pengarang. Walau bagaimanapun, ia tidak mewakili kedudukan dasar organisasi, institusi, negara dan/atau syarikat yang mana pengarang individu tersebut berada atau telah bergabung. Untuk pandangan sedemikian, sila rujuk kepada penerbitan dan laman web organisasi, institusi, negara dan/atau syarikat masing-masing.

Menangani krisis iklim adalah isu kritikal bagi kebanyakan negara. Ramai pakar dan organisasi menunjukkan bahawa proses utama dalam mengurangkan pelepasan CO₂ dan kesan gas rumah hijau yang berkaitan adalah melalui pelaksanaan CCUS. Para pengarang berharap buku panduan ini dapat meningkatkan kemajuan dan pelaksanaan dasar dan peraturan CCUS serta menyumbang kepada pengurangan pelepasan gas karbon dioksida global daripada sektor yang sukar untuk dikurangkan.

Bagaimanakah Buku Ini Dibangunkan?

Buku panduan itu diterbitkan menggunakan kaedah Book Sprints (www.booksprints.net) yang membolehkan draf, penyuntingan dan penerbitan buku yang lengkap dalam masa lima hari sahaja.

Para pengarang mengucapkan terima kasih kepada fasilitator Book Sprint, Barbara Rühling dan Anna Roxas, atas kesabaran mereka membimbing dan menerajui penerbitan buku ini sepanjang proses mendraf hampir 75 jam. Para pengarang juga berterima kasih kepada Henrik van Leeuwen dan Lennart Wolfert kerana mengubah cakaran tergesa-gesa kami menjadi ilustrasi yang cantik dan bermakna dan kepada Agathe Baëz yang mereka

bentuk buku ini. Kami juga ingin mengiktiraf usaha gigih oleh penyunting naskah Book Sprints, Raewyn Whyte dan Christine Davis.

Pengarang ingin mengiktiraf para individu dan institusi berikut yang membantu memfokuskan dialog untuk membina konsensus tentang potensi buku panduan ini: Biro Sumber Tenaga, Jabatan Negara A.S.; dan Stephen Gardner dan Kenyon Waever (Program Pembangunan Undang-undang Komersial, Jabatan Perdagangan A.S.). Pengarang juga mengucapkan terima kasih kepada mereka yang memberikan sokongan sepanjang proses mendraf buku panduan. Ini termasuk Ian Havecroft dari Global CCS Institute; Tim Dixon dari IEAGHG; Savita Bowman dari ClearPath; Dr Sallie Greenberg; Dr Sean Brennan dari Tinjauan Geologi A.S.; Alec Mullee dan William Bates dari Agensi Perlindungan Alam Sekitar A.S.; Toby Lockwood dari Pasukan Petugas Udara Bersih; Dr Udayan Singh; Isabella Corpora daripada Carbon Business Council; Dr. Owain Tucker dari Shell International Petroleum Company Ltd.; Dr. Susan Hovorka dari Biro Geologi Ekonomi di Universiti Texas di Austin; KLIMIT; Macey Mayes; Tara Wildlife (lokasi Book Sprint); dan keluarga kami. Di samping itu, perancangan dan pembangunan yang teliti telah diusahakan untuk membentuk konsep buku panduan ini. Pengarang juga mengucapkan terima kasih atas penajaan daripada Program Tadbir Urus Tenaga dan Galian (EMGP), Biro Sumber Tenaga, Jabatan Negara A.S., yang membiayai sepenuhnya buku ini.

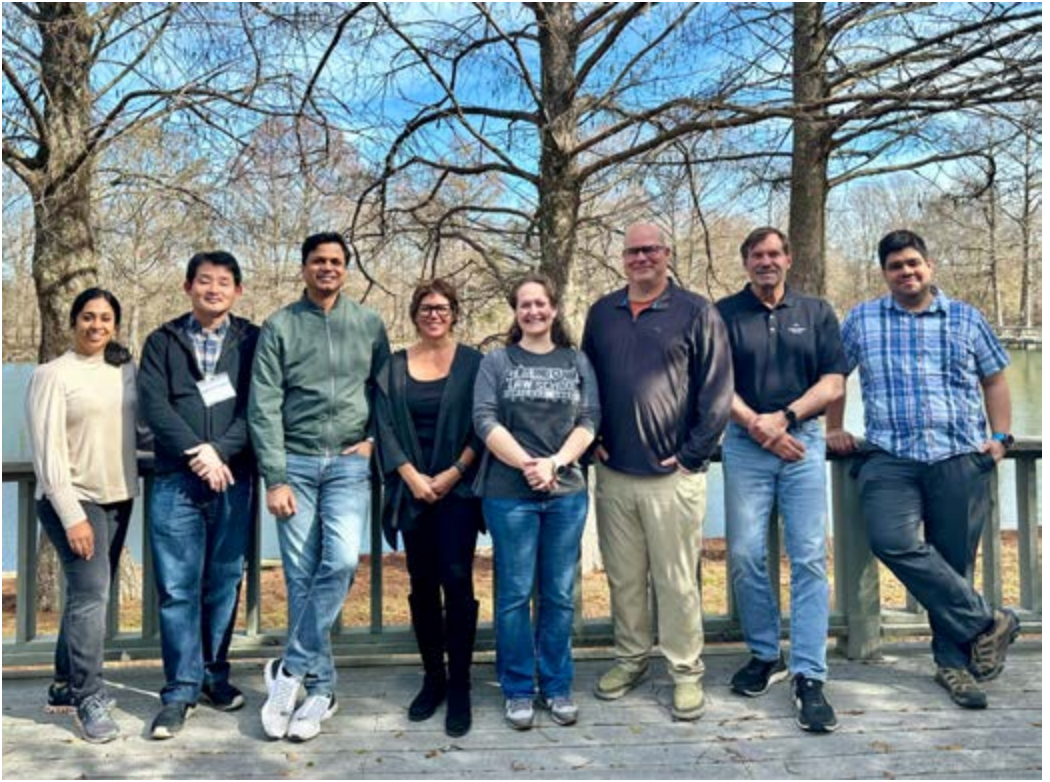
Bagaimanakah Cara Menggunakan Buku Ini?

Dalam tradisi perkongsian pengetahuan sumber terbuka, buku panduan ini bertujuan untuk mencerminkan ciri bersemangat proses Book Sprints dan berfungsi sebagai rujukan dan titik permulaan untuk perbincangan dan kesarjanaan selanjutnya. Buku ini diterbitkan di bawah Lesen Antarabangsa Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 (CC BY

NO SA). Dalam memilih lesen penerbitan ini, sesiapa sahaja dialu-alukan untuk menyalin, memetik, mengolah semula, menterjemah dan menggunakan semula teks untuk sebarang tujuan bukan komersial tanpa meminta kebenaran daripada pengarang, selagi karya yang dihasilkan juga diterbitkan di bawah Lesen Creative Commons. Buku panduan ini diterbitkan pada asalnya dalam bahasa Inggeris. Terjemahan mungkin akan menyusul tidak lama lagi. Ia terdapat dalam format elektronik di <https://cldp.doc.gov/resources> dan dalam format cetakan. Buku panduan ini juga boleh digunakan sebagai sumber interaktif dalam talian. Kebanyakan pengarang yang menyumbang juga komited untuk bekerja dalam institusi masing-masing bagi mengguna pakai sumber ini sebagai asas kepada kursus latihan dan inisiatif bantuan teknikal.

Yang benar,

Pengarang Penyumbang



Para pengarang semasa acara Book Sprint mereka.
Dari kiri ke kanan: Priya, Atsumasa, Vikram, Pamela, Ingvild, George,
Richard dan José

Vikram Vishal, Ph.D.

*Pusat Kecemerlangan Nasional
untuk CCU
Institut Teknologi India,
Bombay
UrjanovaC Private Limited
(India)*

Atsumasa Sakai

*Bank Pembangunan Asia
(Filipina)*

Priya Prasad

*Program Pembangunan
Undang-undang Komersial
Jabatan Perdagangan A.S.
(Amerika Syarikat)*

José Benítez Torres

*Pejabat Pengurusan Tenaga Fosil dan
Karbon
Jabatan Tenaga A.S.
(Amerika Syarikat)*

Ingvild Ombudstvedt

*IOM Law
(Norway)*

Richard Esposito, Ph.D.

*Southern Company
Pusat Tangkapan Karbon Nasional
A.S.
(Amerika Syarikat)*

George Koperna

*Advanced Resources
International, Inc.
(Amerika Syarikat)*

Pamela Tomski

*ENTECH Strategies, LLC
Pengalaman Penyelidikan dalam
Pengasingan Karbon (RECS)
(Amerika Syarikat)*

Ringkasan Eksekutif

Menangkap pelepasan karbon dioksida (CO₂) menjadi alat penting dalam mengawal perubahan iklim. Negara-negara kini sedang berusaha untuk meningkatkan pelaburan dalam CCUS: Carbon Capture, Use, and Storage (Penangkapan, Penggunaan dan Penyimpanan Karbon). CCUS telah berjaya ditunjukkan pada skala komersial. Kini cabarannya adalah untuk memangkinkan pelaburan yang mencukupi ke dalam CCUS, khususnya bagi industri di mana pelepasan sukar dikurangkan. Ekonomi sedang pesat membangun terutamanya telah bersedia untuk mengambil kesempatan daripada pelaburan CCUS dengan manfaat daripada kos perbandingan yang lebih rendah dan pelaburan merentas sempadan.

Buku Panduan ini menjadi panduan untuk pembuat dasar tentang cara mengguna pakai dasar, undang-undang dan peraturan tersebut yang akan berjaya menarik pelaburan swasta yang bertanggungjawab ke dalam projek CCUS. Kami mentakrifkan dasar, undang-undang dan peraturan negara yang mengawal pelaburan ke dalam projek sebagai satu “rangka kerja”. Karbon dioksida telah disimpan secara komersial selama hampir 30 tahun. Banyak negara sudah mempunyai dasar, undang-undang dan peraturan yang telah sedia ada dan diuji oleh masa yang mentadbir minyak dan gas. Negara-negara ini selalunya akan melihat kepada sektor minyak dan gas mereka sebagai sumber panduan tentang dasar, undang-undang dan peraturan yang mengawal CCUS. Tetapi CCUS mempunyai pertimbangannya sendiri berhubung dengan penciptaan nilai, teknologi, libat urus komuniti, pembinaan kapasiti, risiko serta penalti dan insentif kewangan. Hal ini membawa cabaran bagi pembuat dasar yang bertanggungjawab untuk mewujudkan rangka kerja pelaburan bagi CCUS dan boleh memperlambatkan pelaburan yang diperlukan. Syarikat yang bersedia untuk membelanjakan modal yang besar untuk projek CCUS akan melihat dasar, undang-undang dan peraturan negara – rangka kerja CCUS domestik mereka – dan akan memilih untuk melabur di negara yang

mempunyai rangka kerja CCUS yang boleh dipercayai berbanding yang sebaliknya.

CCUS pada dasar adalah satu set komponen saling berkaitan yang berbeza: penangkapan, pengangkutan, penggunaan, penyimpanan. Setiap komponen memerlukan infrastruktur dan juga pertimbangan tadbir urusnya yang tersendiri. Komponen tangkapan karbon termasuk peralatan tangkapan di kemudahan perindustrian, loji kuasa dan kemudahan penyingkiran. Selepas tangkapan, CO₂ biasanya perlu dialihkan ke tempat ia akan digunakan atau disimpan. CO₂ boleh dibawa melalui saluran paip, rel, kapal/tongkang dan trak ke kemudahan penyimpanan dan/atau penggunaan. Penggunaan bermaksud menggunakan CO₂ yang ditangkap yang menghasilkan pengurangan bersih pelepasan CO₂. Kemudahan akan menyimpan CO₂ yang ditangkap secara kekal dalam formasi geologi. Bab 2 memberikan penjelasan terperinci tentang CCUS.

Agar pembuat dasar bersedia untuk mencipta rangka kerja CCUS, panduan ini mengesyorkan agar mereka menyediakan proses untuk penglibatan pihak berkepentingan dan membina kapasiti terlebih dahulu. Ini adalah subjek-subjek dalam Bab 3 dan 4. Agar rangka kerja CCUS tahan lama – dan untuk projek CCUS individu dibina tepat pada masanya dan mengikut bajet – pembuat dasar perlu menyediakan libat urus pihak berkepentingan yang “dimasukkan” dalam proses pembangunan rangka kerja. Seperti yang dijelaskan dalam Bab 3, salah satu risiko paling ketara bagi projek CCUS yang baharu ialah kekurangan penyelarasan dalam kalangan peserta utama CCUS: para pembuat dasar, pengawal selia, pemaju projek dan masyarakat awam/tempatan. Risiko lain ialah kekurangan kapasiti dalam kalangan peserta utama CCUS. Bab 4 memperincikan cara pembuat dasar boleh meletakkan kapasiti bagi setiap peserta utama ini: kapasiti pembuat dasar untuk menerima pakai rangka kerja CCUS yang tahan lama, kapasiti pengawal selia untuk melaksanakan peraturan CCUS, kapasiti pemaju projek untuk membina projek CCUS

yang mematuhi peraturan tersebut, dan kapasiti tenaga kerja tempatan di negara tersebut bagi memenuhi keperluan projek CCUS.

Dengan penglibatan pihak berkepentingan dan proses pembinaan kapasiti, kerajaan bersedia untuk menerima pakai rangka kerja CCUS. Bab 5 menetapkan proses enam langkah untuk menyediakan rangka kerja CCUS yang akan memenuhi jangkaan sektor swasta dan awam serta memangkinkan pelaburan bagi infrastruktur penangkapan, pengangkutan, penggunaan dan penyimpanan yang baharu. Langkah pertama bermula dengan menerima pakai dasar (atau strategi) yang dinyatakan dengan jelas yang mengisytiharkan kepentingan negara dalam pelaburan CCUS yang bertanggungjawab dan bagaimana ia akan bergerak untuk menerima pakai rangka kerja untuk pelaburan. Langkah ini menetapkan peringkat untuk pembuat dasar menentukan di mana undang-undang dan peraturan perlu diterima pakai atau dipinda untuk menarik pemaju dan pembiayaan untuk projek CCUS baharu.

Dalam menerima pakai dan meminda undang-undang dan peraturan ini, pembuat dasar tidak bersendirian. Bab 6 menerangkan cara para pembuat dasar boleh bermula dengan terlebih dahulu memahami kewajipan mereka di bawah undang-undang antarabangsa, dan badan piawaian antarabangsa yang sedia ada untuk CCUS. Terdapat beberapa konvensyen antarabangsa sedia ada yang mewajibkan negara tentang cara mereka perlu mentadbir pelaburan CCUS di dalam negara dan merentasi sempadan. Di samping itu, Pertubuhan Pemiawaian Antarabangsa (ISO) mempunyai piawaian yang berkaitan dengan CCUS dan ini boleh menjadi sumber panduan kawal selia yang berguna untuk rangka kerja CCUS yang memangkinkan pelaburan secara bertanggungjawab.

Pembiayaan diperlukan untuk benar-benar meningkatkan pelaburan CCUS bagi menghadapi cabaran iklim. Oleh itu adalah penting bagi pembuat dasar memahami ekonomi projek CCUS,

dan bagaimana kerajaan harus menyusun kedudukan untuk menarik pinjaman yang bertanggungjawab. Bab 7 menerangkan cara projek CCUS dijadikan “menguntungkan”: dipastikan berbaloi dengan risiko bagi pinjaman yang disediakan oleh institusi kewangan. Negara-negara perlu membangunkan rangka kerja undang-undang dan kawal selia CCUS untuk penerahan teknologi CCUS yang selamat dan terjamin. Rangka kerja CCUS akan menentukan sama ada projek CCUS boleh berjaya, kerana dasar, undang-undang dan peraturan domestik negara yang akan menentukan risiko undang-undang kepada pemaju dan pemberi pinjaman projek.

CCUS kini semakin menjadi destinasi untuk jumlah pelaburan yang besar. Institusi, persatuan dan sumber baharu sedang muncul untuk pembuat dasar dan peserta utama lain, untuk membantu CCUS mencapai potensi yang sepenuhnya. Panduan ini diakhiri dengan satu set sumber tambahan untuk pembuat dasar dan peringatan bahawa masih banyak perkara yang perlu dilakukan.

1. Kenapa Karbon?

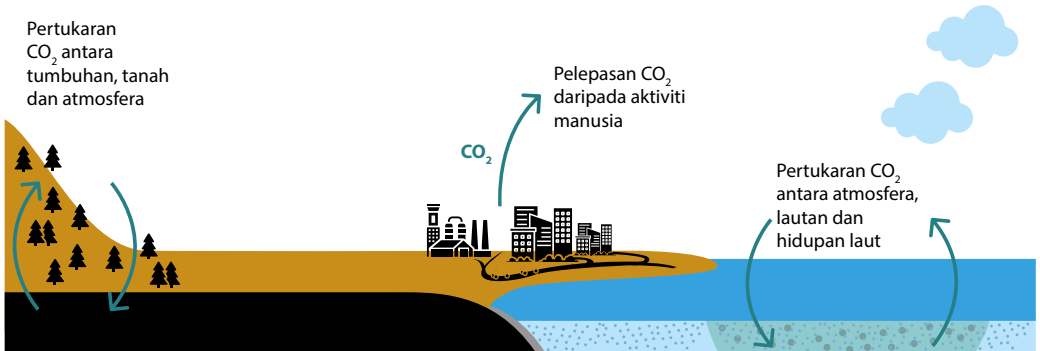
Ringkasan Penting

- Penangkapan, penggunaan dan penyimpanan karbon (CCUS) dijangka memainkan peranan penting dalam menguruskan perubahan iklim.
- Meluaskan CCUS juga mempunyai manfaat pertumbuhan ekonomi yang penting: CCUS berpotensi mencipta pekerjaan, memangkin inovasi, memacu perdagangan, mengewangkan pembuatan produk rendah karbon dan mengekalkan industri sedia ada dengan penyahkarbonan.
- Syarikat bersedia untuk melabur kerana CCUS sejak beberapa dekad telah menunjukkan kejayaan komersial. Projek CCUS komersial terawal yang tidak termasuk perolehan minyak tertingkat adalah pada tahun 1996, dan sejak itu projek CCUS telah berkembang dengan pesat. Sebagai contoh, di China sahaja, tiga projek telah mula beroperasi pada tahun 2023.
- Oleh itu, bagi kebanyakan negara, cabarannya adalah untuk meletakkan dasar, undang-undang dan peraturan yang akan mengundang pelaburan yang bertanggungjawab ke dalam CCUS.

CO₂ dan Sumbangannya kepada Perubahan Iklim

Karbon dioksida (CO₂) ialah gas rumah hijau (GHG) dan penyumbang utama kepada perubahan iklim. CO₂ adalah sebahagian daripada kitaran karbon semula jadi. Aktiviti manusia, termasuk peningkatan penggunaan bahan api fosil, menyumbang kepada isipadu CO₂ yang belum pernah dicapai sebelum ini di atmosfera (ditunjukkan di bawah dalam Rajah 1.1), yang tidak dapat diserap oleh kitaran karbon semula jadi. Oleh kerana CO₂ bertindak sebagai mekanisme penangkap haba yang menyebabkan pemanasan global, CO₂ tambahan bertindak untuk meningkatkan suhu global. Akibatnya, pengurangan

dan penyingkiran pelepasan CO₂ yang ketara diperlukan untuk meminimumkan peningkatan suhu global dan memenuhi matlamat iklim untuk mengehadkan kenaikan suhu global kepada 1.5°C.¹



Rajah 1.1: Sumber karbon dioksida di atmosfera.

Permintaan Tenaga Global dan Pemacu bagi Mitigasi Iklim

Dalam dekad yang akan datang, perkembangan dalam ekonomi sedang pesat membangun akan meningkatkan penggunaan tenaga per kapita secara mendadak. Sebagai contoh, pada tahun 2022, negara-negara di Asia melepaskan lebih daripada ~58 peratus CO₂ dunia.² Apabila negara-negara di rantau ini semakin maju, pelepasan CO₂ juga mungkin meningkat.

Menangani perubahan iklim memerlukan peralihan besar dalam sektor penggunaan tenaga, termasuk mitigasi iklim, yang melibatkan pengurangan aliran gas rumah hijau yang memerangkap haba (termasuk CO₂) ke atmosfera. Terdapat beberapa pemacu untuk mitigasi perubahan iklim. Matlamat secara keseluruhan ialah keperluan untuk mengurangkan

atau menghapuskan kesan iklim serantau (cth., suhu tinggi/rendah yang mencatatkan rekod dan corak cuaca). Lain-lain termasuklah:

- Dasar antarabangsa dan domestik untuk mencapai pelepasan sifar bersih mengikut matlamat iklim Perjanjian Paris.³
- Mekanisme Pelarasan Sempadan Karbon Kesatuan Eropah mengenakan tarif CO₂ ke atas import sesetengah barangan dari negara di luar skim harga karbon.⁴
- Skim insentif yang ada, seperti pasaran karbon dan kredit cukai yang dimanfaatkan.
- Desakan orang ramai terhadap ketelusan dan akauntabiliti untuk pengurangan dan pelaporan pelepasan.

Ekonomi sedang pesat membangun, termasuk beberapa buah negara di Asia, telah mengambil langkah untuk menangani perubahan iklim. Kajian kes di bawah menyerlahkan langkah yang diambil di India.



Agenda Panchamrit India Tentang Mitigasi Iklim⁵

India, yang meratifikasi Perjanjian Paris pada tahun 2016, telah mengumumkan Agenda Lima Perkara, Panchamrit, untuk menangani perubahan iklim. Mengurangkan pelepasan CO₂ adalah bahagian penting dalam agenda ini. Pelan yang diumumkan semasa sidang kemuncak iklim COP26 pada tahun 2021 melibatkan langkah negara India untuk:

- Mencapai kapasiti tenaga bukan fosil sebanyak 500 Gigawatt menjelang tahun 2030

- Memenuhi 50 peratus keperluan tenaganya melalui tenaga boleh diperbaharui menjelang tahun 2030
- Mengurangkan jumlah unjuran pelepasan karbon sebanyak satu bilion tan menjelang tahun 2030
- Mengurangkan keamatan karbon dalam ekonomi sebanyak 45 peratus menjelang tahun 2030 berbanding tahap 2005
- Mencapai pelepasan sifar bersih menjelang tahun 2070

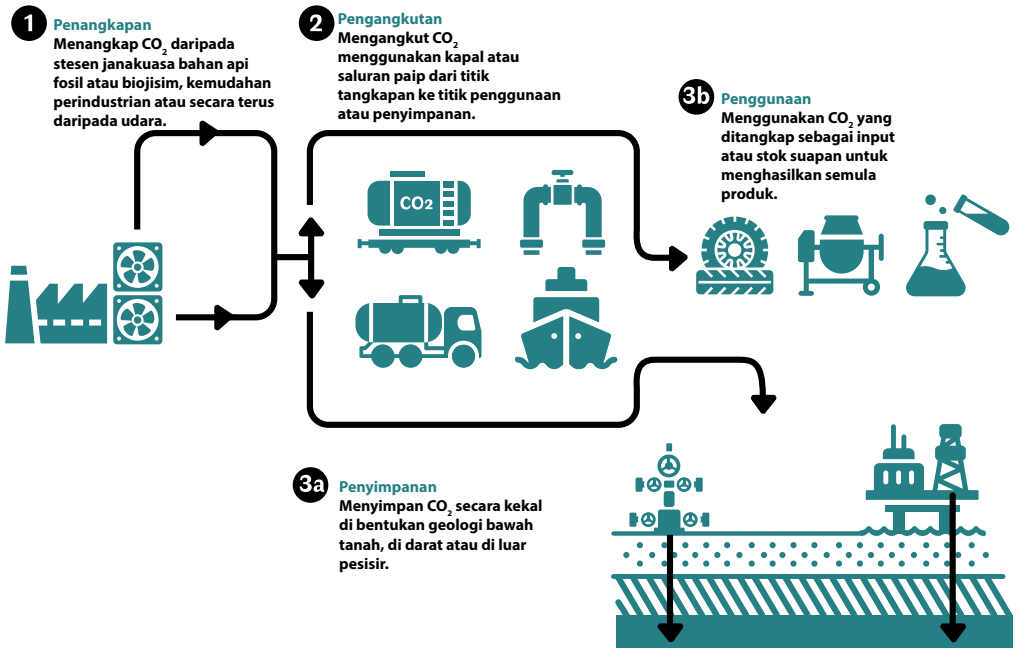
Pendekatan Mitigasi Perubahan Iklim

Tiada pendekatan mitigasi tunggal yang dapat menangani cabaran iklim. Setiap pendekatan mempunyai kekuatan dan had yang berkaitan dengan kos, kebolehpercayaan, kebolehcapaian, skala dan prestasi alam sekitar. Ramai pakar bersetuju bahawa portfolio pilihan mitigasi yang berbeza menawarkan laluan paling murah dan paling mampan dari segi ekonomi untuk mencapai matlamat mitigasi iklim.⁶

Walaupun pendekatan mitigasi setiap negara akan berbeza, namun portfolio penyelesaian tetap diperlukan. Antara penyelesaian yang ada termasuk pengurangan pelepasan bahan api fosil, peningkatan kecekapan tenaga, meluaskan penggunaan sumber tenaga boleh diperbaharui, dan membangunkan dan menggunakan bahan api alternatif – seperti hidrogen. Selain daripada strategi mitigasi ini, kita ada penangkapan, penggunaan dan penyimpanan karbon (CCUS).

Apakah CCUS?

Seperti yang digambarkan di bawah (Rajah 1.2), CCUS boleh termasuk (1) menangkap CO₂ dari titik sumber atau secara terus dari atmosfera, (2) mengangkut CO₂ yang ditangkap sama ada untuk (3a) penyimpanan geologi atau (3b) penggunaan. CCUS boleh menyumbang kepada pengurangan pelepasan CO₂ yang ketara sambil mengurangkan kos mitigasi keseluruhan. Rantai nilai CCUS adalah unik kerana teknologi itu sendiri tidak semestinya baharu, tetapi gabungan teknologi sedia ada dikaitkan bersama dengan cara yang unik untuk memenuhi objektif pengurangan pelepasan.



Rajah 1.2: Gambar rajah aliran penangkapan, pengangkutan, penggunaan dan penyimpanan karbon.

Pengerahan CCUS diperlukan dalam dekad ini untuk mengekalkan capaian sasaran Perjanjian Paris iaitu mengehadkan kenaikan suhu global kepada 1.5°C menjelang tahun 2030.⁷ Ia merupakan pilihan mitigasi utama yang boleh mencapai pengurangan pelepasan CO₂ daripada loji kuasa bahan api fosil dan kemudahan perindustrian yang besar sambil membolehkan negara mencapai matlamat iklim di bawah Perjanjian Paris. Walaupun anggaran kos berbeza-beza, namun tiada persoalan bahawa memenuhi matlamat iklim akan melibatkan kos yang lebih tinggi tanpa CCUS (dalam beberapa kes, 138 peratus lebih mahal) berbanding dengan CCUS.⁸ Membangunkan industri CCUS juga berpotensi mencipta pekerjaan, menjadi pemangkin inovasi, memacu perdagangan, mengewangkan pembuatan produk rendah karbon dan mengekalkan industri sedia ada dengan penyahkarbonan.⁹

Teknologi CCUS Bersedia Secara Komersial

Penangkapan dan penyimpanan karbon telah berjaya digunakan sejak tahun 1996,¹⁰ dengan sejarah pengerahan teknologi komponen secara komersil secara besar-besaran termasuk penangkapan dalam pelbagai industri dan perolehan minyak tertingkat. Terdapat momentum dan aktiviti global yang sangat besar yang memberikan keyakinan dalam pelaksanaan CCUS yang berjaya. Sehingga Januari 2024, terdapat lebih 500 projek CCUS di seluruh dunia pada pelbagai peringkat pembangunan dan operasi.¹¹ Walaupun industri minyak dan gas telah menjadi peneraju tradisional dalam pengerahan CCUS, beberapa industri lain turut terlibat dalam aktiviti projek, seperti pengeluar elektrik, simen, baja, keluli dan etanol.

Asia Mempunyai Peluang Besar dalam CCUS

Rantau Asia mempunyai peluang besar untuk pelaksanaan CCUS. Lebih separuh daripada CCUS global menjelang tahun 2050 boleh dilaksanakan di rantau Asia-Pasifik.¹² Rangkaian CCUS pan-Asia

boleh merangkumi kelompok lebih daripada 20 hab penangkapan karbon dan penyimpanan bawah tanah.¹³

Potensi ini lebih daripada sekadar teori. Terdapat beberapa projek dan aktiviti yang memberikan keyakinan terhadap keupayaan rantau ini untuk menggunakan CCUS. Sebagai contoh, di negara China, tiga projek telah mula beroperasi pada tahun 2023 (kemudahan CCUS loji janakuasa arang batu terbesar di Asia, kemudahan penyimpanan CO₂ luar pesisir pertama dan penangkapan karbon di kilang penapisan minyak).¹⁴ Jepun telah mengumumkan tujuh rangkaian CCUS yang akan menangkap CO₂ di Jepun untuk disimpan.¹⁵

Asas Kerjasama Serantau untuk CCUS

Asia telah mewujudkan asas bagi kerjasama CCUS serantau. Kapasiti dan potensi untuk pengerahan CCUS di rantau Asia-Pasifik memacu penyelarasan dan kerjasama di seluruh rantau ini. Beberapa negara telah menjemput jiran mereka untuk melawat kemudahan dan menghadiri dialog teknikal dan dasar bagi berkongsi pengalaman mereka. Selain daripada projek, terdapat juga pertumbuhan dalam pembangunan peraturan dan dasar di rantau ini. Perkembangan ini seterusnya boleh menggalakkan industri antarabangsa untuk menggunakan CCUS di rantau ini.¹⁶

Di luar rantau Asia-Pasifik, gabungan dan konsortium muncul di peringkat global untuk menyatukan pihak berkepentingan bagi memajukan rangka kerja CCUS. Seperti yang akan diterangkan dalam Bab 6: Sumber dan Tanggungjawab untuk Rangka Kerja, salah satu sumber tersebut ialah jawatankuasa Pertubuhan Pemiawaian Antarabangsa (ISO) mengenai CCUS, yang mempunyai hampir 50 buah negara yang bersidang untuk membangunkan piawaian dan laporan teknikal merentas rantaian nilai penuh CCUS. Penyelarasan amat penting apabila mengangkut dan menyimpan CO₂ merentasi sempadan antarabangsa.

2. Apakah Penangkapan, Pengangkutan, Penggunaan dan Penyimpanan Karbon?

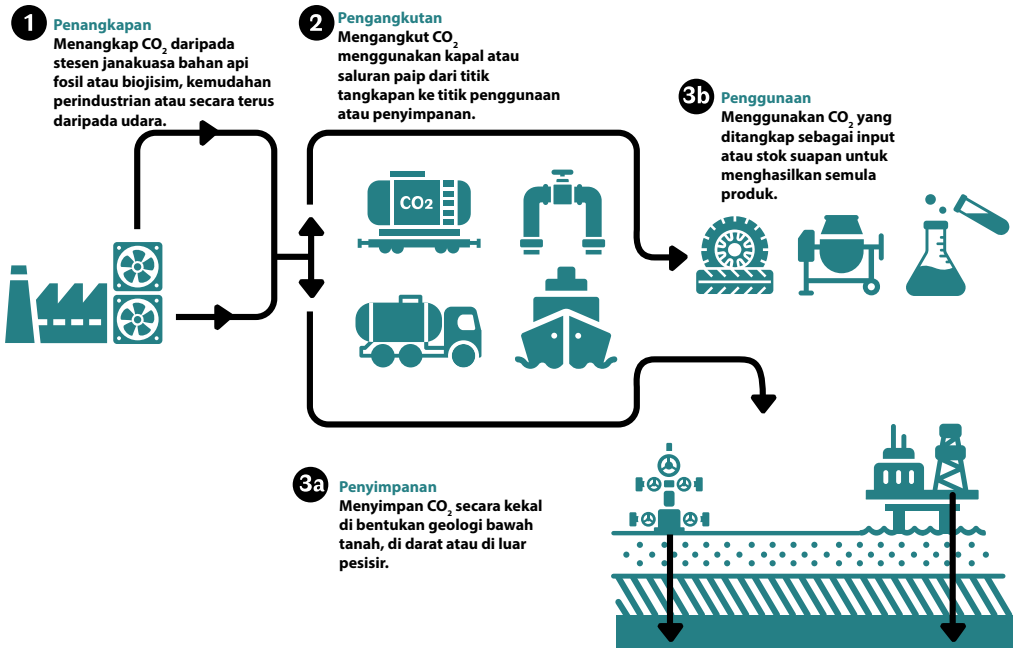
Ringkasan Penting

- Karbon dioksida dan gas rumah hijau lain biasanya dilepaskan di tapak di mana ia dihasilkan. CCUS menangkap CO₂ sebelum ia dilepaskan (atau, dalam kes Tangkapan Udara Langsung, dari atmosfera) dan kemudian mengangkut gas ini ke tempat di mana ia boleh digunakan atau disimpan di bawah tanah secara kekal.
- Secara ringkasnya, CCUS ialah satu set komponen saling berkaitan yang berbeza: penangkapan, pengangkutan, penggunaan dan penyimpanan. Setiap satu daripada komponen ini memerlukan pertimbangannya sendiri oleh pembuat dasar dan pengawal selia.
- Sebagai permulaan, pembuat dasar dan pengawal selia perlu memahami pilihan dan teknologi yang sentiasa berubah di sebalik setiap empat komponen ini, seperti pilihan ruang liang untuk penyimpanan CO₂ jangka panjang yang selamat dan terjamin.
- “U” dalam CCUS memang bermaksud Penggunaan (Utilization), namun dianggarkan walaupun CO₂ yang ditangkap akan menemui cara untuk ditukar dan/atau digunakan, tetapi kebanyakan CO₂ perlu disuntik ke bawah tanah untuk disimpan secara kekal.
- Terdapat juga beberapa pertimbangan silang. Sebagai contoh, keperluan teknikal untuk projek CCUS perlu menyepadukan peruntukan keselamatan di seluruh rantaian nilai.

Pengenalan

CCUS terdiri daripada empat komponen yang saling bergantung, seperti yang ditunjukkan dalam bab sebelumnya, dan dihasilkan semula di bawah pada Rajah 2.1. Ia bermula dengan **penangkapan (1)** CO₂, yang boleh dilakukan di kemudahan industri, loji janakuasa dan kemudahan pelepasan negatif (cth., tangkapan udara langsung atau kemudahan pembakaran biojisim). CO₂ kemudiannya boleh **diangkut (2)** ke lokasi **penggunaan** atau

penyimpanan yang terakhir. Mod yang ada untuk mengangkut (2) CO₂ termasuk saluran paip, rel, kapal dan trak. Di mana sesuai, tapak tangkapan dan penyimpanan atau penggunaan boleh diletakkan bersama untuk meminimumkan keperluan infrastruktur pengangkutan.



Rajah 21: Komponen CCUS.

Untuk penyimpanan geologi (3a), matlamatnya ialah penyimpanan jangka panjang yang selamat. Penyimpanan boleh terdiri daripada satu atau lebih jenis tapak penyimpanan geologi. Untuk penggunaan (3b), matlamatnya adalah untuk menggunakan CO₂ secara berfaedah untuk menghasilkan produk, seterusnya mengurangkan jumlah CO₂ yang dilepaskan ke

atmosfera. Kes istimewa ialah penggunaan CO₂ untuk perolehan minyak teringkat (EOR), yang bertindak untuk menghasilkan pengeluaran minyak tambahan.

Penangkapan



Penangkapan CO₂ boleh dilakukan menggunakan beberapa teknologi komersial. CO₂ boleh ditangkap dari titik sumber atau atmosfera. Pilihan teknologi tangkapan yang digunakan biasanya berdasarkan kriteria pemilihan seperti jenis kemudahan, lokasi geografi dan kos. Pada tahap yang sangat tinggi, jenis kemudahan biasanya dibahagikan kepada sumber kepekatan CO₂ rendah dan tinggi, dari segi ketulenan pelepasan sebelum ditangkap.

Jadual 2.1: Pertimbangan utama penangkapan.

Kriteria Pemilihan	Isipadu pelepasan, kepekatan CO ₂ , baki hayat aset, tekanan dan suhu gas serombong, jarak ke tempat penyimpanan, ruang yang tersedia untuk peralatan tangkapan dan bekalan air (untuk penyejukan).
Keselamatan / Integriti	Meminimumkan pelepasan bukan CO ₂ , degradasi bahan, pelupusan sisa, reka bentuk proses, reka bentuk naik taraf berbanding binaan baharu.

Tangkapan Kepekatan Tinggi

Penangkapan CO₂ daripada sumber berkepekatan tinggi mungkin memerlukan pemprosesan yang sangat sedikit sebelum diangkut. Contohnya adalah pelepasan daripada kemudahan pengeluaran etanol yang menghasilkan CO₂ yang pada asasnya merupakan hasil sampingan tulen daripada proses penapaian. Sesetengah

penyingkiran kandungan oksigen mungkin dilakukan sebelum memampatkan CO₂ untuk penghantaran.

Proses lain yang dianggap sebagai sumber pelepasan berkepekatan tinggi termasuk penapisan minyak, pengeluaran hidrogen daripada gas asli (pembaharuan metana), pengeluaran ammonia (reformasi metana) dan aplikasi pemprosesan gas asli.

Tangkapan Kepekatan Rendah

Pelepasan gas serombong dari stesen janakuasa elektrik adalah contoh terbaik sumber pelepasan kepekatan rendah. Isipadu gas serombong adalah sangat besar dan jumlah kuantiti CO₂ dalam aliran pelepasan pula mungkin lebih rendah daripada 10 peratus bergantung kepada sumber. Sumber kepekatan rendah yang lain termasuk proses seperti pengkalsinan simen, pembuatan keluli, pengeluaran pulpa dan kertas dan pembuatan kimia.

Sistem tangkapan kepekatan rendah termasuk pelarut kimia (selalunya berasaskan amina), pengasingan kriogenik, membran dan penjerap. Jenis sistem ini secara amnya perlu direka bentuk untuk aplikasi hos tertentu. Keperluan tenaga dan penyejukan untuk sistem sedemikian boleh memanfaatkan infrastruktur sedia ada di kemudahan hos (cth., pengekstrakan wap, penggunaan air penyejuk, pemulihan haba sisa).

Peningkatan teknologi tangkapan kepekatan rendah biasanya dilakukan secara berperingkat – daripada ujian, demonstrasi/perintis hinggalah penerahan komersial. Contoh projek demonstrasi/perintis R&D CCUS sumber berkepekatan rendah ialah kemudahan Loji Barry milik Alabama Power, yang diterangkan di bawah. Terdapat juga contoh di luar A.S. untuk penerahan CCS secara komersial. Sebagai contoh, pada tahun 2014, SaskPower Boundary Dam di Kanada menjadi stesen janakuasa pertama di dunia yang berjaya menggunakan teknologi CCS.



Meningkatkan Projek Tangkapan 25 Megawatt Loji Barry Alabama Power



Pada tahun 2009, Projek Demonstrasi CCUS 25 Megawatt di Loji Barry Alabama Power Company di A.S. merupakan kemudahan penangkapan karbon terbesar di dunia untuk loji janakuasa arang batu terhancur. CO₂ telah ditangkap daripada gas serombong menggunakan teknologi tangkapan pelarut amina termaju oleg Mitsubishi Heavy Industries. CO₂ dimampatkan di tapak dan diangkut sejauh 19 kilometer ke tapak simpanan geologi. Sebanyak 114 kt CO₂ telah ditangkap, diangkut, disimpan dan dipantau sepanjang projek perintis.

Data ujian yang dikumpul dan pengajaran yang diperoleh daripada projek ini menyediakan asas ujian yang sangat baik untuk mengembangkan teknologi ini daripada tangkapan aliran slip 25 Megawatt di Loji Barry berhampiran Mobile, Alabama kepada sistem tangkapan 240 Megawatt di Stesen Janakuasa W.A. Parish milik NRG berhampiran Houston, Texas. Projek NRG terus beroperasi sehingga hari ini.

Penyingkiran Karbon Dioksida (CDR)

Penyingkiran karbon dioksida (CDR) ialah proses di mana CO₂ dikeluarkan dari atmosfera dan disimpan secara kekal. Dua proses CDR yang dikaitkan dengan CCUS, disebabkan oleh persamaan teknologi, diterangkan di bawah.

Tangkapan Udara Langsung

Tangkapan Udara Langsung (DAC) ialah sejenis CDR yang melibatkan penggunaan proses untuk mengeluarkan CO₂ dari udara. Secara amnya ia melibatkan penggunaan teknologi berasaskan pelarut atau berasaskan penjerap. Memandangkan kepekatan CO₂ yang cair dalam udara, jumlah udara yang besar perlu diproses untuk setiap unit CO₂ yang ditangkap. Proses ini memerlukan tenaga yang banyak dan secara amnya lebih mahal berbanding sistem tangkapan industri.

Jenis CDR yang baru muncul ialah tangkapan langsung CO₂ daripada air laut. Kepekatan CO₂ dalam air laut adalah lebih tinggi daripada di udara, oleh itu beberapa projek perintis sedang dijalankan untuk mengeluarkan CO₂ daripada air laut.

CCS Biojisim

CCS biojisim melibatkan penukaran stok suapan secara terus kepada tenaga atau produk kimia, dengan penyingkiran karbon yang dihasilkan oleh proses tersebut. Penukaran tenaga secara terus termasuk pembakaran untuk penjanaan kuasa dan/atau pengeluaran wap dengan tangkapan titik sumber dalam aliran serombong. Penukaran kimia berlaku dengan mengubah biojisim menjadi singas dan seterusnya memproses singas menjadi hidrogen dan CO₂.

Pengangkutan



Selepas penangkapan, CO₂ boleh diangkut melalui saluran paip, rel, trak dan kapal. Saluran paip telah menjadi mod pengangkutan yang paling banyak digunakan untuk memindahkan jumlah CO₂ yang besar. Pilihan pengangkutan rel, trak dan perkapalan memerlukan pembangunan kemudahan pemunggaan untuk mengendalikan pengangkutan.

Jadual 2.2: Pertimbangan utama pengangkutan.

Kriteria Pemilihan	Isipadu, ketulenan CO ₂ , jarak, geografi, kos dan had penggunaan tanah.
Keselamatan/Integriti	Had penggunaan tanah, keperluan tekanan dan suhu, bendasing dan jarak.

Saluran paip

Pengangkutan melalui saluran paip digunakan di darat dan luar pesisir. Di darat, CO₂ biasanya diangkut dalam saluran paip keluli karbon yang ditanam di bawah tanah. Di luar pesisir, saluran paip biasanya akan diletakkan pada permukaan dasar laut. Untuk diangkut melalui saluran paip, CO₂ perlu dimampatkan. Proses ini memerlukan tenaga yang banyak dan boleh membawa kepada pelepasan CO₂ yang berkaitan jika kuasa untuk pemampat bukan daripada sumber rendah karbon. Saluran paip CO₂ telah beroperasi di A.S. selama lebih daripada 50 tahun, dengan saluran paip sepanjang lebih 5,000 batu kini sedang beroperasi.¹

Rel

Pengangkutan rel CO₂ terutamanya dilakukan dengan menggunakan gerabak bertekanan yang mengangkut cecair CO₂. Untuk mengangkut melalui rel, pengendali perlu membangunkan infrastruktur yang sesuai untuk mencairkan, menyimpan, memuatkan dan memunggah CO₂ ke gerabak tangki. Di tapak penyimpanan, peralatan yang sesuai untuk pemunggaan, penyimpanan tangki dan pemampatan semula diperlukan untuk mengendalikan CO₂. Pengangkutan CO₂ melalui rel juga perlu mengambil kira pendidihan sebahagian daripada CO₂, yang dikenali sebagai kehilangan pendidihan, yang berlaku semasa pengangkutan.

Kapal/Barj

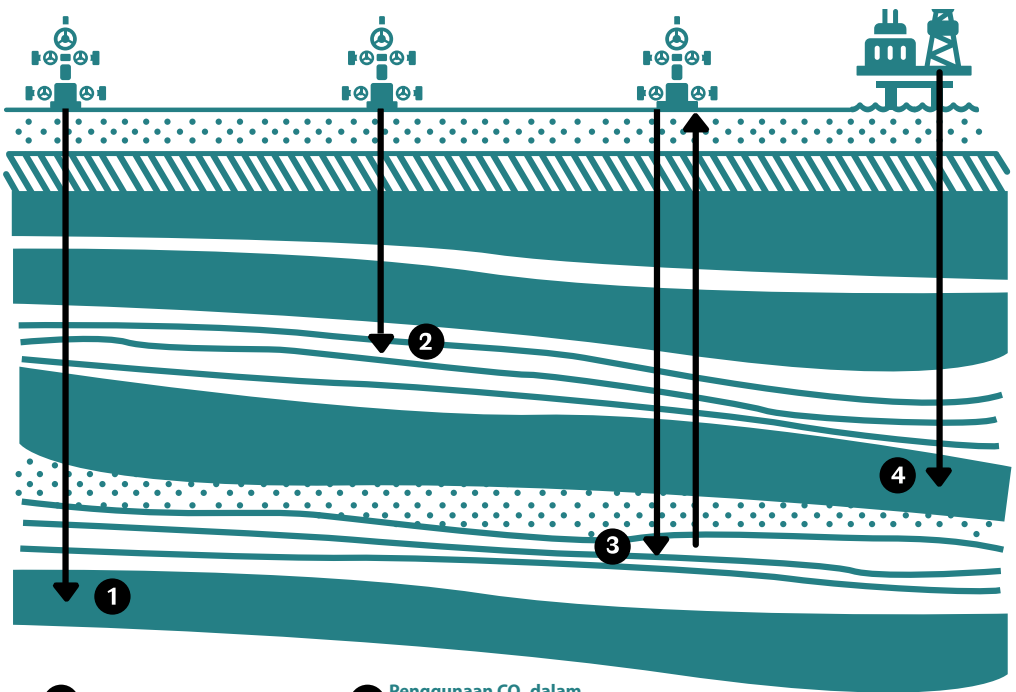
Mengangkut CO₂ melalui kapal² memerlukan kemudahan muat naik dan muat turun di pelabuhan untuk memudahkan pengangkutan. Pengangkutan kapal telah dianggap sebagai pilihan yang berdaya maju untuk projek luar pesisir yang bertujuan untuk menyimpan sama ada volum kecil atau volum daripada pelbagai sumber, dan pilihan berdaya maju untuk pengangkutan CO₂ merentas sempadan (kini sedang dipertimbangkan dalam kajian kemungkinan dan perintis di Eropah Utara dan Asia Tenggara). Di Jepun, sebuah kapal dengan kapasiti 1,450 m³ telah dibina pada tahun 2023³ untuk mengangkut CO₂ cecair untuk demonstrasi berskala besar di Tomakomai.⁴

Trak

Mengangkut CO₂ menggunakan trak dilaksanakan secara meluas untuk pengangkutan volum kecil jarak pendek. Biasanya, kapal tangki kriogenik volum rendah atau kapal bertekanan digunakan untuk membawa CO₂. Teknologi ini juga memerlukan kemudahan muat naik dan muat turun untuk memindahkan CO₂ ke dan dari trak.

Penyimpanan

Selepas diangkut, CO₂ boleh disimpan secara geologi dalam takungan bergaram yang dalam, takungan minyak dan gas yang telah habis dan formasi lain, seperti yang ditunjukkan dalam rajah di bawah (Rajah 2.3). Penyimpanan melalui penggunaan (1) boleh berlaku di bawah permukaan semasa perolehan minyak tertingkat (EOR) dan perolehan gas tertingkat (EGR) dan (2) juga boleh digunakan untuk menghasilkan produk seperti bahan binaan, karbon hitam, gentian karbon atau plastik.



- | | |
|---|---|
| 1 Formasi bergaram | 3 Penggunaan CO ₂ dalam perolehan minyak tertingkat |
| 2 Penggunaan CO ₂ dalam perolehan minyak tertingkat | 4 Takungan minyak dan gas yang habis |

Rajah 2.3: Pilihan tapak penyimpanan geologi CO₂.

Walaupun pelbagai laluan wujud untuk penggunaan CO₂, yang ditangkap, pengurangan berskala besar CO₂ yang ditangkap perlu dilakukan melalui penyimpanan.⁵

Jadual 2.3: Pertimbangan Utama Penyimpanan

Kriteria Pemilihan	Isipadu CO ₂ , kedalaman, tekanan, suhu, isipadu liang yang tersedia, kebolehsuntikan, keadaan sempadan geologi, kerumitan geologi, tahap pengurangan batuan penudung, mekanik batuan, topografi, had penggunaan tanah, telaga legasi, ketersediaan infrastruktur legasi dan kos.
Keselamatan/Integriti	Keperluan tekanan dan suhu, pembendungan, keseisimosan teraruh yang tidak boleh diterima, had penggunaan tanah, telaga legasi, melindungi sumber semula jadi dan peralatan keselamatan.

Penyimpanan Formasi Bergaram

Formasi bergaram ialah strata sedimen berliang yang wujud dalam lembangan darat dan luar pesisir dan biasanya terdiri daripada batu pasir dan karbonat yang mengandungi air garam dalam ruang liangnya. Formasi ini memberikan antara peluang terbesar untuk menyimpan volum komersial CO₂. Ciri penyimpanan yang sesuai dalam formasi bergaram termasuk kedalaman, pembendungan stratigrafi, keliangan dan kebolehtelapan. Pembendungan CO₂ yang disuntik di dalam lapisan tak telap di atasnya diperlukan untuk memastikan penyimpanan jangka panjang yang selamat dan kestabilan jangka panjang CO₂ yang disuntik.

Takungan Minyak/Gas Yang Telah Kering

Takungan minyak dan gas yang hampir atau berada di penghujung hayat pengeluarannya mungkin calon yang berpotensi untuk menyimpan CO₂. Takungan ini serupa dengan formasi bergaram seperti yang dinyatakan di atas, tetapi mempunyai minyak dan gas yang terperangkap di dalamnya – sama ada dalam lapisan sedimen atau perangkap struktur. Dengan penambahan CO₂, tekanan takungan boleh dipulihkan kepada keadaan seperti asal melalui medan telaga yang dipantau.

Batuan Igneus Mafic

Batuan mafik, seperti basalt dan peridotit, mengandung mineral yang bertindak balas dengan CO₂ untuk membentuk karbonat mineral yang stabil (mineralisasi in situ). Proses ini mungkin penting di lokasi di mana jenis batuan ini merupakan sumber penyimpanan yang ada.

Penggunaan



Selepas diangkut, CO₂ boleh digunakan untuk membantu dalam pengekstrakan hidrokarbon atau menghasilkan produk. Penggunaan boleh menyumbang kepada pembangunan infrastruktur CCS, terutamanya untuk EOR atau EGR. CO₂ juga boleh digunakan untuk menghasilkan produk seperti bahan binaan, karbon hitam, gentian karbon, atau plastik.

Perolehan Minyak Tertingkat

EOR ialah teknologi pengeluaran minyak matang yang telah digunakan sejak tahun 1970-an.⁶ CO₂ pada tekanan takungan merupakan gas fasa tumpat dengan sifat seperti cecair yang boleh bercampur dengan minyak. Pencampuran ini merendahkan kelikatan hidrokarbon dan membolehkan perolehan minyak yang selanjutnya dari takungan. Biasanya, CO₂ disuntik ke dalam takungan, tetapi sistem gelung tertutup digunakan untuk mengeluarkan CO₂ yang dihasilkan daripada aliran pengeluaran, kemudiannya dimampatkan dan dicampurkan semula dengan CO₂ baharu yang mungkin diperolehi daripada sumber tangkapan.

Perolehan Gas Tertingkat

EGR ialah teknik pengeluaran hidrokarbon yang boleh digunakan sama ada dalam takungan gas asli atau lipit batu arang. EGR berfungsi

dengan menggantikan gas asli secara terus. Aplikasi teknologi ini berfungsi paling baik apabila keadaan in situ meminimumkan resapan CO₂ dan penembusan pramatang dalam takungan. Satu kes EGR yang istimewa ialah perolehan gas metana lapisan arang batu tertingkat. Proses ini berfungsi dengan menggunakan CO₂ untuk menggantikan gas metana dalam arang batu.

Penukaran CO₂ Kepada Produk

Tidak termasuk penghasilan bahan api, yang membawa kepada pelepasan langsung CO₂ yang digunakan, terdapat berbilang pilihan penggunaan CO₂ untuk produk yang boleh dianggap sebagai penyimpanan jangka panjang. Penukaran CO₂ kepada produk untuk tujuan penggunaan harus mengambil kira kesan keseluruhan proses berkaitan dengan atmosfera. Hal ini juga dirujuk sebagai penilaian kitaran hayat.

Kajian kes di bawah menunjukkan proses pemilihan produk di sebuah kemudahan simen India untuk mengenal pasti pilihan berdaya maju dan keadaan pasaran untuk pengerahan komersial.



Menilai Produk daripada CO₂ yang Ditangkap dalam Industri Simen India⁷

Pada tahun 2021, Bank Pembangunan Asia (ADB) menyokong satu kajian simen di India untuk menilai kebolehlaksanaan produk yang ditukar daripada CO₂ yang ditangkap. Kajian ini menilai enam produk: urea, soda abu, mineralisasi, metanol, alga untuk makanan haiwan dan alga untuk minyak. Penilaian itu menyenarai pendek urea dan mineralisasi sebagai pilihan dengan kedudukan teratas. Loji tangkapan CO₂ boleh menggunakan teknologi pasca pembakaran dengan kapasiti 500kt CO₂ setahun. Jumlah CO₂ yang ditangkap ini boleh ditukar kepada 680kt urea. Analisis kewangan menunjukkan pulangan pelaburan yang rendah di bawah keadaan piawai yang diandaikan. Untuk meningkatkan daya maju komersial, kajian menyimpulkan bahawa perkara berikut adalah kritikal:

- Ketersediaan kos operasi yang rendah untuk elektrik dan wap di tapak.
- Tahap harga khusus kredit karbon untuk mengisi jurang daya maju kewangan.

Pertimbangan Saling Bersilang

Keselamatan

Keperluan teknikal untuk projek CCUS perlu menyepadukan peruntukan keselamatan di seluruh rantai nilai. Pertimbangan keselamatan untuk projek CCUS hendaklah termasuk:

- Perlindungan daripada pelepasan CO₂ utama (pengasfiksian, kesan daripada bendasing CO₂, kesan ke atas ekosistem marin), termasuk peruntukan untuk tindak balas kecemasan dan sistem keselamatan yang direka bentuk.
- Memantau peningkatan pelepasan udara bagi bahan pencemar udara berbahaya (produk degradasi amina, ammonia, jirim zarah).
- Menilai integriti penyimpanan. Laluan kebocoran bawah permukaan utama untuk CO₂ yang tersesar adalah melalui penembusan telaga legasi yang dilengkapkan melalui sistem kurungan. Sebagai contoh, untuk melindungi sumber air minuman, penembusan telaga harus mengekalkan integriti untuk memastikan tiada laluan fugitif untuk pergerakan CO₂ ke dalam sumber air. Di samping itu, ciri geologi seperti sesar perlu dikaji semula.

Analisis dan Pengurusan Risiko

Risiko kepada kejayaan projek CCUS mungkin termasuk kewangan, operasi, penyimpanan, kesihatan/keselamatan, persepsi awam. Entiti kawal selia perlu mempertimbangkan pembangunan dan pengerahan analisis risiko dan sistem mitigasi. Dalam kes risiko operasi, kesihatan dan keselamatan, sistem mitigasi, ini boleh termasuk sistem kawalan penyeliaan dan pemerolehan data (SCADA) yang menyediakan kawalan sistem automatik dan sistem penggera untuk melindungi

pelbagai komponen CCUS. Di samping itu, bengkel pengurusan risiko dan mitigasi yang kerap perlu dijalankan untuk mengenal pasti, mengesan dan menutup risiko.

Spesifikasi Kualiti

CO₂ yang dihasilkan daripada sumber tangkapan yang berlainan mungkin mempunyai komposisi bendasing yang berbeza. Pilihan pengangkutan dan penyimpanan akan memerlukan sesetengah bendasing ini untuk dialihkan sebagai langkah untuk melindungi infrastruktur pengangkutan atau penyimpanan daripada kerosakan (cth., kakisan dan risiko awam). Beberapa negara juga sedang membangunkan keperluan kawal selia untuk mengehadkan bendasing dalam aliran CO₂. Semua keperluan ini perlu dipertimbangkan oleh pengendali penangkapan dan pengangkutan untuk memastikan pematuhan. Sesetengah operasi penangkapan mungkin memerlukan peralatan pemprosesan tambahan.

Infrastruktur Bersepadu

Untuk pembinaan infrastruktur CCUS, adalah penting untuk menyepadukan semua komponen yang diperlukan untuk projek CCUS. Sebagai contoh, keperluan operasi berdasarkan sumber CO₂ untuk tangkapan mungkin memerlukan pertimbangan sistem pengangkutan dan penyimpanan.

3. Libat Urus Projek CCUS

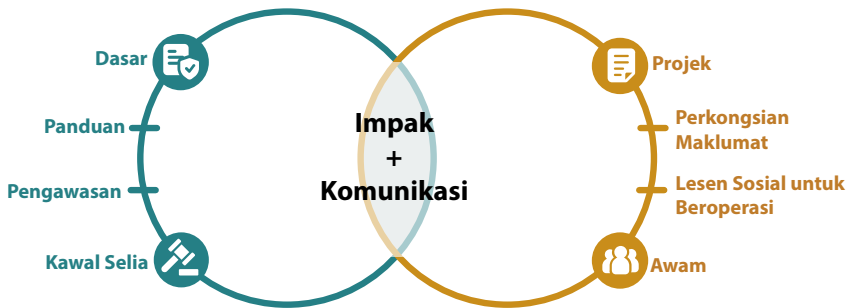
Ringkasan Penting

- Projek CCUS memerlukan libat urus untuk berjaya. Libat urus ialah komunikasi oleh pembuat dasar, pengawal selia, pemaju projek dan orang ramai sepanjang hayat projek.
- Pembuat dasar dan pengawal selia perlu bersedia untuk melibatkan diri sejak awal dengan pihak berkepentingan awam – termasuk komuniti tempatan – untuk mengelakkan kelewatan dan pembatalan.
- Langkah pertama yang kritikal ialah memahami peserta utama, aktiviti masing-masing dan tahap libat urus yang sesuai: pemetaan dan perancangan pihak berkepentingan.
- Malah komuniti yang biasa dengan projek minyak dan gas, atau projek pengekstrakan lain, mungkin ragu-ragu dengan projek CCUS. Projek Barendrecht di Belanda menunjukkan risiko kegagalan untuk libat urus dengan komuniti dalam projek CCUS.

Pengenalan

Libat urus ialah proses melibatkan pembuat dasar, pengawal selia, pemaju projek dan orang ramai dalam komunikasi sepanjang hayat projek. Libat urus komuniti bukanlah konsep baharu dalam industri tenaga, tetapi telah berubah dengan ketara dalam dekad yang lalu untuk menjadi lebih inklusif, responsif dan teguh. Projek infrastruktur besar, termasuk turbin angin dan landasan kereta api, telah memberikan pengalaman tentang kepentingan melaksanakan libat urus awam dengan betul, pada awal projek.¹ Risiko kegagalan libat urus secara bermakna dengan masyarakat tempatan dan orang ramai boleh menyebabkan penangguhan projek, atau malah pembatalan. Secara lebih positif, elemen utama libat urus yang menetapkan strategi/panduan, pengawasan, proses membuat keputusan dan

perkongsian maklumat ditunjukkan di bawah. Persimpangan dasar dan undang-undang/peraturan untuk memacu impak dengan komunikasi kepada orang ramai tentang sesuatu projek boleh membentuk elemen libat urus. Bab ini akan menerangkan elemen-elemen ini dan beberapa elemen lain dengan lebih terperinci.



Rajah 3.1: Elemen libat urus CCUS.

Ketidakbiasaan atau kurang kesedaran tentang penangkapan, penggunaan dan penyimpanan karbon (CCUS) sebagai teknologi mitigasi iklim mungkin menjadi masalah untuk kejayaan dan pelaksanaan projek. Secara ringkasnya, maklumat yang tidak mencukupi tentang pembangunan projek, teknologi, latar belakang atau proses membuat keputusan boleh menyebabkan kekurangan penerimaan atau sokongan dalam kalangan masyarakat sekeliling. Untuk beberapa projek, ini boleh mengakibatkan pembatalan projek. Oleh itu, komunikasi dan libat urus adalah elemen utama dalam melaksanakan projek CCUS.

Kepentingan Libat Urus dan Prinsip Teras

Penglibatan yang berkesan adalah penting untuk mewujudkan saluran komunikasi terbuka, memaklumkan pihak berkepentingan tentang potensi risiko dan faedah, menangani soalan, kebimbangan dan persepsi risiko, bertukar-tukar idea, memupuk pengetahuan dan membina hubungan yang dipercayai dan libat urus jangka panjang. Ia juga boleh menambah kesedaran, meningkatkan sokongan, membina pengaruh, menyokong pembangunan dasar dan kawal selia, menambah baik proses membuat keputusan dan secara proaktif mengurangkan potensi tentangan. Perlu diingatkan bahawa kaedah dan tahap libat urus awam akan berubah sepanjang hayat mana-mana projek CCUS.

Senarai prinsip utama yang tidak lengkap untuk penglibatan CCUS, berdasarkan pengalaman penyumbang dalam projek ini, diterangkan di bawah.



Ketelusan. Berkongsi maklumat fakta, perkembangan, impak komuniti dan potensi risiko serta manfaat secara jelas, terbuka dan langsung; menyediakan rekod awam yang meringkaskan peristiwa.



Kepelbagaian, Keterangkuman dan Kebolehcapaian. Bersikap inklusif dan libatkan orang yang mempunyai pelbagai jenis pandangan dan pengalaman hidup. Memastikan peluang untuk mengambil bahagian menawarkan kebolehcapaian penuh. Melakukan penyesuaian yang munasabah untuk mereka yang berkeperluan khas.



Memahami Komuniti. Pemaju projek mungkin mengetahui isu yang dihadapi komuniti, dan apabila projek dibangunkan, mereka akan menjadi sebahagian daripada komuniti. Komuniti yang berbeza melaksanakan libat urus maklumat dan berkomunikasi secara berbeza. Ini mungkin memerlukan strategi komunikasi dan libat urus yang pelbagai dalam sesebuah projek.



Libat Urus Awal dan Kerap. Kenal pasti tahap keperluan dan kekerapan/forum yang sesuai untuk libat urus.



Membuat keputusan. Libatkan komuniti dalam proses membuat keputusan dan semak projek dengan rakan teknikal di simposium dan acara teknikal.



Garis Panduan Libat Urus. Wujudkan garis panduan untuk menyokong pertukaran pandangan yang membina secara terhormat ke arah persefahaman bersama.



Pertukaran dua hala. Sediakan pertukaran maklumat dua hala, galakkan pendengaran aktif dan mengakui serta menggabungkan perspektif dan idea baharu.



Kerjasama dan Perkongsian Secara aktif membina kerjasama dan perkongsian dalam kalangan pelbagai kumpulan dan individu untuk memajukan matlamat bersama.



Menyampaikan Gambaran Keseluruhan. Sampaikan dengan jelas 'Mengapa CCUS' dan hubungkan aktiviti dengan gambaran keseluruhan.



Manfaat Komuniti. Di bawah konteks tempatan dengan bekerjasama dengan penduduk di lapangan untuk menentukan nilai langsung kepada komuniti yang diperoleh daripada pembangunan projek. Melihat melangkaui pemilik harta tanah kepada ahli lain dalam komuniti, termasuk cara projek CCUS boleh memberi peluang kepada mereka yang kurang mendapat perhatian – perniagaan milik minoriti, perniagaan milik wanita dan perniagaan milik veteran.



Ukur/Tinjauan Kesan. Masukkan metrik kejayaan yang boleh diukur untuk memahami bagaimana aktiviti libat urus memberi kesan kepada pihak berkepentingan dari semasa ke semasa (lihat kajian kes mengenai Houston CCS Alliance di bawah). Nilaikan untuk memahami apa yang berkesan dan apa yang tidak, dan semak semula dengan sewajarnya.



Fleksibiliti. Bersikap fleksibel dan akui, sesuaikan, dan masukkan maklum balas sebagai boleh direalisasikan secara praktikal.



Bahasa. Kenal pasti bahasa utama dalam komuniti yang berkaitan dan bangunkan bahan dan anjurkan mesyuarat dalam bahasa ini mengikut keperluan.



Kejelasan. Gunakan grafik yang boleh difahami dengan jelas, termasuk skala kedalaman yang tidak dibesar-besarkan untuk menyampaikan jarak.



Membina Kapasiti. Terangkan pembangunan tenaga kerja dan penglibatan projek dengan ahli akademik (cth., penubuhan program latihan).



Usaha Libat Urus Houston CCS Alliance



Jumlah CO₂ yang boleh ditangkap dan disimpan secara selamat oleh kawasan Houston (bukannya melepaskan gas ke alam sekitar) adalah dianggarkan pelepasan tahunan **dua buah Bandaraya New York**

Rajah 3.2: Berdasarkan analisis data daripada Jabatan Tenaga A.S (2018) dan Pejabat Kelestarian Datuk Bandar NYC.
(Ihsan grafik dari Houston CCS Alliance)

Kawasan Houston mempunyai salah satu sumber pelepasan CO₂ yang paling tertumpu di Amerika Syarikat dan terletak berhampiran formasi simpanan geologi bawah tanah yang prolifik, menjadikannya ideal untuk pembangunan projek CCS berskala besar. Pada tahun 2021, sebelas daripada pelepas CO₂ perindustrian terbesar di Houston, Texas, membentuk Houston CCS Alliance untuk menangani dengan lebih baik keperluan untuk meningkatkan libat urus awam dan mendidik masyarakat dengan lebih teliti tentang manfaat tempatan yang boleh dibawa oleh penangkapan dan penyimpanan karbon ke wilayah Pantai Teluk Texas .

Syarikat-syarikat yang menganggotai perikatan ini telah bekerjasama untuk menganjurkan lebih daripada 30 perbincangan awam tentang CCS, membangunkan sumber bercetak komuniti dwibahasa dan video pendidikan, menaja acara tempatan yang penting dan mengatur aktiviti sukarelawan yang memberi kesan untuk menambah baik sumber awam. Usaha ini telah menghasilkan lebih daripada 20 kenyataan sokongan daripada pegawai dan organisasi yang dipilih, liputan media yang positif di pasaran tempatan, dua resolusi daripada kerajaan tempatan yang mengiktiraf Alliance CCS Houston, dan yang terbaru, anugerah daripada Pesuruhjaya Harris County yang menyampaikan penghargaan kepada Alliance kerana membantu masyarakat berkembang maju. Alliance ini terus melibatkan komuniti sehingga hari ini.

Peserta Utama

Pemain utama libat urus terbahagi kepada empat kumpulan utama: pembuat dasar, pengawal selia, pemaju projek dan orang ramai. Jadual di bawah (Jadual 3.1) meringkaskan peranan utama dan ciri libat urus bagi setiap kumpulan.



Pembuat dasar. Pelbagai agensi kerajaan boleh terlibat dalam membangunkan dasar CCUS yang mungkin memerlukan proses libat urus pelbagai pihak berkepentingan. Salah satu mekanisme ialah kumpulan kerja antara agensi untuk menyelaras dan menyusun pembangunan dasar, berkongsi maklumat, menggabungkan cadangan daripada semua kementerian berkaitan, membangunkan rangka kerja perundangan, dan/atau menugaskan pembangunan rangka kerja kepada agensi kerajaan masing-masing, dan mengenal pasti pemacu seperti penalti/mandat termasuk penetapan sasaran pengurangan pelepasan nasional yang menyeluruh mengikut mana yang berkenaan. Mekanisme lain adalah untuk membangunkan set data teras, seperti oleh agensi sains kerajaan dan makmal milik kerajaan, yang menyokong keputusan dasar. Ini boleh termasuk penilaian potensi CCUS dalam bidang kuasa tertentu dan/atau pelan hala tuju untuk menyokong pengurangan pelepasan, seperti yang diterangkan dalam Bab 5: Pelan Hala Tuju untuk Membangunkan Rangka Kerja Perundangan dan Kawal Selia. Khususnya dalam ekonomi sedang pesat membangun, pembuat dasar mempunyai peranan penting dalam mengenal pasti agensi utama, bukan sahaja untuk reka bentuk dan pelaksanaan perundangan/peraturan, tetapi juga untuk menyelaraskan pihak berkepentingan dan fasa persediaan yang menyokong proses kawal selia.



Pengawal selia. Pengawal selia membangunkan peraturan, mengawasi pelaksanaannya (seperti menyemak permohonan permit), dan menguatkuasakan peraturan. Pengawal selia selalunya diperlukan untuk mengetuai libat urus awam mengenai peraturan dan projek yang dicadangkan. Melalui ulasan dan mesyuarat awam, pengawal selia boleh mengumpulkan ulasan dan kebimbangan daripada masyarakat setempat. Selalunya, pengawal selia akan bertindak balas terhadap ulasan awam tetapi pemaju projek mungkin bertindak balas juga. Penyertaan/rundingan awam pada peringkat utama projek – pemilihan tapak, operasi dan penutupan – lazimnya digalakkan.




Pemaju Projek. Menerusi justifikasi perniagaan, pemaju projek membimbing projek di sepanjang laluan hingga siap. Pasukan pembangunan projek dalam syarikat kebiasaannya menjalankan libat urus dalaman dan luaran yang menyeluruh untuk memastikan CCUS disokong merentasi unit perniagaan dan dalam kepimpinan. Setelah lokasi projek dikenal pasti, pemaju projek boleh melaksanakan pemetaan penglibatan pihak berkepentingan dan komuniti yang bertanggungjawab untuk membangun dan melaksanakan pelan libat urus.






Komuniti. Teras penglibatan CCUS ialah komuniti yang terjejas oleh projek tersebut. Komuniti ini termasuk pemimpin tempatan, pegawai yang dipilih, pemilik tanah, NGO dan orang awam. Adalah penting untuk mengambil perhatian dan memahami isu kumpulan penduduk yang kurang bernasib baik dan/atau terpinggir, termasuk status kepelbagaian demografi pelbagai jenis yang akan terjejas dengan ketara oleh projek CCUS. Terdapat juga pertimbangan penting dari sudut undang-undang mengenai isu ‘pendirian’ untuk menentukan siapa yang mungkin terlibat dalam mencabar secara rasmi sebarang keputusan berkaitan projek.

Peserta utama bertemu bagi beberapa aktiviti untuk terlibat. Ciri aktiviti ini ditunjukkan di bawah.

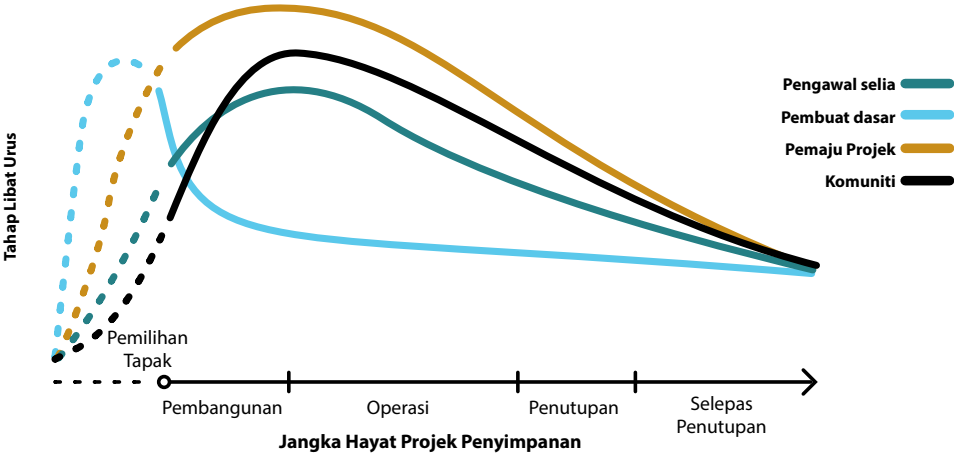
Jadual 3.1: Aktiviti dan Ciri Libat Urus Peserta Utama.

	Aktiviti	Ciri Libat Urus
Pembuat dasar 	<ul style="list-style-type: none">→ Membangunkan dasar CCUS, menyokong inovasi dan perkongsian awam-swasta→ Menjalankan libat urus berbilang pihak berkepentingan→ Terlibat dalam penyelarasan antara agensi	<ul style="list-style-type: none">→ Menentukan tahap libat urus→ Menetapkan proses melalui pasukan petugas

<p>Pengawal selia</p> 	<ul style="list-style-type: none"> → Membuat peraturan → Menyemak permohonan permit → Pengawasan pemaju projek dan pelaksanaan libat urus → Penguatkuasaan 	<ul style="list-style-type: none"> → Wujudkan proses libat urus → Dapatkan kemas kini daripada pemaju projek → Menilai kesan → Meningkatkan tahap penyertaan
<p>Pemaju Projek</p> 	<ul style="list-style-type: none"> → Melaksanakan projek → Menjalankan pemetaan dan penilaian pihak berkepentingan → Terlibat dalam dialog dua hala → Membangunkan hubungan yang saksama dan membina kepercayaan 	<ul style="list-style-type: none"> → Melaksanakan proses libat urus → Berunding dan berbincang → Membincangkan faedah, risiko dan mitigasi
<p>Komuniti</p> 	<ul style="list-style-type: none"> → Mengambil bahagian dalam dialog → Mencari maklumat → Kongsi kebimbangan dan memastikan penyelesaian → Mempengaruhi pembuat dasar dan pemaju projek 	<ul style="list-style-type: none"> → Dialog tetap dan berterusan dengan pemaju projek → Berkomunikasi dengan pengawal selia → Mengulas tentang penilaian kesan alam sekitar

Kumpulan ini berinteraksi sepanjang projek CCUS untuk bertukar-tukar rancangan, cabaran, pengalaman dan pengetahuan untuk membuat keputusan termaklum. Interaksi antara empat kumpulan ini adalah penting untuk projek CCUS yang selamat dan berjaya.

Seperti yang ditunjukkan dalam rajah di bawah (Rajah 3.3), libat urus harus menjadi proses berterusan dengan peserta utama sepanjang hayat projek. Libat urus bermula sebelum pemilihan tapak dan dikekalkan sepanjang pembangunan, operasi, penutupan dan kemudiannya selepas penutupan. Pengarang menyedari bahawa tidak semua libat urus akan mengikut lengkung semula jadi seperti yang ditunjukkan dalam rajah, kerana peristiwa semasa operasi boleh mengakibatkan lonjakan dalam libat urus, atau selepas pembangunan tahap libat urus mungkin berkurangan disebabkan oleh isu bersaing yang mungkin dihadapi oleh pihak berkepentingan. Namun begitu, membina perhubungan memerlukan masa, usaha, ketelusan dan perancangan.



Rajah 3.3: Tahap libat urus peserta utama sepanjang jangka hayat projek.

Proses Libat Urus: Tumpuan Komuniti

Prinsip teras dan peserta utama untuk projek CCUS telah ditangani. Bahagian ini menerangkan proses libat urus dengan tumpuan kepada komuniti. Pertama, pertimbangkan untuk memahami siapa konstituen anda melalui pemetaan dan tinjauan. Seterusnya, sesuaikan teknik jangkauan berdasarkan jenis mesej dan kumpulan dalam komuniti.

Memahami Konstituen

Terdapat pelbagai pendekatan dan alternatif untuk libat urus. Proses-proses ini bergantung pada membangunkan pemahaman yang baik tentang perkara-perkara yang penting kepada komuniti setempat dan pihak berkepentingan yang terjejas. Pendekatan secara teliti boleh dibangunkan dengan menggunakan tinjauan yang disasarkan yang memetakan atau menilai perasaan komuniti terhadap tindakan atau tema tertentu. Teknik ini boleh menilai dengan pantas segmen komuniti yang lebih besar. Proses penyertaan komuniti, di mana ahli komuniti mengenal pasti kaedah libat urus dan topik yang paling penting bagi mereka, juga boleh menjadi teknik yang membantu untuk memahami konstituen.

Libat urus secara langsung dengan pihak berkepentingan juga boleh dijalankan menggunakan pertemuan bersemuka di mana tindakan dan tema yang mungkin disampaikan kepada masyarakat untuk maklum balas. Acara jangkauan umumnya terdiri daripada perhimpunan awam, yang mungkin termasuk sebilangan besar konstituen dan gabungan pembentangan, soal jawab, ulasan awam, dan komunikasi satu lawan satu dengan pihak berkepentingan tersebut.

Lazimnya, tidak ada cara khusus untuk menentukan perasaan pihak berkepentingan mengenai isu tertentu. Amalan utama adalah libat urus secara kerap dan dalam pelbagai cara dengan mereka untuk memastikan keratan rentas pandangan yang munasabah diterima.

Jadual berikut (Jadual 3.2) meringkaskan beberapa kaedah libat urus bersama dengan kelebihan dan keburukan umum. Dalam semua kes, apabila menggunakan prinsip libat urus teras, aktiviti ini penting untuk membina kepercayaan.

Jadual 3.2: Kaedah jangkauan dan potensi kelebihan dan keburukan

Kaedah jangkauan	Apakah kaedah ini?	Kelebihan	Keburukan
Tinjauan	Satu set soalan untuk mengukur perasaan masyarakat tentang aktiviti atau isu	Boleh mencapai jumlah yang besar dalam masyarakat	Tiada interaksi langsung dan selalunya peratusan pulangan yang rendah; mungkin boleh mencapai subset komuniti sahaja
Perhimpunan Awam	Acara di mana maklumat dibentangkan, wakil menjawab soalan daripada komuniti, dan mereka menerima ulasan	Mesej sekaligus boleh mencapai jangkauan luas merentas komuniti. Keupayaan untuk memahami soalan dan kebimbangan utama, dan menggabungkan maklum balas	Perbualan boleh didorong oleh sebilangan kecil peserta

Jangkauan Bersasaran	Acara di mana wakil membentangkan butiran daripada projek. Ini mungkin termasuk lawatan tapak dan sesi Soal Jawab	Komunikasi dua hala yang lebih baik	Selalunya sampel masyarakat yang lebih kecil, mungkin para pemimpin masyarakat
Pejabat/Gerai Awam	Lokasi tetap di mana orang ramai boleh belajar secara bebas tentang projek dan libat urus dengan wakil	Mendorong komunikasi satu lawan satu dan perkongsian maklumat	Terdapat banyak libat urus untuk menjangkau sebilangan kecil dalam komuniti
Jangkauan Teknikal	Pembentangan di mesyuarat, simposium dan forum	Tapisan teknikal projek oleh rakan sebaya	Penglibatan dengan subset teknikal yang kecil dalam komuniti
Akhbar / Berita Tempatan	Jangkauan melalui saluran media	Mencapai komuniti tempatan dan mungkin melibatkan penyertaan pihak ketiga (wartawan) dalam komunikasi	Tiada interaksi langsung; tidak semua orang mempunyai akses kepada berita dan mungkin melibatkan penyertaan pihak ketiga (wartawan) dalam komunikasi

Laman web	Laman web projek yang mengandungi maklumat tentang projek, teknologi, risiko dan proses membuat keputusan	Boleh mencapai jumlah yang besar dalam masyarakat; platform dinamik dengan pilihan untuk dikemas kini semasa projek berkembang; boleh diterjemahkan ke dalam beberapa bahasa	Tiada interaksi langsung
Risalah/Iklan	Maklumat yang disasarkan digantung atau diedarkan di tempat awam	Menjangkau komuniti setempat	Tiada interaksi secara langsung

Selalunya, lebih daripada satu proses ini perlu digunakan dalam kombinasi untuk memastikan tahap libat urus yang sewajarnya. Lihat kajian kes tentang Houston CCS Alliance, di atas.

Teknik Libat Urus

Terdapat pelbagai cara untuk berkongsi dan bertukar maklumat dengan pihak berkepentingan. Apabila memulakan libat urus komuniti, bertemu dengan pemimpin utama terlebih dahulu boleh membantu untuk mula memahami isu penting yang mungkin memerlukan perhatian tambahan sebelum terlibat secara langsung dengan komuniti.

Pemetaan pihak berkepentingan boleh menjadi alat penting untuk menyokong aktiviti libat urus yang berkesan (lihat bahagian Sumber untuk Libat Urus dalam Bab 9: Sumber Tambahan). Ia menyediakan rangka kerja untuk mengenal pasti,

menilai dan memetakan secara visual individu dan kumpulan yang berpotensi untuk terlibat, mengenal pasti peranan utama, mempertimbangkan potensi titik persamaan dan halangan, menentukan potensi kekerapan dan keutamaan libat urus dan membangunkan mesej utama.

Rakan kongsi dan fasilitator tempatan boleh membantu mengenal pasti kumpulan individu ini. Pakar bebas (cth., ahli akademik) boleh dibawa masuk untuk berkongsi pendapat mereka yang tidak berat sebelah tentang kesempurnaan projek sedemikian dalam komuniti. NGO juga mungkin memainkan peranan penting, mewakili kepentingan seperti alam sekitar atau kesihatan dan keselamatan komuniti.

Terdapat juga beberapa teknik komunikasi sehalu. Penggunaan laman web atau media sosial untuk melibatkan pihak berkepentingan adalah aspek jangkauan yang semakin meningkat. Temu bual media (sama ada bercetak, radio, podcast atau televisyen) juga boleh digunakan untuk penyampaian mesej komuniti yang meluas.

Walau bagaimanapun, amalan utama menunjukkan bahawa kaedah komunikasi dua hala – kaedah yang boleh diterima dan disebarkan oleh kedua-dua pihak – adalah lebih baik. Cabaran teknik libat urus ini adalah untuk memastikan pemesejan projek sampai kepada lebih ramai orang dalam komuniti.

Pemaju projek mungkin perlu hadir secara langsung dan menjadi sebahagian daripada komuniti. Langkah ini membantu membina kepercayaan dan membolehkan libat urus yang lebih kerap dan berterusan. Pelbagai cara boleh digunakan untuk membangunkan pengalaman komuniti ini, tetapi tiada apa yang boleh menggantikan kehadiran langsung dalam komuniti. Sesetengah pemaju projek yang berjaya telah membuka pejabat jangkauan dalam komuniti untuk membolehkan libat urus sehari-hari.

Contoh di bawah menerangkan bagaimana pelan libat urus komuniti yang lemah boleh menyebabkan pembatalan projek CCUS.



Projek Barendrecht di Belanda Dibatalkan Oleh Sebab Libat Urus Komuniti yang Tidak Mencukupi

Kurangnya penerimaan orang ramai boleh menjadi punca kepada pembatalan projek. Salah satu contoh ialah projek Barendrecht di Belanda. Projek ini merancang untuk memisahkan dan menangkap pelepasan CO₂ daripada kilang penapisan minyak sebelum menyuntik dan menyimpan kira-kira 10 Mt CO₂ selama 25 tahun dalam medan gas yang telah habis di bawah bandar Barendrecht. Masyarakat bimbang tentang kerosakan rumah dan potensi penurunan nilai harta tanah kerana berdekatan dengan tapak penyimpanan. Terdapat juga sentimen yang kuat bahawa masyarakat tidak dimaklumkan tentang perkembangan projek dan diberikan sedikit atau tiada kuasa dalam proses membuat keputusan. Selain itu, terdapat perselisihan pendapat antara pengawal selia tempatan dan nasional tentang proses libat urus awam dan risiko projek yang dilihat. Akhirnya, projek itu telah dibatalkan.²

Pemaju projek terlibat dengan komuniti dan melaburkan masa dan sumber untuk libat urus komuniti. Walau bagaimanapun, libat urus bermula terlalu lewat dalam proses itu. Oleh kerana projek itu dianggap sebagai komersial secara eksklusif,³ terdapat sedikit penglibatan komuniti dalam skop awal atau proses membuat keputusan. Berikutan pembatalan projek, pemaju projek menyedari pengajaran yang dipelajari berkaitan dengan libat urus komuniti.

Mereka menyatakan bahawa “[pengajaran yang paling penting] daripada projek Barendrecht ialah kepentingan untuk mewujudkan kepercayaan bersama antara pihak berkepentingan dan komitmen antara satu sama lain dan kepada projek. Ini boleh dilakukan dengan memasukkan semua pihak berkepentingan dalam proses projek pada peringkat awal dan menyampaikan tentang projek dan prosesnya kepada masyarakat”.⁴

Penglibatan termasuk membawa kemahiran, pengetahuan, sumber dan rangkaian yang diperlukan untuk memajukan industri CCUS, seperti yang diperincikan dalam Bab 4: Membina Kapasiti.

4. Membina Kapasiti

Ringkasan Penting

- Negara perlu memastikan bahawa semua peserta utama – pembuat dasar, pengawal selia, pemaju projek dan komuniti – mempunyai kapasiti. Pembinaan kapasiti ialah proses membangunkan dan meningkatkan kemahiran, pengetahuan, sumber dan rangkaian tempatan yang diperlukan untuk memajukan industri CCUS.
- Industri CCUS yang sedang berkembang boleh mewujudkan peluang pekerjaan yang mampan, tetapi tenaga kerja CCUS memerlukan pelbagai bidang sains, kejuruteraan, undang-undang dan kemahiran lain.
- Aktiviti pembinaan kapasiti termasuk menubuhkan pusat ujian dan latihan CCUS, menyokong aktiviti RD&D, memupuk latihan amali dan memudahkan rangkaian kerjaya.
- Kajian kes dari A.S. dan Norway menunjukkan kepentingan dan potensi kemudahan pembinaan kapasiti.

Pengenalan

Pembinaan kapasiti untuk CCUS bertujuan untuk melengkapkan organisasi dan individu dengan kemahiran, pengetahuan, sumber dan rangkaian yang diperlukan untuk melaksanakan dan memajukan industri CCUS. Ia juga harus bertujuan untuk menyokong pertumbuhan rangkaian yang kukuh dan merekrut bakat yang diperlukan untuk memangkin industri yang baru muncul ini. Pembinaan kapasiti boleh dilakukan menerusi beberapa pendekatan termasuk pemindahan pengetahuan, latihan, pembangunan tenaga kerja, latihan amali dan penyelidikan.

Oleh kerana teknologi CCUS secara umumnya tidak terkenal, libat urus dalam aktiviti pembinaan kapasiti boleh memberi manfaat

kepada sesiapa sahaja yang bekerja secara langsung atau tidak langsung di lapangan. Pembangunan kapasiti di negara-negara yang mempunyai projek dan rangka kerja penggerak awal sering memfokuskan aktiviti di sekitar projek demonstrasi yang kemudiannya membawa kepada projek komersial. Di negara-negara membangun, pertukaran pengetahuan daripada projek yang bergerak awal membolehkan mereka belajar daripada apa yang telah dilakukan di tempat lain. Bab ini membincangkan keperluan tenaga kerja, cabaran, pembangunan, penyelidikan akademik dan penyelidikan/pembangunan/pengerahan (RD&D).

Keperluan Tenaga Kerja CCUS

Walaupun beberapa kemahiran yang diperlukan untuk CCUS boleh dipindahkan daripada industri lain, CCUS mempunyai pertimbangan khusus yang diperlukan untuk melatih semula tenaga kerja sedia ada atau generasi pekerja CCUS yang akan datang. Industri CCUS yang sedang berkembang berpotensi untuk mencipta pelbagai peluang pekerjaan berkualiti dan menjadi bahagian penting dalam sektor tenaga global yang lebih mampan. Pekerja diperlukan sepanjang hayat projek CCUS, bermula daripada penangkapan (yang memerlukan lebih ramai kakitangan jurulatih dan lebih banyak peralatan), pemeriksaan tapak, pemilihan dan pencirian kepada reka bentuk dan kelulusan tapak, pembinaan, operasi, pemantauan selepas suntikan dan penutupan tapak (lihat Jadual 4.1 di bawah).

Selain keperluan tenaga kerja khusus projek, pembuat dasar, pengawal selia, pemimpin masyarakat dan pegawai yang dipilih yang ingin memahami cara memaksimumkan peluang CCUS juga perlu membina tahap kapasiti dan pengetahuan CCUS yang tertentu. Penyelidikan akademik boleh menyokong penguasaan topikal dan kemasukan topik CCUS dalam kurikulum akademik yang membina minat dan keupayaan dalam CCUS.

Jadual 4.1: Keperluan tenaga kerja untuk projek CCUS.

Saling bersilang	Pengurus projek; profesional kesihatan, keselamatan, dan alam sekitar; pakar hidrologi; jurutera elektrik; jurutera awam; ahli ekonomi; peguam; juru elektrik; juru kimpal; tukang paip; pemandu trak; pengendali peralatan berat; keselamatan tapak; penganalisis kewangan; akauntan; pegawai pematuhan; dan pakar perhubungan masyarakat.
Penangkapan	Jurutera kimia; jurutera mekanikal; pemodel pelepasan udara; dan jurutera proses.
Pengangkutan	Jurutera kereta api; konduktor rel; penghantar; malim; kapten; pekerja pelabuhan; pelaut pedagang; kakitangan pembinaan dan penyelenggaraan saluran paip.
Penggunaan	Ahli kimia; jualan dan pemasaran; dan jurutera bahan.
Penyimpanan	Ahli geologi; ahli geofizik; ahli petrofizik; geomekanik; jurutera petroleum; ahli seismologi; ahli hidrogeologi, ahli geokimia, profesional perkhidmatan minyak dan gas; penggerudi dan krew gerudi; jurutera penyelesaian telaga; dan jurutera gerudi.

Cabaran Tenaga Kerja CCUS

Pelbagai peranan teknikal dan bukan teknikal diperlukan untuk CCUS. Dari segi teknikal, tenaga kerja minyak dan gas mempunyai banyak kemahiran asas untuk menjalankan operasi pengangkutan dan penyimpanan CO₂, dan industri pemprosesan kimia dan gas mempunyai pengalaman yang berkaitan dengan penangkapan CO₂. Seperti yang diterangkan dalam Bab 2: Apakah Penangkapan, Pengangkutan, Penggunaan dan Penyimpanan Karbon?, keperluan untuk CCUS melangkaui industri semasa. Oleh itu, adalah penting untuk memangkin industri CCUS yang mempunyai laluan tenaga kerja yang kukuh ke universiti, kolej komuniti, institut vokasional dan program latihan khusus.

Membina rangkaian yang kukuh juga penting untuk memastikan kerjasama merentas projek yang kompleks yang meliputi rantai nilai CCUS.

Membangunkan Tenaga Kerja CCUS

Berikut secara ringkas menerangkan beberapa pendekatan untuk membangunkan kapasiti CCUS dan seterusnya tenaga kerja CCUS, termasuk meletakkan pembinaan kapasiti ke dalam jangkauan projek, membina rangkaian yang kukuh, menubuhkan pusat ujian dan latihan CCUS, dan menyokong penyelidikan akademik.

Menerapkan Pembinaan Kapasiti dalam Jangkauan Projek

Projek CCUS dunia sebenar boleh menyediakan titik fokus untuk pembinaan kapasiti. Perkongsian industri-kerajaan boleh menyokong pembangunan pengetahuan dan amalan melalui pelaksanaan projek CCUS, bermula dengan demonstrasi lapangan berskala kecil dan meningkatkan skala. Semua demonstrasi lapangan harus merangkumi aktiviti pendidikan dan jangkauan dan menjadi titik fokus untuk pembinaan kapasiti.

Membina Rangkaian yang Kukuh

Terdapat banyak aspek merentas rantai nilai CCUS yang perlu disepadukan untuk pelaksanaan projek yang berjaya. Adalah penting untuk membina rangkaian kukuh yang menyokong kerjasama dan komunikasi merentas semua peranan yang diperlukan untuk projek CCUS secara khususnya dan industri secara amnya.

Menubuhkan Pusat Ujian dan Latihan CCUS

Pusat ujian teknologi menawarkan peluang untuk menguji dan memajukan teknologi CCUS (terutama untuk tangkapan) dengan menyediakan platform untuk ujian dan pembangunan yang menjimatkan kos, dan memangkinkan pengerahan berskala lebih besar. Penubuhan pusat-pusat ini juga membolehkan pembinaan kapasiti secara langsung dan latihan tenaga kerja masa hadapan dan menyediakan tempat untuk penglibatan antara pembangun teknologi dan pelbagai pihak berkepentingan, termasuk industri, pembuat dasar, pengawal selia, pegawai kerajaan dan orang ramai. Antara contoh pusat latihan, seperti yang diterangkan di bawah, ialah Pusat Kecemerlangan Kebangsaan India dalam Penangkapan dan Penggunaan Karbon (NCoE-CCU).



Pusat Kecemerlangan Kebangsaan India dalam Penangkapan dan Penggunaan Karbon



Rajah 4.1: Perasmian NCoE-CCU. (Ihsan Vikram Vishal)

Pada tahun 2021, Kementerian Sains dan Teknologi Kerajaan India telah menubuhkan Pusat Kecemerlangan Kebangsaan (NCoE) yang pertama di Institut Teknologi India, Bombay. NCoE bertindak sebagai hab berbilang disiplin, penyelidikan jangka panjang, pembangunan reka bentuk, kerjasama dan pembinaan kapasiti untuk penyelidikan terkini dan inisiatif berorientasikan aplikasi dalam bidang penangkapan dan penggunaan karbon. NCoE diberi mandat untuk menentukan pencapaian dan menerajui inisiatif sains dan teknologi untuk inovasi CCUS berorientasikan industri di India sambil membangunkan kaedah baru untuk meningkatkan tahap kesediaan teknologi CCUS. NCoE sedang mengusahakan penukaran CO₂ yang ditangkap kepada bahan kimia, pengangkutan, pemampatan dan penggunaan CO₂, serta meningkatkan pemulihan minyak dan gas sebagai laluan faedah bersama. NCoE telah membangunkan kaedah baru, kos rendah yang mampan dan berskala untuk menangkap CO₂, antaranya menggunakan sistem tangkapan berasaskan air dan penukaran garam karbonat dan karbon monoksida. NCoE berfungsi sebagai penasihat dan rakan kongsi pengetahuan kepada pelbagai kementerian dalam kerajaan India sambil menyediakan akses kepada kemudahan R&D kepada pihak lain di dalam negara. NCoE menganjurkan program pembinaan kapasiti secara berkala, seperti kursus pendek untuk industri dan lain-lain.

Menyokong Penyelidikan Akademik

Walaupun industri CCUS masih di peringkat awal, sokongan kerajaan yang berterusan untuk penyelidikan CCUS sekolah siswazah adalah asas kepada pembinaan kapasiti CCUS dan

pembangunan tenaga kerja. Sebagai tambahan kepada sokongan yang disediakan oleh kerajaan untuk pembangunan tenaga kerja CCUS, persatuan-peratuan geosains dan kejuruteraan yang utama menjalankan aktiviti pembinaan kapasiti CCUS (seperti bengkel khas CCUS atau sesi teknikal pada mesyuarat antarabangsa utama). Lihat bahagian Libat Urus dalam Bab 9: Sumber Tambahan untuk maklumat lanjut.

Membangunkan Pengalaman Latihan Berfokus dan Rangkaian Kerjaya

Latihan dan pendidikan berfokus boleh menjadi cara terbaik untuk pembelajaran bersasar. Sekolah Musim Panas CCS Berbilang Disiplin Antarabangsa IEAGHG yang berjalan sejak tahun 2007 dengan lebih 700 alumni dari 60 buah negara, menyediakan saintis dan penyelidik muda yang mencari pemahaman yang lebih menyeluruh tentang CCS peluang pendidikan yang mendalam selama seminggu.¹ Kajian kes berikut menerangkan program pembinaan kapasiti antarabangsa untuk pelajar siswazah dan profesional di peringkat awal kerjaya di A.S.



Pengalaman Penyelidikan dalam Pengasingan Karbon (RECS): Model Pembinaan Kapasiti untuk Membangunkan Kepimpinan CCUS, Saluran Bakat dan Rangkaian Kerjaya



Rajah 4.2: Peserta RECS melawat Projek Citronelle di Alabama, Amerika Syarikat di mana CO₂ dari Loji Barry Alabama Power diangkut melalui saluran paip dan disuntik pada kedalaman 3-3.4km. (Ihsan Pamela Tomski)

Pada tahun 2004, Pejabat Tenaga Fosil dan Pengurusan Karbon Jabatan Tenaga A.S. memberikan sokongan untuk melancarkan program Pengalaman Penyelidikan dalam Pengasingan Karbon (RECS) dengan visi untuk membina tenaga kerja CCUS bertaraf dunia dan mewujudkan komuniti profesional muda untuk membantu memimpin industri CCUS yang baru muncul dan peralihan tenaga bersih.

RECS diiktiraf secara meluas sebagai pengalaman pendidikan dan latihan CCUS yang terulung, serta rangkaian kerjaya untuk pelajar siswazah dan profesional di peringkat kerjaya awal di A.S. RECS menawarkan program intensif tahunan selama 8 hari yang menggabungkan pengajaran bilik darjah, latihan kumpulan, lawatan tapak CCUS, latihan komunikasi dan aktiviti lapangan CCUS secara amali. Aktiviti ini merangkumi pelbagai topik, termasuk sains, teknologi, dasar, libat urus dan aspek perniagaan yang berkaitan dengan penerahan CCUS. RECS juga menyediakan rangkaian, libat urus pihak berkepentingan dan peluang membina pasukan untuk meningkatkan kemahiran libat urus dan memupuk pengetahuan dan kerjasama antara disiplin.

Prinsip teras RECS adalah untuk memfokuskan aktiviti pembelajaran di tapak CCUS dan membina pemahaman tentang kitaran hayat projek dan pertimbangan penerahan komersial. Peserta RECS memperoleh pengalaman amali yang tidak ternilai dan pendedahan kepada projek CCUS dunia sebenar, mengukuhkan pemahaman mereka tentang cabaran dan peluang dalam lapangan, dan melengkapkan peserta dengan kemahiran dan rangkaian yang diperlukan untuk mengemudi landskap CCUS yang kompleks dan memajukan penerahan CCUS.

RECS ialah pemangkin untuk membina kepimpinan CCUS dan pertumbuhan profesional, dan alumni RECS berada di barisan hadapan dalam memajukan CCUS di A.S. dan di peringkat global. RECS memudahkan rangkaian dan kerjasama dalam kalangan lebih 700 alumni RECS yang terlibat secara aktif dalam semua aspek CCUS, daripada kerajaan dan industri kepada NGO dan penyelidikan akademik.

Alumni menyumbang kepada tenaga kerja CCUS melalui peranan yang berbeza, termasuk pengurusan projek, pelbagai peranan teknikal dan kejuruteraan, pembangunan perniagaan, dasar dan aspek kawal selia, dan memajukan inovasi dan keusahawanan melalui syarikat permulaan mereka sendiri.

RECS berfungsi sebagai model yang berjaya untuk dipertimbangkan oleh negara dan bidang kuasa lain. Program seperti RECS boleh memainkan peranan penting dalam membantu membina tenaga kerja CCUS yang mahir dan pelbagai, mencipta dan memupuk rangkaian CCUS yang berkesan, membina kapasiti dan membangunkan pemimpin CCUS yang akan memacu penerhasilan dan mencipta masa depan yang mampan.

Penyelidikan, Pembangunan dan Penerhasilan

Pelaburan dalam penyelidikan, pembangunan dan penerhasilan (RD&D) secara langsung menyokong strategi penyahkarbonan, mengurangkan kos, meningkatkan kecekapan, mengurangkan risiko dan mengurangkan kesan alam sekitar untuk CCUS. Aktiviti RD&D juga boleh membantu mempercepatkan penyepaduan komponen CCUS dan penting untuk pembinaan kapasiti.

Program RD&D harus memanfaatkan perkongsian awam-swasta untuk aktiviti pembangunan dan penerhasilan selanjutnya. Perhatian tambahan diperlukan dalam bidang RD&D berikut untuk pembangunan komersial CCUS dengan penyelesaian

baharu yang berpatutan, boleh skala dan mampan. Cadangan untuk CCUS RD&D yang berkesan termasuk:

- **Teknologi Sokongan di Semua Peringkat Pembangunan.** Kejayaan komersial memerlukan teknologi bantuan melalui semua peringkat pembangunan dan membina setiap pengalaman ke arah projek dengan skala yang semakin besar dan lebih cekap. CCUS RD&D harus menyokong teknologi pendahulu kepada pendhulu yang berikutnya supaya sektor swasta boleh memanfaatkan pengurangan kos daripada pembelajaran berasaskan pengalaman untuk menggunakan CCUS secara meluas pada skala komersial.
- **Meneruskan dan Mempertingkatkan Penyelidikan Peringkat Awal.** Bagi ekonomi sedang pesat membangun yang berminat untuk mempercepatkan penerimaan CCUS (seperti Vietnam, Thailand, Indonesia, Malaysia), penyelidikan yang menyokong kejayaan teknologi adalah penting untuk mengurangkan penguncian teknologi dan mewujudkan peluang baharu untuk penerhasilan CCUS.
- **Meluaskan Skop dan Aplikasi Penyelidikan.** CCUS boleh digunakan dengan berkesan merentas pelbagai sumber CO₂ yang beza. RD&D tidak seharusnya terhad kepada satu topik sahaja tetapi sebaliknya perlu merangkumi rangkaian penuh aplikasi yang berpotensi untuk menggalakkan penggunaan teknologi secara meluas dan integrasi dengan aktiviti ekonomi yang lebih menyeluruh. Bagi ekonomi sedang pesat membangun yang lebih menumpukan pada satu bahagian rantaian nilai CCUS, usaha RD&D tentang topik tersebut mungkin lebih realistik.
 - **RD&D untuk Tangkapan Karbon.** Penyelidikan tangkapan yang diperluaskan adalah penting untuk mengurangkan kos dan meningkatkan prestasi kerana tangkapan karbon digunakan untuk penjanaan kuasa fosil dan industri pembuatan. Walaupun teknologi tangkapan generasi

pertama tersedia secara meluas dan komersial, RD&D boleh mengoptimumkan dan menurunkan kos teknologi komersial sedia ada, dan membantu membangunkan teknologi generasi kedua dengan prestasi ekonomi dan teknikal yang lebih baik.

- **RD&D untuk Laluan Penggunaan.** Walaupun pemulihan minyak yang dipertingkatkan (EOR) kekal sebagai pilihan yang berdaya maju dan ekonomik untuk penyimpanan CO₂ jangka panjang, kebanyakan sumber pelepasan CO₂ yang besar tidak terletak berhampiran medan EOR yang sesuai. Hasil EOR juga sangat bergantung pada harga minyak dan mungkin tertakluk kepada penurunan apabila dunia beralih kepada sumber tenaga lain. Atas sebab ini, RD&D dalam pilihan penyimpanan dan penggunaan bukan EOR adalah penting untuk membangunkan pasaran dan peluang penggunaan CO₂ baharu. Peluang RD&D selanjutnya wujud untuk penggunaan dan penggunaan semula karon dengan penyelidikan yang disokong makmal yang menyediakan mekanisme teknologi untuk menggunakan CO₂, dan berpotensi untuk memberikan manfaat ekonomi dengan mencipta produk eksport baharu.
- **RD&D untuk Pengangkutan.** Pengangkutan CO₂ adalah aktiviti yang agak matang tetapi ia masih boleh mendapat manfaat daripada pelaksanaan aktiviti RD&D. Aktiviti RD&D boleh menumpukan pada meningkatkan keselamatan, mengurangkan kos, menemui laluan baharu dan mengoptimumkan mod. Penyelidikan bahan baharu juga merupakan satu bidang peluang yang boleh membawa kepada pengurangan kos yang ketara dan peningkatan keselamatan pengangkutan.
- **RD&D untuk Penyimpanan.** Menjalankan suntikan CO₂ di bawah permukaan memerlukan pemahaman yang

mendalam tentang proses penyimpanan dan keadaan geologi tempatan. Kemajuan dalam bidang penyelidikan diperlukan untuk menambah baik teknik pencirian tapak komersial, alat pengiraan termaju untuk mengendalikan volum data yang besar dan sistem pemantauan yang lebih baik.

- **RD&D untuk Isu Saling Bersilang.** Perbelanjaan RD&D dalam sains asas boleh memangkin inovasi dan kejayaan teknologi CCUS. Sokongan untuk analisis pasaran dan bersepadu boleh membantu negara memahami cara CCUS dan strategi lain boleh menyumbang kepada matlamat penyahkarbonan dan menentukan laluan penyelesaian yang cekap kos.

Kajian kes berikut untuk Pusat Tangkapan Karbon Nasional (NCCC) di Amerika Syarikat dan Pusat Ujian Mongstad (TCM) di Norway menunjukkan nilai pusat penyelidikan/ujian dalam membangunkan teknologi CCUS.



Pusat Tangkapan Karbon Nasional (NCCC) di Alabama



Rajah 4.3: Pusat Tangkapan Karbon Nasional (Ihsan Southern Company)

Jabatan Tenaga A.S./Makmal Teknologi Tenaga Negara (NETL) dan Southern Company mengendalikan NCCC, kemudahan penyelidikan neutral yang bekerja untuk memajukan teknologi bagi mengurangkan pelepasan gas rumah hijau daripada loji janakuasa berasaskan fosil dan proses perindustrian, dan untuk menggalakkan penukaran karbon dan inovasi penyingkiran karbon, seperti tangkapan udara langsung (DAC).

Terletak di Wilsonville, Alabama, Pusat ini menawarkan kemudahan ujian yang unik untuk penilaian pihak ketiga bagi tangkapan CO₂, penukaran CO₂ dan teknologi DAC yang kos efektif – merapatkan jurang antara penyelidikan makmal dan demonstrasi dan penggunaan berskala besar. Pada tahun 2023 sahaja, lebih daripada 50 buah organisasi berkepentingan telah melawat and melihat kemudahan NCCC.

NCCC menawarkan faedah kepada pembangun teknologi dengan menyediakan peluang ujian kepada mereka dalam keadaan operasi dunia sebenar tapak perindustrian. Langkah itu mempercepatkan pengkomersilan proses tangkapan dan penukaran karbon kos rendah, serta teknologi DAC yang baru muncul. Melalui ujian terhadap lebih daripada 75 teknologi untuk penginovasi di A.S. dan enam buah negara lain, Pusat ini telah mengambil bahagian secara langsung dalam pengurangan kos unjuran penangkapan CO₂ daripada penjanaan fosil sebanyak lebih 40 peratus. NCCC menyokong penilaian teknologi canggih daripada pembangun domestik dan antarabangsa. Penilaian ini penting dalam mengenal pasti dan menyelesaikan isu alam sekitar, kesihatan dan keselamatan, operasi, komponen dan pembangunan sistem, serta mencapai pengembangan skala dan peningkatan proses dengan kerjasama pembangun teknologi. Projek tajaan DOE, serta projek daripada industri, universiti dan institusi kerjasama lain, menyediakan spektrum penuh teknologi untuk ujian di Pusat ini.

Data prestasi yang dijana dalam ujian di NCCC telah mengesahkan data makmal, membolehkan peningkatan kejuruteraan, seterusnya memacu kejayaan dalam penyelesaian pengurusan karbon. NCCC juga menawarkan bantuan dalam mencari rakan kongsi domestik dan antarabangsa untuk penambahan skala. Operasi NCCC telah menyediakan lebih daripada 150,000 jam ujian enzim, membran, penjerap, pelarut, hibrid dan sistem yang berkaitan untuk penangkapan karbon pasca pembakaran, serta teknologi penukaran CO₂ dan teknologi DAC.

NCCC setakat ini telah menyelesaikan tiga ujian penukaran karbon, termasuk demonstrasi proses termokimia Southern Research untuk menghasilkan etilena dengan menggunakan CO₂ daripada gas serombong arang batu dan etana, dan demonstrasi proses mineralisasi CO₂ CarbonBuilt Reversa™, yang menggunakan CO₂ dalam gas serombong dan sisa pembakaran arang batu untuk menghasilkan konkrit karbon rendah. Di samping itu, NCCC pada tahun 2023 telah menyelesaikan ujian dengan Helios-NRG LLC untuk teknologi penukaran alga pertama – sebuah sistem berasaskan alga berterusan berbilang peringkat yang baru untuk menangkap CO₂ daripada gas serombong loji janakuasa. Pada tahun 2023, NCCC juga telah menyelesaikan ujian DAC pertamanya di tapak, dengan kerjasama Lembaga Tenaga Negeri-negeri Selatan dan Aircapture, dan sedang menjalankan ujian tambahan.



Pusat Teknologi CO₂ Mongstad (TCM) Norway



Rajah 4.4: Pusat Teknologi CO₂ Mongstad, Norway.
(Ihsan Pusat Teknologi Mongstad, tcmda.com)

TCM dimiliki bersama oleh Kerajaan dan industri Norway (Equinor, Shell dan TotalEnergies). Sejak tahun 2012 ia telah tersedia untuk penyelidik nasional dan antarabangsa serta para pembangun teknologi yang ingin menguji dan mengesahkan teknologi tangkapan CO₂, ujian komponen dan penyelesaian masalah. TCM juga menawarkan khidmat nasihat tentang penangkapan dan memberi nasihat tentang aspek seperti degradasi pelarut, kakisan, isu pelepasan dan pengendalian sisa, semuanya merupakan aspek penting dalam proses penangkapan.

Salah satu sumbangan terpenting pusat ujian seperti TCM ialah menguji dan mengesahkan teknologi sebelum ia dikomersialkan. Sehingga kini, sebanyak 23 kempen ujian telah dijalankan di TCM. Sebagai contoh, teknologi tangkapan yang digunakan untuk projek demonstrasi Norway Longship telah diuji buat pertama kali di TCM.²

Manfaat TCM dan pusat-pusat ujian lain yang sering dipandang remeh ialah kesan pembinaan kapasiti berikutan kewujudan dan operasi kemudahan tersebut. TCM telah menghasilkan sejumlah besar penerbitan dan laporan yang tersedia untuk umum yang memberi manfaat kepada industri, pengawal selia dan ahli akademik.³ TCM menyediakan peluang yang luas untuk membina kapasiti bagi para penyelidik di Norway dan luar negara. Terdapat perjanjian yang memastikan kerjasama dengan institut penyelidikan, melalui perkongsian maklumat,⁴ dan membolehkan penyelidik menguji teknologi di pusat ujian.⁵ TCM seterusnya telah memulakan dan mengambil bahagian dalam Rangkaian Pusat Ujian Antarabangsa, yang bertujuan untuk berkongsi pengetahuan penting dalam memperhalusi dan mengkomersialkan CCS secara global.⁶ Para anggota ujian dalam rangkaian ini datangnya dari negara China, Jepun dan Korea Selatan,⁷ seterusnya membolehkan rantau Asia mendapat manfaat daripada operasi TCM selama lebih 10 tahun, serta pengetahuan dan kepakaran daripada pusat ujian lain dari Eropah, A.S., Kanada dan Australia.

Pembuat Dasar dan Pengawal Selia

Sumber yang diterangkan di atas bukan sahaja terhad untuk digunakan secara domestik, tetapi juga boleh digunakan untuk membina kepakaran yang berkaitan dalam kerajaan (seperti dengan pembuat dasar dan pengawal selia). Inisiatif pertukaran dua hala dan pelbagai hala wujud di seluruh A.S. dan kerajaan lain yang menyediakan peluang untuk bantuan teknikal dan kerjasama.

Perkongsian pengetahuan merentas penggerak awal bukan sahaja penting untuk perkembangan teknikal CCUS tetapi juga untuk membangunkan rangka kerja undang-undang dan kawal selia, seperti yang diterangkan dalam Bab 5: Pelan Hala Tuju untuk Membangunkan Rangka Kerja Perundangan dan Kawal Selia.

5. Pelan Hala Tuju untuk Membangunkan Rangka Kerja Perundangan dan Kawal Selia

Ringkasan Penting

- Untuk membina industri CCUS yang berkembang maju dan selamat, negara perlu membangunkan rangka kerja. Rangka kerja CCUS terdiri daripada dasar, undang-undang, akta, peraturan dan instrumen berkaitan yang menetapkan syarat untuk para peserta utama membina projek CCUS.
- Untuk mencipta rangka kerja yang berjaya, Buku Panduan ini mencadangkan proses enam langkah, bermula dengan menilai dasar sedia ada negara bagi mewujudkan dasar (atau strategi) negara untuk CCUS.
- Langkah keempat dalam proses enam langkah ini ialah mencipta rangka kerja. Negara boleh memutuskan sama ada mereka mahu menerima pakai semua perundangan baharu untuk mewujudkan rangka kerja CCUS yang berdiri sendiri; atau untuk menyesuaikan perundangan sedia ada kepada rangka kerja yang ada (seperti minyak dan gas). Negara juga boleh memanfaatkan piawaian dan sumber luaran atau sebaliknya. Tidak ada satu cara yang "betul".
- Walaupun tiada satu cara yang betul, rangka kerja CCUS yang berjaya perlu menangani semua bahagian CCUS untuk memastikan aktiviti kawal selia oleh peserta kerajaan yang berbeza diselaraskan.
- Jepun dan Norway menyediakan contoh bagaimana projek CCUS boleh diteruskan walaupun tanpa rangka kerja CCUS yang dibangunkan sepenuhnya.

Pengenalan

Rangka kerja CCUS ialah satu set dasar, undang-undang, akta, peraturan dan set instrumen undang-undang yang menyediakan struktur untuk menyokong pembangunan industri CCUS dan perlindungan alam sekitar. Rangka kerja diperlukan oleh kedua-dua sektor awam dan swasta untuk membantu memastikan

kebolehamalan, kebolehkendalian, akauntabiliti, ketelusan dan kebolehpasaran projek CCUS.

Pelan Hala Tuju untuk Membangunkan Rangka Kerja

Terdapat banyak cara untuk mewujudkan rangka kerja CCUS. Satu pendekatan boleh merangkumi gabungan enam langkah berikut seperti yang digambarkan di bawah:¹ Menilai dan menyemak dasar atau strategi negara; mengenal pasti jurang dan halangan dalam rangka kerja sedia ada; memetakan rangka kerja yang berkaitan dan amalan terbaik menggunakan sumber yang ada; membangunkan rangka kerja yang sesuai untuk tujuan; mendraf undang-undang dan peraturan; dan melaksanakan rangka kerja.



Langkah 1: Dasar/Strategi Negara



Adalah penting untuk CCUS dimasukkan ke dalam dokumen dasar dan strategi negara. Ini menetapkan hala tuju untuk pembangunan rangka kerja CCUS. Selain itu, di kebanyakan negara, kelulusan kerajaan diperlukan sebelum

undang-undang boleh dibuat dan digubal. Oleh itu, dasar peringkat kebangsaan (atau 'dokumen strategi') yang merangkumi CCUS dan mengenal pasti kementerian/agensi utama adalah penting untuk menyokong perkembangan undang-undang dan kawal selia. Strategi libat urus pihak berkepentingan adalah disyorkan untuk membangunkan dan berkongsi dasar atau strategi.

Langkah pertama dalam mewujudkan rangka kerja CCUS adalah untuk menilai dasar dan strategi negara yang sedia ada untuk menentukan sama ada CCUS disertakan atau tidak. Oleh kerana CCUS ialah teknologi pengurangan iklim, ia mungkin disertakan sebagai sebahagian daripada strategi pengurangan pelepasan sebagai sebahagian daripada matlamat iklim negara. Sebagai contoh, Kerajaan Malaysia telah mengenal pasti CCUS sebagai inisiatif penting dalam Penggerak Peralihan Tenaga negara.² Di India, NITI Aayog, badan pemikir dasar Kerajaan India, telah mengeluarkan laporan strategik yang menggariskan campur tangan dasar peringkat umum yang diperlukan merentas pelbagai sektor untuk penggunaan CCUS.³

Apabila membangunkan dasar/strategi negara, antara pertimbangan termasuk mengenal pasti industri yang berkaitan, menentukan peranan Negara, menangani pemilikan/liabiliti/akses, mengumpul sumber dan menentukan pilihan kewangan.

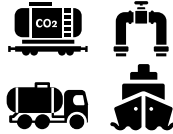
- **Industri yang Berkaitan.** Tenaga, minyak dan gas, pengeluaran kimia, simen, dan pengeluaran keluli. Pendekatan berperingkat ke arah pembangunan rangka kerja selalunya boleh membantu memfokuskan usaha dan mempercepatkan garis masa untuk kemudiannya meningkat skala undang-undang/peraturan industri yang agnostik.
- **Peranan Negara.** Untuk mengawal selia atau mewakilkan kuasa kepada kerajaan sub-nasional.
- **Pemilikan, Liabiliti, Akses.** Untuk pengangkutan dan penyimpanan, termasuk peranan kontrak swasta. Menimbang

sama ada Negara akan memikul tanggungjawab pengawasan penyimpanan jangka panjang dan bagaimana hak dan akses tanah (permukaan/bawah permukaan) akan ditentukan.

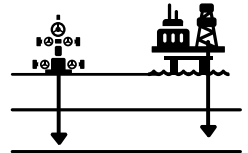
- **Sumber.** Domestik dan antarabangsa. Bab 6: Sumber dan Tanggungjawab untuk Rangka Kerja membincangkan perkara ini dengan lebih terperinci.
- **Insentif/Mandat Kewangan.** Untuk membantu merangsang penggunaan CCUS. Bab 7 membincangkan perkara ini dengan lebih terperinci.



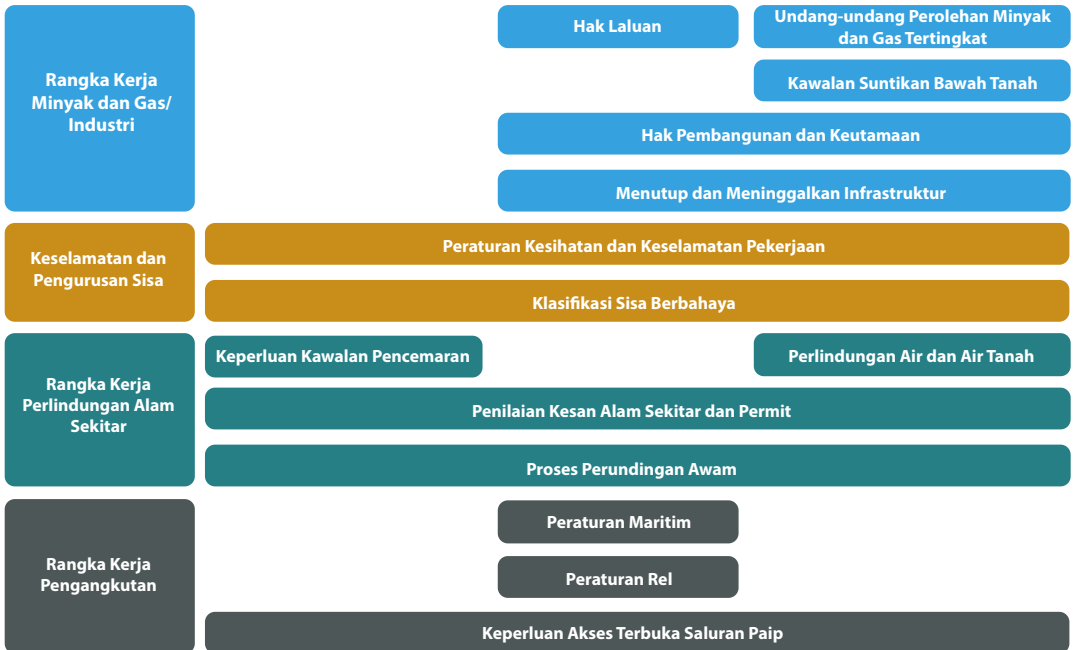
Penangkapan



Pengangkutan



Penyimpanan



Rajah 5.2: Contoh peraturan sedia ada yang mungkin berkaitan untuk aktiviti CCUS. (Disesuaikan dan dikembangkan daripada IEA 2022: Buku Panduan Undang-undang dan Kawal Selia CCUS, hlm.24)

Langkah 2: Jurang dan Halangan



Langkah 2 melibatkan pelaksanaan analisis jurang dan halangan bagi instrumen perundangan dan kawal selia berkaitan CCUS sedia ada untuk menentukan sama ada rangka kerja sedia ada (seperti yang digunakan untuk CO₂ EOR) boleh digunakan semula untuk menyokong aktiviti CCUS atau sama ada rangka kerja kawal selia baharu diperlukan. Kajian Bank Dunia mendapati bahawa banyak negara sudah memiliki sejumlah besar instrumen undang-undang yang diperlukan untuk menyokong rangka kerja CCUS seperti Penilaian Kesan Alam Sekitar, klasifikasi undang-undang untuk CO₂, kriteria kebenaran untuk saluran paip, pelepasan dan pengendalian sisa, dsb.⁴

Instrumen ini berkemungkinan terdiri daripada bahagian rangka kerja CCUS. Sebagai contoh, Kerajaan Norway mendapati Akta dan Peraturan Petroleum yang sedia ada cukup fleksibel untuk menggabungkan penangkapan, pengangkutan dan penyimpanan CO₂ daripada pengeluaran gas asli di luar pesisir tanpa sebarang pindaan. Di Jepun, pengawal selia negara mendapati bahawa beberapa jurang dalam rangka kerja boleh ditangani untuk menampung aktiviti baharu. Angka sebelumnya (Rajah 5.2) menggambarkan contoh peraturan yang mungkin berkaitan dengan rangka kerja CCUS.

Langkah 3: Sumber untuk Membangunkan Rangka Kerja



Langkah 3 melibatkan pemetaan rangka kerja perundangan/kawal selia yang berkaitan dan mengenal pasti amalan terbaik. Beberapa sumber yang tersedia secara umum boleh digunakan semasa pelaksanaan pemetaan, seperti yang

diterangkan dalam Bab 6: Sumber dan Tanggungjawab untuk Rangka Kerja.

Langkah 4: Menyediakan Rangka Kerja Sesuai Untuk Tujuan



Langkah 4 melibatkan penyediaan rangka kerja CCUS yang sesuai untuk tujuan, menggunakan sumber yang diterangkan dalam Langkah 3. Rangka kerja yang sesuai untuk tujuan boleh dibangunkan sebagai rangka kerja CCUS berdiri sendiri yang baharu atau sebagai pindaan kepada rangka kerja sedia ada. Jika tiada rangka kerja sedia ada, sumber luaran boleh dimanfaatkan untuk membangunkan rangka kerja yang disesuaikan dengan betul.

Langkah 5: Merangka Undang-undang dan Peraturan



Berdasarkan keputusan Analisis Jurang (Langkah 2), undang-undang sedia ada boleh digunakan atau dipinda dengan menjelaskan kebolegunaan untuk projek CCUS. Kadangkala, proses yang lebih ketat mungkin diperlukan untuk merangka undang-undang/peraturan baharu.

Langkah 6: Melaksanakan Rangka Kerja



Peringkat terakhir ialah melaksanakan rangka kerja. Beberapa aktiviti dan pertimbangan terlibat dalam fasa ini termasuk:

- Mengenal pasti agensi untuk pematuhan dan penguatkuasaan undang-undang/peraturan
- Membangunkan alat untuk membenarkan, memantau, melaporkan dan mengesahkan
- Menawarkan sumber dan templat dalam talian untuk aplikasi dan keperluan pelaporan
- Membangunkan dan menyediakan sumber seperti atlas geologi, data pelesenan
- Menyediakan pembinaan kapasiti dan latihan untuk pengawal selia, industri dan pihak lain
- Ujian perintis untuk rangka kerja, seperti melalui projek demonstrasi digabungkan dengan pelan libat urus

Akhir sekali, walaupun aktiviti ini disenaraikan dalam Langkah 6, ia boleh menjadi kritikal dalam membantu kejayaan pelaksanaan projek CCUS. Sebagai contoh, kejayaan projek penangkapan karbon yang jumlahnya semakin berkembang pesat bergantung pada keupayaan untuk mendapatkan permit tepat pada masanya. Sebarang kelewatan akan menimbulkan risiko projek yang ketara kerana ketidakpastian dalam masa menerima kelulusan projek, sekali gus menjejaskan pembiayaan projek dan pengeralahan keseluruhan. Mewujudkan garis masa kebenaran yang jelas akan meningkatkan kecekapan proses dan memberikan kepastian yang lebih jelas kepada pemaju projek.

Bab 6: Sumber dan Tanggungjawab untuk Rangka Kerja menyediakan sumber yang ada, daripada penggunaan piawaian, penggerak awal dan konvensyen antarabangsa, yang boleh dimanfaatkan apabila membangunkan rangka kerja perundangan dan kawal selia domestik.

6. Sumber dan Tanggungjawab untuk Rangka Kerja

Ringkasan Penting

- Apabila menyediakan rangka kerja untuk CCUS, pembuat dasar boleh menggunakan beberapa sumber termasuk piawaian antarabangsa seperti yang dibangunkan oleh Pertubuhan Pemiawaian Antarabangsa (ISO), serta perundangan CCUS sedia ada daripada A.S., EU dan lain-lain.
- Di samping itu, semasa menyediakan rangka kerja, pembuat dasar perlu melihat kepada konvensyen antarabangsa yang sedia ada. Konvensyen ini bukan sahaja mewajibkan negara untuk mengawal selia projek CCUS dengan cara tertentu, ia juga boleh menjadi sumber panduan.
- Projek Greensand ialah contoh bagaimana dua buah negara menggunakan piawaian antarabangsa dan konvensyen antarabangsa dalam projek CCUS.

Pengenalan

Terdapat beberapa sumber yang tersedia secara umum, termasuk piawaian antarabangsa dan rangka kerja penggerak awal, yang boleh dimanfaatkan untuk membantu membentuk rangka kerja CCUS. Beberapa sumber ini dibentangkan dalam bab ini.

- Piawaian antarabangsa, terutamanya daripada Penangkapan, Pengangkutan dan Peyimpanan Geologi Karbon Dioksida ISO/TC 265, boleh membantu membangunkan rangka kerja CCUS khusus negara.
- Rangka kerja penggerak awal mungkin menawarkan panduan untuk pembangunan rangka kerja kawal selia, termasuk Rangka Kerja Perundangan dan Kawal Selia IEA untuk CCUS.¹
- Model kawal selia juga tersedia untuk pengangkutan dan penyimpanan CO₂ rentas sempadan.

→ Konvensyen antarabangsa juga mungkin diperlukan, berdasarkan ciri projek CCUS.

Piawaian Antarabangsa

Piawaian antarabangsa, terutamanya yang dibangunkan oleh Penangkapan, Pengangkutan dan Peyimpanan Geologi Karbon Dioksida ISO/TC 265, boleh membantu membangunkan rangka kerja CCUS khusus negara.

Piawaian ini dibangunkan melalui konsensus ahli di bawah Pertubuhan Pemiawaian Antarabangsa (ISO). Keahlian ISO terdiri daripada negara dan perhubungan yang diwakili oleh pakar subjek antarabangsa yang bersidang di bawah jawatankuasa teknikal untuk merumuskan spesifikasi/garis panduan/takrifan berdasarkan amalan utama. Para ahli kemudian memilih piawaian melalui undian dan jika diluluskan, piawaian biasanya disemak dan dikemas kini setiap lima tahun. Piawaian adalah sukarela dan tidak boleh digunakan sebagai menggantikan peraturan atau undang-undang sedia ada. Walau bagaimanapun, piawaian boleh dirujuk, digabungkan, atau diterima pakai ke dalam peraturan. Apabila bidang kuasa menerima pakai piawaian, ia boleh membantu menyelaraskan peraturan dan undang-undang merentas bidang kuasa.

ISO/TC 265 telah dibentuk pada tahun 2011 dan kini aktif. Beberapa kumpulan kerja meliputi penangkapan CO₂, pengangkutan saluran paip, penyimpanan geologi, isu-isu saling bersilang, perolehan minyak teringkat dan penghantaran. Isu berkaitan kuantifikasi dan pengesahan dibahagikan antara kumpulan kerja masing-masing. Sehingga tarikh penerbitan buku panduan ini, terdapat 28 negara anggota yang mengambil bahagian, 16 negara anggota pemerhati, dan beberapa perhubungan dalam ISO/TC 265.² Sebaik sahaja ISO/TC 265 mengisytiharkan piawaian, mana-mana badan piawaian kebangsaan negara boleh menerima pakai

piawai itu secara keseluruhan atau sebahagian (lihat kajian kes mengenai ISA 27914 di bawah). Penerimaan sedemikian tidak menandakan bahawa piawaian telah dimasukkan dalam rangka kerja undang-undang. Pelaksanaan terletak pada pengawal selia.



ISO 27914

ISO 27914 telah dibangunkan pada tahun 2017 dan meliputi penyimpanan geologi CO₂. Piawaian ini sedang disemak di bawah ISO/TC 265 untuk menambah bahagian kuantifikasi dan pengesahan untuk penyimpanan tanpa pengeluaran hidrokarbon dan menggabungkan pengalaman yang dibuat sejak penerbitan. Proses semakan dijangka selesai pada tahun 2025.

ISO 27914 telah diterima pakai oleh Jepun dan Kanada, dan dirujuk oleh pengawal selia Norway dalam garis panduannya untuk peraturan keselamatan CO₂. Ia juga telah dirujuk dan digunakan oleh beberapa projek, termasuk projek penyimpanan CO₂ Greensand di Pentas Benua Denmark,³ dan dalam projek formasi geologi Rusia dalam kawasan lesen Yamal dan Gydan. Kedua-dua kawasan lesen ini telah diperakui mengikut ISO 27914, mengesahkan pematuhan kepada 27914 cth., proses pemilihan tapak dan anggaran kapasiti penyimpanan.⁴

Contoh di bawah menerangkan cara Pusat Penangkapan dan Penyimpanan Karbon Indonesia telah memanfaatkan sumber antarabangsa untuk memajukan CCUS di dalam negara, termasuk dengan menyertai ISO/TC 265 sebagai ahli mengundi.



Pusat Penangkapan dan Penyimpanan Karbon Indonesia memanfaatkan sumber antarabangsa untuk memajukan CCUS



Rajah 6.1: Kepimpinan Pusat Penangkapan dan Penyimpanan Karbon Indonesia (Ihsan Pusat)

Pada tahun 2023, Pusat CCS Indonesia (Pusat) telah dirasmikan, diketuai oleh pasukan pakar yang merangkumi bidang kejuruteraan, sains, dasar dan perniagaan. Beberapa ahli telah dipinjamkan daripada institusi utama di Indonesia, termasuk syarikat minyak nasional Pertamina dan Kementerian Hal Ehwal Maritim dan Pelaburan. Penubuhan Pusat ini didorong oleh keperluan untuk berfungsi sebagai sumber khusus untuk mempercepatkan pembangunan teknologi CCUS di Indonesia melalui penyelidikan, inovasi dan sokongan.

Pusat ini telah memudahkan beberapa perbincangan kerajaan ke kerajaan tentang kerjasama CCUS rentas sempadan, mengambil bahagian dalam pelbagai ceramah antarabangsa, menganjurkan forum CCUS antarabangsa pertama negara dan menyokong penyertaan oleh badan piawai kebangsaan negara sebagai ahli mengundi ISO/TC 265. Pusat ini terlibat secara aktif dalam membangunkan rangka kerja pengawalseliaan CCUS dan menyokong inisiatif perniagaan ke perniagaan domestik dan serantau.

Rangka Kerja Penggerak Awal

Rangka kerja yang dibangunkan oleh mereka yang mengawasi projek CCUS legasi (penggerak awal) boleh membimbing pembinaan undang-undang dan peraturan baru muncul. Contoh rangka kerja penggerak awal termasuk:

- EU menerbitkan rangka kerja komprehensifnya untuk penyimpanan CO₂ pada tahun 2009 melalui Arahan 2009/31/EC mengenai penyimpanan geologi karbon dioksida (Arahan CCS EU).
- Agensi Tenaga Antarabangsa (IEA) menerbitkan model rangka kerja pengawalseliaan untuk CCS, memanfaatkan rangka kerja dari Australia, Eropah dan A.S.⁵
- Program Kelas VI Kawalan Suntikan Bawah Tanah A.S. dibincangkan dalam kajian kes di bawah.



'Keutamaan' Kelas VI UIC A.S.

Instrumen kawal selia utama untuk penyimpanan CO₂ bawah tanah di A.S. ialah program Kelas VI Kawalan Suntikan Bawah Tanah (UIC) (di bawah Akta Air Minum yang Selamat). Matlamat program UIC adalah untuk melindungi sumber air minum bawah tanah daripada aktiviti suntikan. Program Kelas VI menyediakan keperluan untuk suntikan CO₂ untuk pengasingan geologi kekal. Peraturan ini pada masa ini diuruskan di peringkat persekutuan kecuali untuk tiga buah negeri (North Dakota, Wyoming, dan Louisiana) yang telah menerima kelulusan EPA untuk mentadbir program Kelas VI (dirujuk sebagai kelulusan untuk 'keutamaan'). EPA mempunyai beberapa dokumen panduan yang berkaitan dengan UIC Kelas VI yang mungkin berguna untuk pembangunan rangka kerja CCUS di bidang kuasa lain.⁶

Liabiliti dan pengawasan untuk tapak penyimpanan CO₂ adalah isu penting untuk dipertimbangkan apabila menggubal rangka kerja undang-undang untuk CCUS. Rangka Kerja Model IEA menyediakan beberapa panduan tentang topik ini.



Rangka Kerja Model IEA: Liabiliti dan Pengurusan Jangka Panjang

Rangka Kerja Model IEA merupakan contoh rangka kerja penggerak awal. Terdapat beberapa isu yang dikaitkan dengan liabiliti, termasuk peruntukan risiko dan liabiliti semasa fasa pengangkutan dari titik tangkapan ke tapak penyimpanan. Isu yang sangat kompleks yang telah menjadi tajuk perdebatan adalah liabiliti jangka panjang.

Rangka Kerja Model IEA menyaksikan bahawa isu liabiliti jangka panjang secara amnya ditangani dalam satu daripada tiga cara: peruntukan dibuat untuk pemindahan tanggungjawab kepada pihak berkuasa yang berkaitan, liabiliti jangka panjang secara eksplisit terletak pada pengendali, atau liabiliti jangka panjang tidak ditangani secara eksplisit.⁷ Di mana liabiliti tidak ditangani dengan jelas, ia akan diandaikan bahawa pengendali mengekalkan liabiliti untuk tapak simpanan buat selama-lamanya.⁸ Peraturan Kelas VI memerlukan penjagaan tapak selepas suntikan sebagai default selama 50 tahun, di mana pengendali mesti menjalankan pemantauan ke atas keupulan CO₂ untuk memastikan keadaan berjalan seperti yang dirancang. Pengendali perlu mengekalkan tanggungjawab kewangan pada masa ini. Sesetengah negeri telah membangunkan rangka kerja liabiliti jangka panjang yang akan berkuat kuasa selepas tempoh penjagaan tapak selepas suntikan (seperti negeri Louisiana).

Di 30 buah negara yang telah mengubah urutan Arahan CCS EU, keadaannya berbeza. Arahan CCS menetapkan bahawa pengendali bertanggungjawab sepenuhnya ke atas tapak penyimpanan sehingga ke titik pemindahan, yang akan berlaku tidak kurang daripada 20 tahun selepas suntikan berhenti dan tapak ditutup. Jangka masa untuk pemindahan mungkin lebih pendek daripada tempoh 20 tahun yang ditetapkan dalam Arahan CCS, di mana pihak berkuasa berwibawa berpuas hati bahawa syarat pemindahan teras dipenuhi pada tarikh yang lebih awal. Pemindahan sedemikian membayangkan pengawal selia memikul liabiliti dan pengawasan tapak penyimpanan. Walau bagaimanapun, ia bergantung kepada pengendali yang menunjukkan bahawa “CO₂ yang disimpan akan kekal terkandung sepenuhnya”.⁹ Bagaimana demonstrasi tersebut boleh dilakukan tidak dimandatkan tetapi aspek penting adalah untuk menunjukkan bahawa tapak penyimpanan dan keputulan CO₂ berkelakuan dan menjadi stabil seperti yang diramalkan. Pengawal selia boleh menggunakan senarai semak dalam permit, piawaian teknikal dan amalan terbaik untuk membolehkan pendekatan demonstrasi yang lebih boleh diramal dan telus.

Konvensyen Antarabangsa

Sejumlah undang-undang pengangkutan rentas sempadan, peraturan antarabangsa dan perjanjian mungkin berkaitan dengan projek CCUS rentas sempadan antarabangsa dan pembangunan rangka kerja negara. Tidak semua ini akan diratifikasikan atau relevan dari segi geografi untuk pembuat

dasar yang dirujuk oleh buku panduan ini. Walau bagaimanapun, undang-undang mungkin sama ada mengandungi mekanisme atau teks yang boleh memberi maklumat atau menjadi tempat yang berpotensi untuk bermula apabila melaksanakan rangka kerja CCUS. Jadual di bawah (Jadual 6.1) meringkaskan beberapa rangka kerja antarabangsa utama.

Jadual 6.1: Konvensyen Antarabangsa.

**Konvensyen
Pertubuhan
Bangsa-Bangsa
Bersatu mengenai
Undang-undang
Laut (1982)
(UNCLOS)**

UNCLOS secara khususnya tidak mengawal selia aktiviti CCUS. Peruntukannya mungkin mempunyai kesan jika aktiviti CCUS dianggap sebagai “pencemaran”. Di bawah Perkara 210 UNCLOS, lambakan merupakan satu bentuk pencemaran. Pada masa ini, tiada pendapat muktamad sama ada pengangkutan CO₂ ke platform suntikan luar pesisir atau suntikan CO₂ ke dalam formasi geologi dasar laut dianggap sebagai lambakan dan/atau pencemaran di bawah UNCLOS. Tambahan pula, Artikel 195 UNCLOS menghendaki negeri-negeri “untuk tidak memindahkan, secara langsung atau tidak langsung, kerosakan atau bahaya dari satu kawasan ke kawasan lain”.

**Protokol 1996
kepada Konvensyen
Pencegahan
Pencemaran Laut
oleh Lambakan Sisa
dan Bahan Lain,
1972. (Protokol
London)**

Protokol London ialah instrumen undang-undang antarabangsa yang komprehensif untuk perlindungan alam sekitar laut. Ia juga merupakan perjanjian antarabangsa yang paling biasa dibincangkan dalam konteks pengangkutan CO₂ rentas sempadan. Walaupun kebanyakan ekonomi sedang pesat membangun, terutamanya di Asia Pasifik, bukan Pihak Pejanji kepada Protokol, ini tidak melarang negara-negara daripada mengimport/mengeksport CO₂ dengan Pihak Pejanji.¹⁰ Protokol London pada mulanya melarang eksport CO₂ untuk penyimpanan luar pesisir kerana ia dianggap sebagai pelupusan di laut, yang dilarang (Perkara 6 menyatakan, "Pihak Pejanji tidak boleh membenarkan pengeksportan sisa atau perkara lain ke negara lain untuk pembuangan atau pembakaran di laut"). Pada tahun 2009, pindaan kepada Protokol London telah dicadangkan untuk membenarkan eksport CO₂ dilupuskan jika negara-negara berkenaan menandatangani perjanjian (ia tidak semestinya kontrak). Pindaan ini belum berkuat kuasa; bagaimanapun, pihak-pihak telah menerima pakai resolusi mengenai permohonan sementara ini. Tindakan ini kini menyokong pemindahan CO₂ merentasi sempadan. Negara pengeksport yang merupakan Pihak Pejanji kepada Protokol London bertanggungjawab untuk menunjukkan bahawa rangka kerja perundangan/kawal selia negara pengimport mematuhi keperluan Protokol London.

Beberapa buah negara yang tidak mempunyai rangka kerja sedia ada untuk penyimpanan CO₂ sedang mempertimbangkan untuk menyertai Protokol London dan menggunakan peruntukan protokol itu sebagai blok binaan untuk rangka kerja nasional.

	<p>Pertubuhan Maritim Antarabangsa (IMO) menjadi tuan rumah sekretariat untuk Protokol London dan pihak-pihaknya. IMO memudahkan perkongsian pengetahuan menerusi laman webnya dengan membolehkan akses kepada dokumen panduan dan resolusi,¹¹ dan seterusnya dengan membantu Pihak Pejanji baharu yang berpotensi secara langsung dan dengan memudahkan hubungan dengan Pihak Pejanji yang lain. Bantuan ini mungkin melibatkan nasihat tentang cara menjadi Pihak Pejanji dan cara melaksanakan rangka kerja yang mematuhi Protokol. IMO juga mempunyai beberapa dokumen panduan untuk dijual dalam pangkalan data mereka, beberapa daripadanya berkaitan dengan CCS.¹² Protokol London mempunyai 54 Pihak Pejanji, kebanyakannya di rantau Asia-Pasifik.¹³</p>
<p>Konvensyen Basel (1989)</p>	<p>Konvensyen Basel memperuntukkan bahawa perdagangan antarabangsa dalam sisa berbahaya adalah tertakluk kepada persetujuan, atau penolakan, negara penerima terlebih dahulu. Tidak jelas sama ada CO₂ merupakan sisa berbahaya dalam skop Konvensyen Basel. Tanpa penjelasan lanjut, ini seterusnya boleh mencabar prosedur dengan mengenakan syarat yang lebih ketat untuk pengangkutan CO₂ merentasi sempadan antarabangsa.</p>
<p>Konvensyen mengenai Penilaian Kesan Alam Sekitar dalam Konteks Rentas Sempadan (“Konvensyen Espoo”)</p>	<p>Konvensyen Espoo menghendaki pihak-pihak untuk menilai kesan alam sekitar aktiviti rentas sempadan mereka semasa peringkat awal perancangan projek dan mengambil semua langkah yang sesuai untuk mengurangkan kesan buruk merentas sempadan yang ketara. Aktiviti berkaitan CCUS dan CO₂ tidak disenaraikan secara jelas sebagai aktiviti dilindungi, tetapi projek CCUS mungkin tertakluk kepada keperluan konvensyen jika ia dijalankan di dalam wilayah, atau oleh, pihak konvensyen dan memenuhi kriteria di bawah Lampiran III konvensyen. Konvensyen Espoo mempunyai 45 Pihak Pejanji, tetapi pada masa ini tiada di Rantau Asia-Pasifik.¹⁴</p>

Konvensyen mengenai Akses kepada Maklumat, Penyertaan Awam dalam Membuat Keputusan, dan Akses kepada Keadilan dalam Hal-hal Alam Sekitar (Konvensyen Aarhus)

Konvensyen Aarhus mengenakan keperluan penyertaan awam ke atas ahli dalam skop wilayah konvensyen untuk aktiviti yang mungkin mempunyai kesan ketara terhadap alam sekitar. Konvensyen Aarhus mempunyai 48 Pihak Pejanji, tetapi pada masa ini tiada di Rantau Asia-Pasifik.¹⁵

Protokol London paling kerap dibincangkan dalam konteks pengangkutan CO₂ rentas sempadan di rantau Asia. Dua contoh di bawah menggambarkan bagaimana negara yang telah meratifikasi Protokol London (sebagai Pihak Pejanji) boleh bekerjasama dan bagaimana negara yang telah meratifikasi Protokol (sebagai Pihak Pejanji) dan negara yang belum (sebagai Pihak Bukan Pejanji) boleh bekerjasama.



Pengangkutan CO₂ antara Dua Pihak Pejanji Protokol London



Projek Greensand memulakan suntikan CO₂ pada Mac 2023, menandakan projek CCS rentas sempadan luar pesisir yang pertama di dunia. CO₂ yang ditangkap di Antwerp, Belgium, telah dihantar ke medan minyak Nini West yang telah habis di pelantar benua Denmark untuk suntikan.¹⁶ Fasa pertama projek ini dijalankan secara perintis. Pemilihan dan pencirian tapak telah dilakukan mengikut ISO 27914 pada penyimpanan geologi (dirujuk di atas) dan selepas itu perintis telah dilaksanakan.¹⁷ Keputusan pelaburan yang muktamad masih belum selesai. Sekiranya projek ini bergerak ke hadapan, permit penyimpanan berskala penuh akan diperlukan. Projek ini boleh menyimpan sehingga 1.5 Mt CO₂ setahun bermula pada 2025/2026, dengan potensi peningkatan skala sehingga 8 Mt CO₂ setahun pada tahun 2030.¹⁸ Denmark dan Belgium adalah Pihak Pejanji kepada Protokol London. Memorandum Persefahaman (MoU) antara Belgium dan Denmark adalah pengaturan pertama menurut Artikel 6.2 Protokol London.¹⁹ MoU yang tidak mengikat secara sah adalah peringkat tinggi, mengenal pasti agensi yang membenarkan di kedua-dua negara dan mengesahkan tujuan dan skop, serta mengesahkan hasrat untuk melaksanakan aktiviti menurut undang-undang dan peraturan yang terpakai, tanpa mendalami projek secara spesifik.²⁰ MoU tersebut dianggap mematuhi keperluan Artikel 6.2, dan format tersebut dipilih dalam MoU berikutnya antara Belanda dan Denmark. Pihak Pejanji Lain sedang mempertimbangkan perjanjian yang lebih komprehensif dan mengikat secara sah.



Pengangkutan antara Pihak Pejanji dan Bukan Pejanji Protokol London

Diketuai oleh syarikat Australia Santos, Timor Gap (syarikat minyak milik negara Timor-Leste) telah menandatangani MoU untuk usaha sama Bayu-Undan.²¹ Medan Bayu-Undan terletak di luar pesisir di pelantar benua Timor-Leste, dengan potensi kapasiti penyimpanan sehingga 10 MPTA. Australia adalah Pihak Pejanji kepada Protokol London, manakala Timor-Leste tidak. Perkara 6.2 adalah lebih preskriptif untuk kes-kes antara Pihak Pejanji dan Bukan Pejanji berbanding pengaturan atau perjanjian antara dua Pihak Pejanji. Sebagai Pihak Berjanji, Australia perlu memastikan perjanjian/peraturannya dengan Timor-Leste mengandungi “peruntukan sekurang-kurangnya setara dengan yang terkandung dalam Protokol ini, termasuk yang berkaitan dengan pengeluaran permit dan syarat permit untuk mematuhi peruntukan Lampiran 2, bagi memastikan perjanjian atau pengaturan itu tidak mengurangkan kewajipan Pihak Pejanji di bawah Protokol ini untuk melindungi dan memberi perkhidmatan kepada persekitaran laut”. Oleh itu, Australia perlu menjalankan proses usaha wajar rangka kerja undang-undang Timor-Leste untuk penyimpanan CO₂ bagi mengesahkan kepada Pihak Pejanji yang lain bahawa dengan mengeksport CO₂ ke Timor-Leste, Australia masih memenuhi kewajibannya di bawah Protokol London. Pada masa ini, Timor-Leste masih membangunkan rangka kerja kawal selia untuk penyimpanan²² CO₂ dan menjadikan proses usaha wajar ini mencabar.

7. Rangka Kerja Khusus Projek

Ringkasan Penting

- Di peringkat projek, pembuat dasar dan pengawal selia harus memahami set kontrak yang diperlukan oleh projek CCUS yang biasa, dan cara bagaimana kontrak ini memperuntukkan risiko.
- Kebanyakan jika tidak semua kontrak ini akan merujuk kepada undang-undang dan peraturan sesebuah negara, walaupun ini bukan CCUS khusus.
- Kebolehpasaran projek CCUS mungkin akan ditentukan oleh sifat hak harta yang diberikan oleh rangka kerja domestik, seperti hak ke atas ruang liang, atau hak untuk kredit karbon yang dijana oleh projek.

Pengenalan

Bab 6 menerangkan sumber untuk membangunkan rangka kerja, termasuk piawaian, rangka kerja penggerak awal dan konvensyen antarabangsa. Sesetengah ekonomi sedang pesat membangun bergerak ke hadapan dengan rangka kerja undang-undang dan kawal selia CCUS pada tahap khusus projek. Kaedah ini secara amnya boleh memberikan pendekatan yang cerdas dengan menangani isu utama untuk rangka kerja CCUS tanpa proses kelulusan merentas kementerian yang panjang yang mungkin diperlukan untuk undang-undang/peraturan CCUS berdiri sendiri yang baharu. Negara yang menerima pakai peraturan khusus projek masih boleh berusaha untuk meminda undang-undang/peraturan sedia ada secara selari dan menggunakan peraturan khusus projek sebagai perintis.

Memanfaatkan rangka kerja mungkin melibatkan pelaksanaan piawaian, prosedur kebenaran baharu atau garis panduan. Senarai pertimbangan yang tidak lengkap untuk rangka kerja CCUS digariskan di bawah.

Pertimbangan utama untuk rangka kerja CCUS

- Objektif untuk penerahan CCUS di negara
- Keperluan pelaporan pelepasan (pelepasan udara yang ditangkap, kebocoran CO₂, sisa berbahaya, dll.)
- Hak harta, penggunaan tanah, dan akses untuk pengangkutan dan penyimpanan
- Liabiliti penyimpanan
- Permit Rangkaian Bekalan CCUS
- Pemantauan, pengesahan, kuantifikasi
- Keperluan pelaporan dan pengekalan dokumentasi
- Klasifikasi CO₂ (sisa, komoditi, berbahaya/toksik)
- Keperluan komposisi aliran dan pencirian CO₂
- Pengurusan dan liabiliti jangka pendek dan panjang bagi tapak simpanan yang berpotensi
- Pemilikan CO₂ dan kontrak pihak swasta
- Penilaian Alam Sekitar
- Libat urus komuniti, termasuk pertimbangan keadilan alam sekitar, rancangan faedah komuniti
- Memadankan sumber CO₂ dengan tapak simpanan geologi kekal (juga dikenali sebagai 'Hab dan Kelompok')
- Keperluan kandungan tempatan
- Cukai untuk projek CCUS (cth., peraturan susut nilai dan insentif cukai)



Projek Sleipner Norway dan Tomakomai Jepun

Projek CCUS komersial telah diteruskan tanpa rangka kerja perundangan/kawal selia yang komprehensif termasuk projek Tomakomai di Jepun dan Sleipner di Norway.



Rajah 7.1: Projek Demonstrasi CCUS Tomakomai. (Foto ihsan IEA (2021), CCUS di seluruh dunia pada tahun 2021, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/ccus-around-the-world-in-2021>, Lesen: CC BY 4.0)

Asia: Tomakomai, sebuah projek demonstrasi CCUS luar pesisir yang diketuai oleh Japan CCS Co. Ltd., telah ditauliahkan pada tahun 2012 oleh Kementerian Ekonomi, Perdagangan dan Industri (METI), dan pada tahun 2018 oleh Pertubuhan Pembangunan Teknologi dan Tenaga Baharu.¹ Oleh kerana Jepun tidak mempunyai undang-undang khusus CCUS semasa Tomakomai dilancarkan, undang-undang dan peraturan sedia ada yang mengawal operasi itu digunakan atau dipinda.

Sebagai contoh, Akta Pencegahan Pencemaran Lau dan Bencana Maritim telah dipinda untuk mengawal selia penyimpanan CO₂ luar pesisir selaras dengan pindaan 2006 kepada Protokol London.² Akta tersebut memerlukan permit yang dikeluarkan oleh Menteri Alam Sekitar untuk penyimpanan CO₂ di bawah dasar laut, dan permohonan permit memerlukan pelan projek, pelan pemantauan, dan laporan penilaian kesan alam sekitar.³ Tambahan pula, Akta Perlombongan dan Akta Keselamatan Perlombongan telah digunakan untuk memastikan piawaian keselamatan bagi operasi suntikan dan penyimpanan CO₂.⁴ METI turut membangunkan garis panduan, 'Operasi Selamat Projek Demonstrasi CCS',⁵ dan 'Manual Piawaian Pengurusan Takungan Semasa suntikan CO₂' telah disediakan dan digunakan. Manual ini mengambil kira peraturan CCUS, piawaian teknikal dan garis panduan antarabangsa.⁶ Peruntukan untuk liabiliti jangka panjang, penutupan tapak dan pemindahan liabiliti tersebut belum lagi diwujudkan di Jepun tetapi sedang dibangunkan sebagai sebahagian daripada program pengawalseliaan berterusan oleh kerajaan. Negara ini terus berusaha ke arah rangka kerja CCUS yang lebih komprehensif.



Rajah 7.2: Projek Sleipner. (Foto ihsan Gullfaks B. Av Ole Jørgen Bratland. CC BY SA 3.0. <https://snl.no/Equinor>)

Eropah. Dalam projek Sleipner Norway, CO₂ telah disuntik ke luar pesisir dalam formasi bergaram bawah laut selama lebih daripada 25 tahun.⁷ Projek Sleipner memisahkan CO₂ daripada gas asli yang dihasilkan di platform luar pesisir. CO₂ kemudiannya disuntik dan disimpan dalam formasi Utsira luar pesisir bersebelahan di bawah dasar laut.⁸ Projek ini telah dimulakan pada tahun 1996, lama sebelum Norway melaksanakan rangka kerja kawal selia CCUS khusus pada tahun 2014.⁹ Projek ini dimulakan di bawah rangka kerja minyak dan gas sedia ada; walau bagaimanapun, aktiviti CCUS telah ditangani di bawah Rancangan Pembangunan dan Operasi sebelum operasi gas dimulakan. Selepas rangka kerja baharu diluluskan, penaja projek memohon, dan telah diberikan, permit yang telah dikemas kini.¹⁰ Projek ini berjaya mengalihkan operasi projek di bawah rangka kerja baharu.¹¹

Kajian kes di atas menetapkan cara bagaimana rangka kerja bukan CCUS sedia ada digunakan untuk menjalankan projek CCUS di Jepun dan Norway.

Apabila memulakan proses merangka rangka kerja undang-undang/kawal selia CCUS, sertakan pakar kesihatan dan keselamatan, alam sekitar dan industri yang berpengalaman dalam kedua-dua teknologi dan rangka kerja undang-undang. Walaupun terdapat cara yang berbeza untuk mula merangka perundangan, secara amnya terdapat lima komponen utama:

- Mengesahkan (mencapai kesan undang-undang yang dimaksudkan)
- Memformalkan (pilih rang undang-undang yang betul)
- Mengintegrasikan (menghubungkan undang-undang baharu dengan undang-undang sedia ada)
- Menyusun (susun teks perundangan dengan sewajarnya)

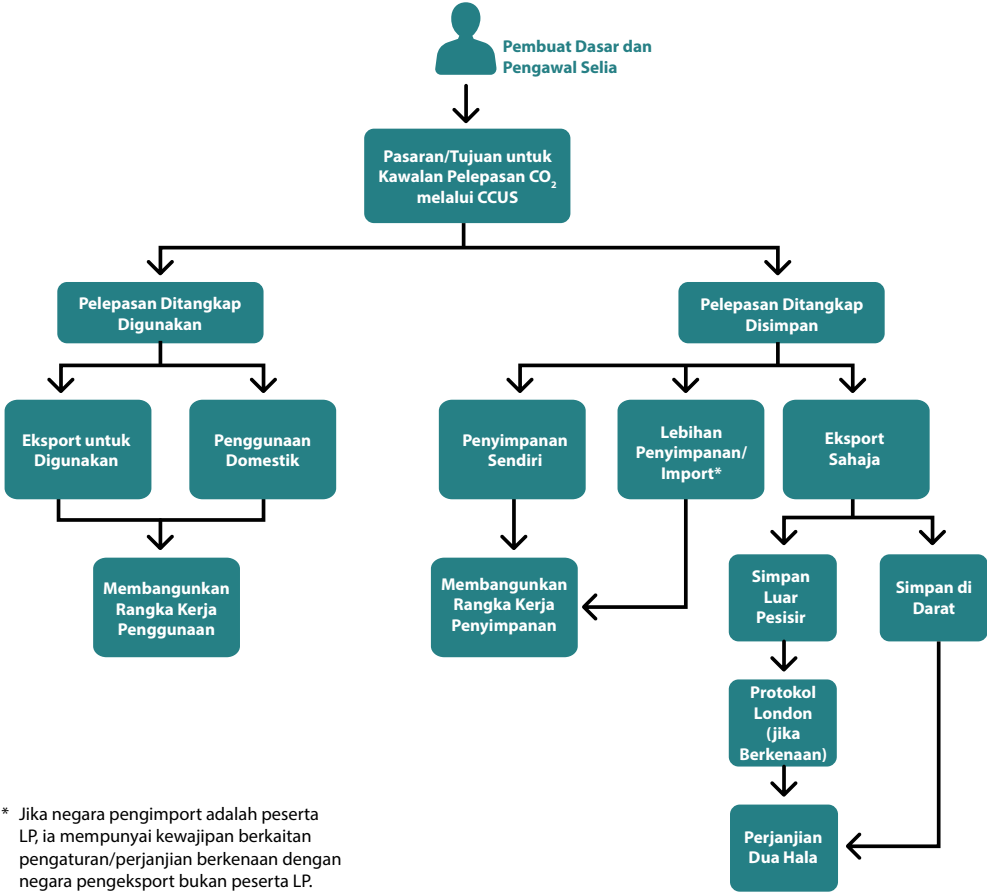
→ Menjelaskan (mencapai kejelasan ungkapan)¹²

Rangka peraturan atau undang-undang mestilah sesuai untuk tujuan, boleh difahami dan boleh dikuatkuasakan dalam bidang kuasa di mana ia terpakai. Proses merangka boleh berbentuk preskriptif (menetapkan keperluan atau piawaian yang mesti dipenuhi oleh pengendali) atau berasaskan prestasi (menyediakan kriteria yang mesti dipenuhi oleh pengendali). Terdapat banyak sumber berguna yang tersedia untuk membantu proses merangka seperti piawaian antarabangsa, rangka kerja sedia ada, dll. yang dikongsi dengan lebih terperinci dalam Bab 6: Sumber dan Tanggungjawab untuk Rangka Kerja.

Penyediaan rangka kerja haruslah proses membina yang merangkumi maklumat dan pengajaran yang dipelajari daripada projek sebenar. Menggunakan sumber, rangka kerja model, amalan terbaik dan pengajaran yang diperolehi daripada negara lain boleh mempercepatkan proses merangka dan pemetaan isu dan penyelesaian yang berpotensi untuk cabaran teknikal dan komersial dalam industri CCUS. Walau bagaimanapun, semua negara mempunyai ciri dan cabaran unik mereka sendiri; oleh itu, ujian perintis mana-mana rangka kerja adalah bahagian penting dalam pelaksanaan.

Projek demonstrasi akan menguji fleksibiliti dan kesesuaian instrumen undang-undang dan rejim permit dan membantu menentukan sebarang jurang peraturan.¹³ Projek demonstrasi juga membolehkan libat urus antara pemaju projek, pengawal selia dan pegawai kerajaan yang lain, yang boleh meningkatkan kerjasama dan menyokong penggabungan pelajaran yang dipelajari. Projek demonstrasi Longship Norway ialah satu contoh projek yang digunakan untuk menguji rangka kerja undang-undang baharu untuk CCUS. Longship ialah projek pertama yang telah dibangunkan di bawah rangka kerja CCUS khusus. Beberapa cabaran dan isu yang tidak dijangka telah dikenal pasti, dan pada tahap tertentu, ditangani sebagai akibat daripada projek tersebut.¹⁴

Rajah 7.1 ialah ilustrasi pokok keputusan untuk membangunkan rangka kerja penggunaan atau penyimpanan, bersama-sama dengan Langkah 1 hingga 6 yang diterangkan oleh Bab 5, 6, dan 7 dalam Buku Panduan ini.



* Jika negara pengimport adalah peserta LP, ia mempunyai kewajipan berkaitan pengaturanan/perjanjian berkenaan dengan negara pengekspor bukan peserta LP.

Rajah 7.1: Laluan keputusan untuk mencipta rangka kerja. (Protokol London dibincangkan dalam Bab 6: Sumber dan Tanggungjawab untuk Rangka Kerja)

Amalan Terbaik untuk Rangka Kerja Khusus Projek

Sumber yang diterangkan di atas boleh menyokong pembangunan rangka kerja perundangan dan kawal selia antarabangsa atau domestik. Di peringkat projek, terdapat juga set instrumen dan kontrak undang-undang untuk dipertimbangkan.

Seperti yang ditunjukkan dalam rajah di bawah (Rajah 7.2), terdapat beberapa peserta utama dan jenis kontrak yang berbeza yang biasanya diperlukan untuk projek penyimpanan. Ini hanyalah satu jenis model untuk projek. Mana-mana syarikat yang menjalankan CCUS perlu menentukan sejauh mana ia akan disepadukan secara menegak dalam rantaian nilai. Pemaju projek, secara berasingan daripada pelepas, boleh mengawasi sebahagian atau seluruh rantaian nilai CCUS, supaya syarikat penangkapan/pengangkutan/penyimpanan (hulu/tengah/hilir) mungkin berbilang atau entiti tunggal. Beberapa instrumen adalah serupa dengan kontrak yang diperlukan untuk sektor kuasa, seperti yang digambarkan dalam Buku Panduan Perjanjian Memahami Pembelian Kuasa CLDP.¹⁵

- **Permit dan Dokumen Berkaitan.** Memberi pemaju projek (pemilik/pengendali) hak untuk menyuntik CO₂ untuk simpanan kekal. Lazimnya, pengawal selia akan memerlukan pemaju untuk menyediakan maklumat pencirian tapak, penilaian kesan alam sekitar, rancangan untuk memantau tapak semasa suntikan dan rancangan untuk pengurusan tapak selepas penutupan.
- **Perjanjian Perkhidmatan Pengangkutan dan Penyimpanan.** Mewajibkan pemaju untuk mendapatkan permit yang diperlukan, termasuk yang diperlukan untuk saluran paip, untuk menjalankan operasi di tapak sebagai syarat syarikat pertengahan yang menyediakan CO₂. Perjanjian ini juga

mungkin memerlukan pemaju mematuhi protokol untuk mendapatkan insentif seperti kredit cukai pengeluaran penyilang, [anaan atau insentif penyimpanan lain.

- **Perjanjian Pengambilan.** Mewajibkan syarikat huluan (cth., entiti yang menangkap CO₂) untuk menyediakan CO₂ pada spesifikasi dan isipadu tertentu. Perjanjian ini boleh memasukkan klausa ‘ambil atau bayar’ supaya pemaju/pengendali penyimpanan akan memberi pampasan kepada syarikat huluan walaupun operasi pengangkutan atau penyimpanan CO₂ terganggu.
- **Perjanjian Ruang Liang/Tanah/Akses.** Mentadbir pajakan/konsesi untuk akses harta permukaan atau ruang liang di mana tapak penyimpanan akan dibangunkan. Ini boleh berlaku melalui pembelian, pajakan atau boleh dikeluarkan oleh pemilik ruang liang melalui pelepasan sumber penyimpanan yang telah dirancang atau melalui pembidaan.
- **Kontrak Kejuruteraan, Perolehan dan Pembinaan (EPC).** Menetapkan terma dan syarat untuk reka bentuk tapak penyimpanan, perolehan bahan dan peralatan serta pembinaan tapak. Kewajipan yang dibuat di bawah perjanjian ini juga boleh dibahagikan antara beberapa kontrak yang merangkumi satu atau lebih skop ini.
- **Perjanjian Pinjaman.** Mewujudkan kewajipan pemberi pinjaman untuk membiayai projek penyimpanan, serta kewajipan pemaju projek untuk mematuhi pelbagai perjanjian dalam perjanjian pinjaman.
- **Perjanjian Pembelian Karbon.** Mentadbir syarat antara pemaju dan pembeli kredit karbon yang dihasilkan daripada projek penyimpanan. Penggunaan pasaran karbon dibincangkan dengan lebih lanjut dalam Bab 6: Sumber dan Tanggungjawab untuk Rangka Kerja.
- **Perjanjian Konsesi.** Memberi hak kepada pemaju projek untuk membangun, membiayai, membina dan mengendalikan

projek penyimpanan. Ini amat penting apabila pemaju projek bukan pemaju tempatan di negara ini.

- **Pelan Pengurusan Suntikan dan Selepas Penutupan.** Sebelum suntikan, pemaju projek mungkin dikehendaki menunjukkan bukti keselamatan kewangan kepada negeri. Dana yang dikenakan faedah ini boleh digunakan oleh kerajaan untuk menampung kos pengurusan beberapa tahun selepas penutupan tapak. Dalam sesetengah keadaan, negeri mungkin membenarkan pemindahan pengurusan jangka panjang daripada pemaju kepada dirinya sendiri selepas pemaju memenuhi keperluan tertentu selepas penutupan.

Digabungkan dengan libat urus komuniti dan rangka kerja undang-undang dan kawal selia, instrumen kewangan juga merupakan kunci untuk membolehkan kejayaan projek CCUS.

8. Kewangan dan Insentif

Ringkasan Penting

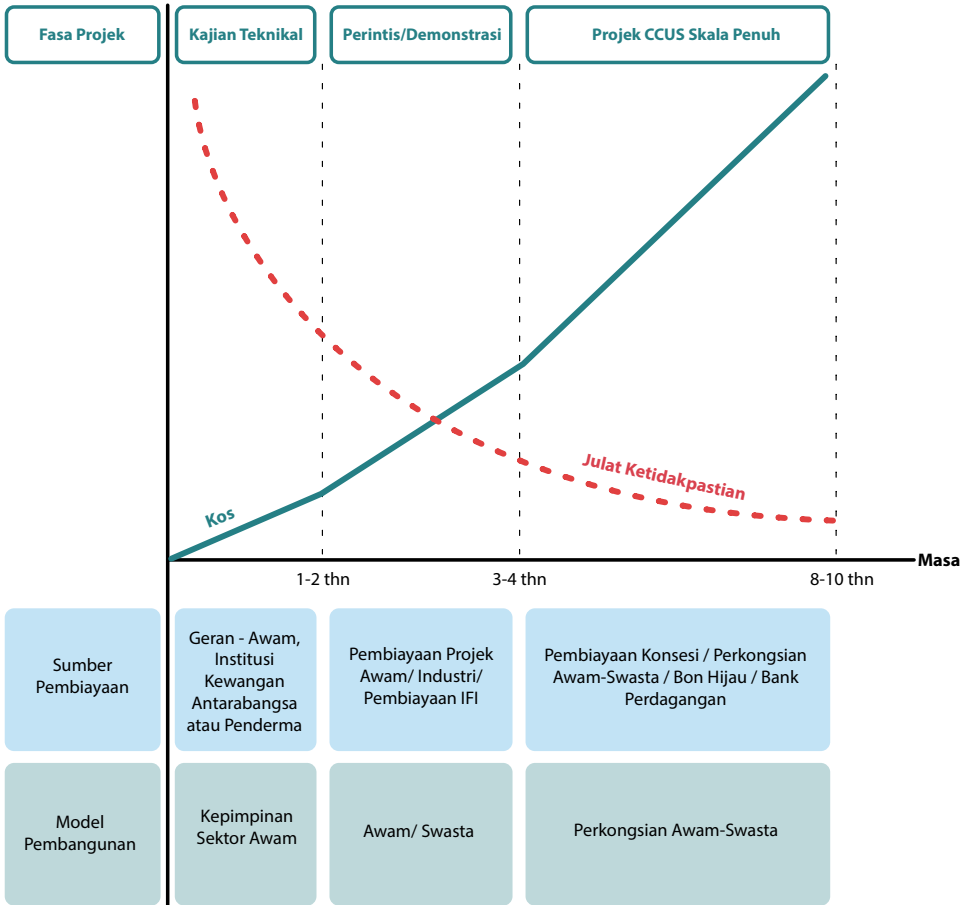
- Kebanyakan karbon yang dihasilkan mesti dilupuskan secara kekal. Pelabur dan pengendali projek CCUS akan diberi insentif untuk membina dan mengendalikan projek CCUS apabila terdapat sebab ekonomi untuk menangkap, mengangkut dan menyimpan sisa karbon. Karbon yang ditangkap mesti mempunyai nilai.
- Bagi pembuat dasar dan pengawal selia yang ingin memberi insentif kepada pelaburan ke dalam projek CCUS, terdapat beberapa cara untuk mencipta nilai daripada penangkapan/karbon yang disimpan. Ini termasuk kredit cukai, cukai karbon ke atas pelepasan, skim had dan dagang untuk pelepasan, dan keperluan pengawalseliaan yang menghadkan jumlah karbon yang boleh dikeluarkan (dan dengan itu mendorong pelaburan ke dalam CCUS untuk memenuhi ambang sedemikian). Pasaran karbon sukarela juga mungkin menjadi sumber nilai untuk projek CCUS.
- Walau bagaimanapun, pembuat dasar harus menyedari akibat yang tidak diingini daripada pilihan dasar mereka, dan bersedia untuk menyesuaikan insentif fiskal sebaik sahaja akibat ini menjadi jelas.
- Untuk mengurangkan kos modal, pelabur dan pengendali projek CCUS mungkin mempunyai akses kepada pinjaman dan instrumen kewangan lain yang terikat dengan objektif iklim.

Pengenalan

Bab ini membincangkan instrumen dan mekanisme kewangan bagi pembuat dasar untuk dipertimbangkan apabila menetapkan strategi dan rangka kerja penggunaan dan penyimpanan karbon (CCUS). Ia juga menggariskan beberapa alat kewangan yang boleh dipertimbangkan oleh negara dan pemaju projek untuk memajukan projek CCUS, termasuk pinjaman bank, cukai/insentif karbon, pelarasan sempadan dan pasaran karbon.

Apabila membangunkan instrumen dan mekanisme ini, adalah penting untuk mempertimbangkan peringkat pembangunan projek yang berbeza dan bagaimana insentif boleh membantu memajukan setiap peringkat, sebahagian besarnya dengan mengurangkan kos dan risiko. Grafik berikut menunjukkan peningkatan skala projek yang lazim daripada kajian teknikal dan perintis untuk demonstrasi dan penggunaan komersial berskala penuh. Ia juga menjejaki peringkat ini kepada peranan perkongsian awam-swasta yang berbeza dan jenis insentif serta mekanisme pembiayaan yang boleh digunakan pada setiap peringkat. Industri mungkin boleh meneruskan projek ini tanpa sokongan R&D, seperti bergantung pada pengalaman RD&D dari negara lain.

Daripada perspektif projek demonstrasi dan komersial, perancangan kewangan untuk projek CCUS merangkumi pelbagai fasa yang dinyatakan dalam Rajah 8.1. Pada awal hayat projek, kos dianggarkan dan ditapis untuk perbelanjaan modal dan operasi berdasarkan Kajian Kejuruteraan Bahagian Hadapan (FEED). Apabila projek matang, kos projek yang dijangka akan diperhalusi lagi sepanjang semua peringkat projek. Oleh kerana CCUS secara amnya tidak menghasilkan produk langsung atau mencipta pendapatan projek, beberapa jenis mandat kawal selia mungkin diperlukan untuk membolehkan keputusan pelaburan yang positif.



Rajah 8.1: Cara RD&D menyokong pembangunan awal dalam perkongsian awam-swasta. Harshit Agrawal, Kumpulan Bank Dunia, November 2023, Memangkin Penggunaan CCUS di Negara-negara Membangun (slaid PowerPoint).

Ekonomi Projek CCUS

Pemahaman tentang ekonomi projek CCUS adalah penting untuk membantu pembuat dasar membentuk insentif untuk menggalakkan penerahan projek. Projek CCUS boleh memiliki modal permulaan yang besar dan kos operasi dan penyelenggaraan (O&M) tahunan jangka panjang. Pemahaman tentang kos ini adalah penting dalam mengukur tahap insentif pada fasa berlainan projek untuk menyokong pembangunan komersial yang meluas. Sebagai contoh, kos modal permulaan dan pembinaan loji penangkapan karbon adalah antara \$50J USD hingga \$1B USD bergantung pada sumber dan isipadu CO₂ yang diperlukan untuk ditangkap.¹ Ini secara amnya merupakan perbelanjaan sekaligus terbesar untuk projek CCUS. Operasi saluran paip pengangkutan dan penyimpanan jarak jauh juga memerlukan perbelanjaan modal yang besar. Akses kepada tapak penyimpanan yang berhampiran dengan projek tangkapan biasanya paling diingini dari segi jumlah kos projek memandangkan perbelanjaan pengangkutan boleh dikurangkan. Setiap projek akan mempunyai atribut unik yang akan menjadikan profil kos agak berbeza.

Projek CCUS harus dinilai dengan cara yang konsisten dengan ekonomi am dan prinsip kewangan projek. Matlamat analisis projek adalah untuk menentukan hasil masa hadapan dan jumlah modal serta kos O&M (Operasi & Penyelenggaraan) dari semasa ke semasa. Bersama-sama dengan hasil dan kos, penilaian profil risiko bagi setiap komponen juga perlu untuk memahami bagaimana potensi perubahan dalam keadaan pasaran dan peraturan boleh mempengaruhi aliran tunai projek.

Hasil untuk projek sebahagian besarnya didorong oleh tindakan kerajaan. Tindakan ini mungkin dalam bentuk mandat (cth., cukai karbon dan mandat alam sekitar), atau insentif (cth., perbelanjaan langsung kerajaan, kredit cukai dan perkhidmatan

kewangan). Dalam sesetengah kes yang terhad, hasil daripada penjualan CO₂ untuk penggunaan berpotensi boleh membantu mewajarkan kos projek, seperti dalam kes CCUS awal melalui pembangunan CO₂-EOR di Amerika Syarikat.

Kebolehpasaran dan Pengurangan Risiko Kewangan CCUS

Tindakan Kerajaan untuk CCUS

Terdapat satu set pendekatan ekonomi yang boleh digunakan oleh kerajaan untuk memberi insentif kepada pengurangan atau penyingkiran pelepasan CO₂ melalui CCUS. Mandat termasuk mengenakan cukai karbon atau mewajibkan peraturan tentang proses industri/kuasa untuk mengurangkan pelepasan. Insentif termasuk perbelanjaan R&D, geran atau pembiayaan kerajaan melalui perjanjian kerjasama, pelaburan langsung dan insentif pengeluaran, kredit cukai pengeluaran (PTC), dan kredit cukai pelaburan (ITC), dan membina permintaan untuk produk dinyahkarbon melalui peraturan atau insentif.

Cukai Karbon

Cukai karbon ialah mekanisme di mana pelepasan CO₂ dikenakan cukai berdasarkan isipadu, impak dan/atau sumbernya. Pertimbangan penting dalam dasar cukai karbon ialah memasukkan langkah mitigasi seperti CCUS atau aktiviti negatif bersih seperti CDR.

Tahap cukai boleh ditetapkan oleh kerajaan dan telus dan boleh diramal, serta memberikan harga yang stabil bagi pelepasan. Walau bagaimanapun, jenis dasar ini boleh mengakibatkan anggaran tindak balas pasaran yang kurang/lebih terhadap

cukai, dan risiko kebocoran karbon (iaitu, operasi dipindahkan ke luar negara atau wilayah ke bidang kuasa tanpa atau dengan cukai yang lebih rendah).

Pada tahun 2012, Jepun melaksanakan cukai karbon sebagai sebahagian daripada dasar pembaharuan cukai keseluruhan.² Cukai di negara Jepun dikenakan kepada sektor bahan api fosil. Walau bagaimanapun, kerajaan telah melanjutkan beberapa pengecualian dan langkah pembayaran balik ke atas kadar cukai karbon untuk produk bahan api fosil yang digunakan dalam industri intensif tenaga tertentu, seperti pertanian, pengangkutan awam, industri petrokimia dan loji kuasa arang batu. Singapura juga telah melaksanakan cukai karbon pada tahun 2019, bermula pada \$5/tan setara CO₂, dengan peningkatan tambahan sehingga \$50-85/tan setara CO₂ menjelang tahun 2030.³

Had dan dagang

Sistem had dan dagang menetapkan jumlah maksimum pelepasan yang dibenarkan. Elaun, atau kebenaran untuk pelepasan, akan dijual di pasaran yang kompetitif kepada pembina tertinggi. Langkah-langkah mitigasi juga boleh menjadi sebahagian daripada sistem pasaran mandatori di mana transaksi antara pelepas dan pengurang boleh berlaku (lihat kajian kes mengenai Skim Perdagangan Pelepasan Kesatuan Eropah di bawah). Sistem had dan dagang mempunyai manfaat untuk membenarkan nilai karbon berubah-ubah berdasarkan permintaan untuk pelepasan dan bekalan untuk mitigasi. Kelemahan sistem sedemikian ialah potensi turun naik dalam pasaran dan dengan itu mengurangkan kepastian risiko dan hasil untuk projek CCUS.



Had dan Dagang Skim Perdagangan Pelepasan Kesatuan Eropah

Skim Perdagangan Pelepasan Kesatuan Eropah (ETS), telah dilaksanakan di semua 27 buah Negara Anggota Kesatuan Eropah serta negara Persatuan Perdagangan Bebas Eropah (Iceland, Liechtenstein dan Norway).⁴ Rejim ETS memperuntukkan had jumlah pelepasan, di mana satu tan pelepasan yang dibenarkan dinyatakan sebagai elaun. Pelepas mesti menyerahkan (dan membayar) elaun yang setara dengan pelepasan mereka. Jika mereka gagal melakukan ini, mereka akan dikenakan denda.⁵ Jika mereka mengeluarkan kurang daripada yang dibenarkan, rejim ETS membenarkan pelepas untuk berdagang (menjual) lebih elaun kepada pelepas lain. Jika pelepas mengurangkan atau mengalih keluar pelepasan melalui CCUS, ETS mengiktiraf CO₂ sebagai tidak dilepaskan. Ini menyebabkan mereka tidak diberi mandat untuk menyerahkan elaun untuk isipadu dikeluarkan atau dikurangkan. Risiko pemindahan pelepasan daripada pelepas apabila CO₂ dipindahkan sama ada ke kemudahan penangkapan, pemindahan atau penyimpanan atau jika CO₂ dipindahkan keluar dengan mengikat secara kimia secara kekal dalam produk (iaitu, CO₂ tidak boleh memasuki atmosfera di bawah penggunaan biasa produk).⁶

ETS tidak meliputi semua jenis pelepasan, dan beberapa negara sedang melaksanakan cukai karbon untuk memberi insentif kepada pengurangan pelepasan di luar ETS. Walau bagaimanapun, ETS tidak mengecualikan Negara Anggota EU daripada melaksanakan cukai karbon sebagai tambahan kepada had dan perdagangan untuk pelepasan yang terdiri daripada ETS. Di Norway, elaun ETS disusun di atas cukai CO₂ Norway untuk sektor minyak dan gas luar pesisir, mewujudkan insentif yang menarik untuk melibatkan diri dalam CCUS dan bukannya mengeluarkan CO₂.⁷

Peraturan Pelepasan Proses Perindustrian / Loji Kuasa

Sekatan kawal selia langsung ke atas pelepasan boleh digunakan secara bersendirian atau digabungkan dengan mekanisme lain, seperti had dan perdagangan seperti yang diterangkan di atas. Ini memerlukan pelepasan untuk melaksanakan langkah kawalan pelepasan⁸ atau mengurangkan atau menghapuskan sumber pelepasan (cth., penamatan aset secara paksa atau CCUS) dan memerlukan pematuhan piawaian prestasi. Peraturan jenis ini boleh dilakukan berdasarkan asas keseimbangan jisim (jisim pelepasan yang dibenarkan/input bahan api proses), asas prestasi produk akhir (unit jisim pelepasan/pengeluaran yang dibenarkan), atau asas keseimbangan kasar (jisim pelepasan yang dibenarkan setiap tempoh masa). Contoh peraturan jenis ini ialah cadangan peraturan A.S. “Piawaian Prestasi Sumber Baharu untuk Pelepasan Gas Rumah Hijau daripada Unit Penjanaan Elektrik Bahan Api Fosil Baharu, Diubahsuai dan Dibina Semula”.⁹ Peraturan itu mengandungi keperluan untuk pemasangan peralatan penangkapan karbon di loji kuasa. Antara contoh lain, Arab Saudi sedang mempertimbangkan untuk mewajibkan semua loji gas baharu mempunyai CCS, atau sekurang-kurangnya ‘tersedia untuk tangkapan CO₂’.¹⁰

Perbelanjaan RD&D

Laluan yang berpotensi untuk memberi insentif kepada penderahan CCUS adalah untuk kerajaan menjalankan aktiviti penyelidikan, pembangunan dan penderahan (RD&D) untuk memajukan pengetahuan tempatan dan global tentang teknologi CCUS. Program RD&D yang mantap kini tersedia di Amerika Syarikat, Eropah, Kanada, Australia dan Jepun untuk membantu dalam penggunaan CCUS. Ssetengah daripada program ini sebahagiannya dibiayai oleh insentif, seperti cukai atau elaun lebihan.¹¹

Penggunaan program RD&D baharu harus didahului dengan pengenalanpastian keperluan dan peluang sasaran yang mantap. Kajian semula yang konsisten oleh pakar luar mungkin diperlukan untuk memastikan pembiayaan digunakan secara cekap dan produktif. Program-program ini adalah berharga dalam menggalakkan industri untuk melakukan tindakan yang diinginkan. Penggerak awal boleh diberi ganjaran dengan geran RD&D, pelepasan cukai yang menggalakkan, dsb. untuk memacu penggunaan. Infrastruktur daripada projek RD&D mungkin boleh digunakan untuk penerahan komersial masa hadapan. Antara contoh mungkin termasuk penggunaan telaga yang digerudi untuk kajian pencirian tapak geologi.

Bank Pembangunan Pelbagai Hala

Bank Pembangunan Pelbagai Hala, seperti Bank Pembangunan Asia (ADB) dan Kumpulan Bank Dunia, menyediakan pelbagai sumber kepada negara membangun untuk memudahkan pembangunan infrastruktur CCUS (lihat kajian kes berikut mengenai Sokongan ADB terhadap CCUS di Republik Rakyat China) . Seperti yang diringkaskan di bawah, sumber ini termasuklah geran untuk menjalankan kajian kebolehlaksanaan dan merangka dasar yang berkaitan, mencipta penerbitan perkongsian pengetahuan, acara seperti lawatan sambil belajar, pinjaman konsesi dan mewujudkan dana khas untuk menggerakkan kewangan karbon.

Amalan terbaik utama untuk menggerakkan sokongan daripada bank adalah dengan menyatakan secara jelas bahawa sesebuah negara mahu bank terlibat dalam mempercepatkan CCUS dan meminta bantuan daripada bank sepanjang kitaran hayat projek, daripada urusan persediaan kepada membiayai projek CCUS demonstrasi. Wakil daripada pelbagai bank ini juga telah berkongsi kesediaan mereka untuk mengadakan perbincangan secara terus dengan kerajaan sebelum permohonan rasmi diterima.

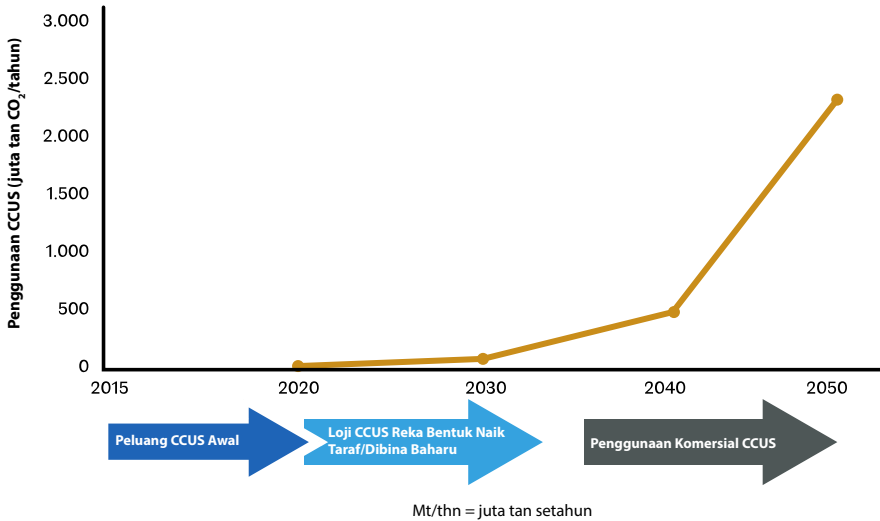


Sokongan ADB terhadap CCUS di Republik Rakyat China (PRC)

Sejak tahun 2009, PRC telah bekerjasama dengan Bank Pembangunan Asia (ADB) untuk meningkatkan kesedaran tentang CCUS melalui produk pengetahuan, bengkel dan menubuhkan Pusat Kecemerlangan CCUS. Hasil daripada sokongan ini, teknologi tangkapan pasca pembakaran untuk loji janakuasa arang batu (kapasiti tangkapan sebanyak 20,000 t/a) telah memulakan operasi di Tianjin pada tahun 2012.

PRC ialah peneraju CCUS di rantau Asia-Pasifik, dengan 21 projek, 11 daripadanya beroperasi pada tahun 2023 (mengikut GCCSI).¹² Kunci kepada kejayaan penggunaan selama dua dekad sebahagian besarnya dikaitkan dengan beberapa faktor. Pertama, negara telah membangunkan (tahun 2015) pelan hala tuju awal untuk Demonstrasi dan Penggunaan CCUS yang kemudiannya dikemas kini (tahun 2022). Ini menggalakkan beberapa perkembangan dalam dasar, teknologi dan pembiayaan CCUS.

Kedua, Pusat Penyelidikan Penangkapan dan Penyimpanan Karbon di Shanghai telah ditubuhkan (tahun 2016) untuk mempromosikan inovasi CCUS dan pembinaan kapasiti industri untuk Delta Sungai Shanghai dan Yangtze. Selanjutnya, Pusat Kecemerlangan CCS Guandong membangunkan kapasiti institusi untuk menyelidik dan menunjukkan mekanisme teknologi, dasar dan kewangan untuk mengkomersialkan CCUS. Ketiga, negara terus membangun dan menambah baik dasar dan peraturan CCUS, menerbitkan “Penangkapan dan Penyimpanan Karbon – Dasar Tersedia untuk Memudahkan Pengerahan CCS di Republik Rakyat China” (Dis 2014). Akhirnya, PRC terus menyokong penglibatan CCUS secara proaktif sejak Rancangan Lima Tahun Ke-11 (2005-2010).



Rajah 8.2: Pelan hala tuju untuk demonstrasi dan penerahan CCUS di PRC.
 (Diringkaskan daripada ADB 2015: Pelan Hala Tuju untuk Demonstrasi dan Pengerahan Penangkapan dan Penyimpanan Karbon di Republik Rakyat China)

Pelaburan Langsung dan Insentif Pengeluaran

Di Amerika Utara, Kredit Cukai Pelaburan (ITC) dan Kredit Cukai Pengeluaran (PTC) ialah dua insentif langsung utama. ITC diagihkan berdasarkan perbelanjaan infrastruktur dan pembinaan dan biasanya tersedia serta-merta selepas peralatan dimasukkan ke dalam perkhidmatan, bebas daripada penggunaan peralatan. PTC diagihkan berdasarkan pengeluaran bahan (cth., \$/tan). Kredit hanya akan dikeluarkan selepas produk dihasilkan dan syarat untuk penghantarannya dipenuhi. PTC tidak mengambil kira kos yang ditanggung dalam menghasilkan unit output yang diberi insentif, tetapi ia berkesan dalam memastikan penggunaan pelaburan yang

bermakna. Di A.S., Bahagian 45Q PTC telah memberi kesan besar pada pengumuman dan pembangunan projek CCUS (lihat kajian kes berikut mengenai PTC – Bahagian 45Q). Di Kanada (Alberta) rangsangan yang sama telah dibangunkan untuk pembangunan projek CCUS dalam bentuk ITC (juga diterangkan di bawah).

Di Eropah, terdapat pelaburan langsung dan insentif pengeluaran yang lain. Sebahagian daripada bantuan ini datang dalam bentuk geran langsung, untuk menampung perbelanjaan modal dan/atau operasi (selalunya dibiayai oleh hasil daripada ETS), serta jaminan, pinjaman dan pengurangan beban kawal selia. Di Norway, projek demonstrasi Longship ialah penerima bantuan negeri bernilai kira-kira $\frac{2}{3}$ daripada jumlah kos projek. Jumlah ini meliputi pelbagai kos untuk membangunkan infrastruktur projek, insentif untuk isipadu CO₂ biogenik (yang pada masa ini tidak diberi insentif oleh cukai karbon atau elaun), kos operasi untuk satu tempoh, risiko yang berkaitan dengan isu antara muka antara pihak berkepentingan dalam rantai nilai dan potensi elaun pelepasan.¹³

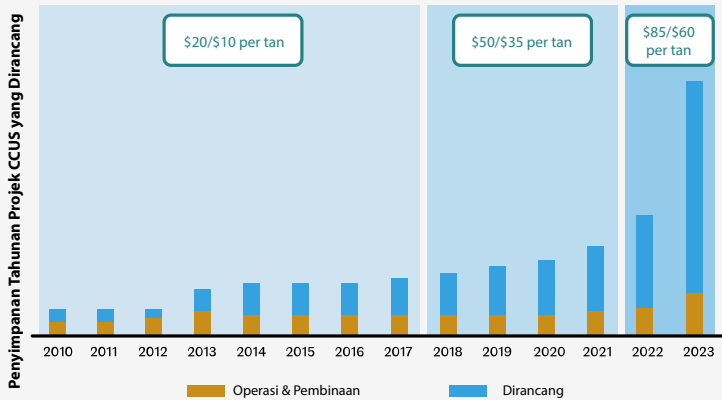


PTC — Seksyen 45Q Akta Pengurangan Inflasi (IRA) A.S. 2022

Kredit cukai di bawah 45Q telah tersedia sejak tahun 2008. Walau bagaimanapun, nilai, had ambang dan Tarikh Mula Pembinaan menghadkan pengerahan komersial yang meluas. Pada tahun 2022, perubahan menyediakan tahap insentif yang diperlukan dan jangka masa yang boleh diambil tindakan untuk pengerahan berdasarkan mekanisme yang dipacu pasaran dalam landskap geopolitik yang sentiasa berubah. Pengubahsuaian termasuk (1) peningkatan dalam nilai kredit cukai daripada \$50 kepada \$85 setiap tan untuk simpanan geologi; (2) peningkatan dalam nilai kredit cukai daripada \$35 kepada \$60 untuk CO₂-EOR, (3) nilai kredit cukai untuk tangkapan udara langsung (DAC) pada \$180 setiap tan untuk simpanan geologi dan \$130 setiap tan untuk penggunaan CO₂, termasuk CO₂-EOR; (4) pengurangan dalam ambang kelayakan pelepasan projek yang layak, dan (5) membenarkan bayaran langsung sambil mengekalkan kebolehpindahan kredit cukai untuk pilihan kecairan (membolehkan pemaju projek mengelakkan proses yang membebankan dan selalunya mahal untuk meningkatkan ekuiti cukai bagi mengewangkan kredit cukai yang dijana di bawah Seksyen 45Q).¹⁴

Dari perspektif industri, salah satu perubahan paling ketara yang termasuk dalam IRA ialah lanjutan Tarikh Mula Pembinaan kepada 1 Januari 2033. Sebelum ini, “pembinaan” kemudahan tangkapan perlu dimulakan selewat-lewatnya pada 1 Januari 2026, sama ada dengan memulakan kerja fizikal yang penting atau dengan menanggung 5 peratus atau lebih daripada jumlah kos kemudahan yang layak.

Seksyen 45Q menyediakan kredit cukai untuk penyimpanan CO₂, sama ada penyimpanan itu adalah sebahagian daripada rantaian nilai CCS atau untuk aplikasi EOR/industri. Panduan IRS membenarkan entiti yang mengendalikan projek perolehan minyak tertingkat CO₂ untuk menggunakan ISO 27916 sebagai alat untuk kuantifikasi dan pengesahan CO₂ yang disimpan semasa projek CO₂-EOR untuk mendapatkan kredit cukai. EPA A.S. memerlukan pelan pemantauan, pelaporan dan pengesahan (MRV) dikemukakan menurut Subbahagian RR Program Pelaporan Gas Rumah Hijau dan telah menyediakan beberapa panduan.¹⁵ Secara amnya, ini termasuk penerangan tapak dan geologinya, kawasan pemantauan, pelan pemantauan dan kekerapannya, dan laluan kebocoran yang berpotensi di kawasan pemantauan. Jika dibenarkan, pelaporan tahunan kepada EPA A.S. termasuk jisim tahunan CO₂ yang disuntik/dihasilkan dari tapak penyimpanan, kebocoran permukaan di telaga dan peralatan berhampiran telaga, nilai simpanan bersih, serta jisim terkumpul yang disimpan sepanjang hayat projek.



Rajah 8.3: Pembangunan projek berdasarkan perubahan Bahagian 45Q kredit cukai. (Diadaptasi daripada Penjejak Projek CCUS IEA 2023)



Contoh ITC: Kanada

Pada November 2023, Kerajaan Kanada dan Wilayah Alberta mengumumkan program kredit cukai pelaburan (ITC) CCUS, bertujuan untuk memberi insentif kepada pemaju projek CCUS. ITC akan ditetapkan pada 50 peratus untuk peralatan yang digunakan untuk menangkap karbon dan 37.5 peratus untuk peralatan yang digunakan dalam mengangkut dan menyimpan karbon. Di samping itu, draf perundangan yang dikeluarkan pada bulan Ogos yang lalu memperluaskan CCUS ITC untuk menjadikan sebahagian daripada projek perolehan minyak tertingkat layak untuk CCUS ITC. ITC CCUS tersedia mulai 1 Januari 2022.

Pinjaman dan Jaminan Kewangan

Selain daripada mandat dan insentif, program kewangan faedah rendah yang ditawarkan oleh kerajaan juga boleh membantu memulakan projek. Walaupun tidak tersedia secara meluas dalam ekonomi sedang pesat membangun, mekanisme ini lebih kerap dilihat di A.S., seperti Pejabat Pinjaman Jabatan Tenaga. Akta Kewangan dan Inovasi Infrastruktur Pengangkutan Karbon Dioksida (CIFIA) dalam Pejabat Program Pinjaman JAS dengan kerjasama Pengurusan Tenaga Fosil dan Karbon, menyediakan sokongan kewangan untuk projek pengangkutan CO₂ pembawa biasa berkapasiti tinggi (cth., saluran paip, rel, perkapalan dan kaedah pengangkutan lain) sebagai sebahagian daripada inisiatif CIFIA, disepadukan dengan dan digubal di bawah Akta Pelaburan dan Pekerjaan Infrastruktur (IJA).¹⁶

Di Asia, terdapat dana berkaitan perubahan iklim yang menyokong pelaburan modal. Dana yang mungkin, tertakluk kepada syarat reka bentuk, termasuk Dana Pemangkin Tindakan Iklim ADB dan Dana Jepun untuk Mekanisme Pengkreditan Bersama kerajaan Jepun. Secara amnya, faedah pinjaman bank pembangunan pelbagai hala adalah lebih rendah daripada faedah pinjaman bank perdagangan.

Pasaran untuk Produk Rendah Karbon

Mewujudkan pasaran untuk produk rendah karbon, dijual sebagai bahan premium, juga boleh mempercepatkan penggunaan CCUS. Produk-produk ini, seperti simen rendah karbon, keluli dan bahan kimia boleh diperolehi oleh sektor awam dan swasta dalam kuantiti yang besar (terutamanya dalam ekonomi sedang pesat membangun di mana permintaan untuk bahan ini terus wujud).

Akibat Yang Tidak Diingini

Akibat yang tidak diinginkan boleh mewujudkan halangan kepada pembangunan projek atau mengakibatkan pembatalan projek. Antara contoh ialah menghadkan kredit yang tidak menggalakkan atau menghalang penerahan CCUS tambahan. Satu lagi kes ialah menjual kredit karbon kepada pelepas untuk menangkap, yang mungkin tidak menggalakkan pelepas daripada membuat pelaburan lain dalam teknologi yang akan menghadkan jumlah pelepasannya.¹⁷

Pemacu Luaran

Kerajaan juga boleh dipengaruhi oleh kuasa di luar sempadannya. Ini termasuk cukai karbon rentas sempadan (seperti Mekanisme Pelarasan Sempadan Karbon EU), pelaporan mandatori atau sukarela dan pendedahan pelepasan CO₂ di peringkat sektor atau industri, dan pasaran karbon.

Cukai Karbon Luar Negara

Pada tahun 2023, EU mengguna pakai cukai karbon untuk produk intensif karbon yang diimport, yang dikenali sebagai Mekanisme Pelarasan Sempadan Karbon (CBAM). Walaupun tidak boleh dikuatkuasakan sehingga tahun 2026, kewajipan pelaporan telah bermula. Objektif utama adalah untuk mengurangkan kemungkinan pelepasan karbon dengan mengenakan cukai berdasarkan intensiti karbon import tertentu termasuk besi, keluli, simen, baja, aluminium, elektrik dan hidrogen ke atas produk yang diimport ke EU dari bidang kuasa tanpa cukai karbon atau elaun. Negara lain yang mengimport barangan intensif karbon ini dari Asia-Pasifik sedang mempertimbangkan untuk mengguna pakai cukai rentas sempadan yang serupa.

Sehubungan itu, sektor yang sukar dihentikan yang tertakluk kepada CBAM sedang mempertimbangkan untuk menangkap pelepasan CO₂ bagi membantu mengurangkan intensiti pelepasan barang (dan oleh itu cukai karbon yang akan dikenakan semasa eksport).

Perakaunan/Pendedahan/Pelaporan Karbon

Terdapat tekanan yang semakin meningkat terhadap industri dan syarikat untuk bersikap telus dalam pendedahan dan pelaporan pelepasan GHG mereka. Walaupun beberapa industri intensif pelepasan sering mempunyai keperluan pelaporan domestik melalui peraturan alam sekitar mereka, permintaan baru-baru ini adalah daripada agensi Negeri dan Persekutuan, serta orang ramai, untuk menyediakan pendedahan pelepasan. Dalam kes syarikat dagangan awam, cadangan pemegang saham semakin menuntut pelaporan pelepasan langsung dan tidak langsung. Lembaga Piawaian Kemampanan Antarabangsa, yang dibentuk semasa COP26 di Glasgow, sedang membangunkan piawaian pendedahan berkaitan kemampanan.

Walaupun trend ini meningkat dalam ekonomi Barat, syarikat antarabangsa yang menjalankan perniagaan dalam ekonomi sedang pesat membangun (termasuk Asia) diminta untuk membuat perakaunan yang jelas tentang intensiti pelepasan semua produk dan proses yang mereka rancang untuk mengimport. Atas sebab ini, pemantauan telus dan boleh disahkan bagi kuantiti CO₂ sepanjang rantai nilai CCUS adalah penting. Penggunaan juruaudit pihak ketiga untuk menyemak data kuantifikasi pelepasan memberikan tahap kebebasan untuk pengendali/pemaju dan orang ramai. Di India, 1,000 syarikat tersenarai awam teratas mengikut permodalan pasaran dikehendaki membuat pendedahan ESG mereka dengan pelepasan langsung dan tidak langsung, di bawah rangka kerja Pelaporan Tanggungjawab Perniagaan dan Kemampanan, yang

ditetapkan di bawah Peraturan Lembaga Sekuriti dan Bursa India (Kewajipan Penyenaaraan dan Keperluan Pendedahan), 2015.

Pasaran Karbon.

Negara-negara di rantau ini, seperti Malaysia, Indonesia, India, Vietnam dan Thailand, juga telah mengkaji penggunaan pasaran karbon untuk membolehkan projek CCUS. Kredit karbon mewakili kuantiti pelepasan yang dikurangkan, dikeluarkan atau dielakkan dan biasanya diukur dalam 1 tan CO₂ atau setara CO₂. Terdapat dua jenis skim pasaran karbon – sukarela dan mandatori/pematuhan. ETS EU, seperti yang diterangkan di atas, adalah contoh yang kedua. Dalam kedua-dua skim, pembeli (cth., individu, syarikat, kerajaan) membeli kredit karbon untuk mengimbangi pelepasan mereka daripada penjual (cth., pemaju projek, pemilik, pembiaya).

Untuk menyokong integriti pasaran karbon, adalah penting untuk (1) menetapkan garis dasar konservatif (kuantiti pelepasan sebelum pengurangan, penyingkiran atau pengelakan), (2) mengukur pengurangan kepada garis dasar itu, memastikan aktiviti itu nyata dan tambahan (aktiviti itu telah berlaku dan tidak akan berlaku tetapi untuk mekanisme kredit), (3) menjadikannya kekal (tiada pembalikan masa depan untuk aktiviti pengurangan pelepasan, penyingkiran dan mengelakkan), dan (4) tidak mengira aktiviti sebanyak dua kali (aktiviti pengurangan pelepasan hendaklah dikira sekali sahaja). Ia juga penting bagi pelepas untuk mengutamakan pelepasan dalam rantaian nilai mereka – iaitu, secara langsung, dan jika boleh, tidak langsung. Kredit karbon boleh membantu industri dengan sisa pelepasan untuk mencapai sasaran sifar bersih.

Insentif dan Hasil untuk Negeri

Sama seperti projek perindustrian lain, terdapat beberapa kos yang berkaitan dengan mengawal selia, membenarkan dan menyelia aktiviti CCUS. Negara berpotensi mengimbangi kos ini dengan menempatkan mekanisme pemulihan kos ke dalam rangka kerja CCUS. Mekanisme ini mungkin mengambil beberapa bentuk, seperti melaksanakan yuran lesen, membenarkan negeri mengutip “sewa” di kawasan yang dibenarkan untuk aktiviti, yuran pematuhan dan tarif suntikan.

Negara juga boleh memerlukan syarikat milik kerajaan untuk mengambil bahagian sebagai rakan kongsi dalam lesen penyimpanan CO₂. Sebagai contoh, Nordsøfonden syarikat milik negara Denmark akan mempunyai 20 peratus penyertaan dalam semua lesen penyimpanan CO₂.¹⁸ Oleh itu, negeri Denmark akan mengambil 20 peratus daripada kos, risiko dan hasil yang berkaitan dengan pembangunan dan operasi lesen penyimpanan. Di rantau lain di dunia, syarikat milik negara (terutamanya syarikat minyak nasional) cenderung untuk mempunyai peranan yang lebih menonjol dalam membangunkan rangkaian nilai penuh CCUS berbanding entiti di Eropah. Sebagai contoh, Aramco di Arab Saudi dan China National Offshore Oil Corporation di China.

9. Sumber Tambahan

Justifikasi untuk CCUS

Strategi Jangka Panjang Amerika Syarikat untuk Pelepasan Sifar Bersih

www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/10/US-Long-Term-Strategy.pdf

Pautan ini membawa kepada laporan untuk Strategi Jangka Panjang Amerika Syarikat untuk Pengurangan Pelepasan Sifar Bersih. Laporan itu boleh digunakan sebagai contoh analisis bersepadu dan hala tuju untuk mencapai penyahkarbonan yang mendalam.

Laporan Penilaian Keenam IPCC

www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/

Pautan ini membawa kepada Laporan Penilaian Keenam Panel Antarabangsa mengenai Perubahan Iklim yang mengandungi maklumat berharga tentang keperluan untuk mencapai pengurangan pelepasan GHG. Ia juga mengandungi data teknikal yang perlu untuk dipertimbangkan oleh negara apabila membangunkan strategi penyahkarbonan mereka.

Pelan Hala Tuju Sifar Bersih IEA

www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-15-0c-goal-in-reach

Pelan hala tuju yang dibangunkan oleh Agensi Tenaga Antarabangsa untuk dunia mencapai penyahkarbonan. Ia menyerlahkan keperluan untuk teknologi CCUS untuk penerahan.

CCUS dalam Strategi Mitigasi China

www.sciencedirect.com/science/article/am/pii/S1750583617307570

Contoh analisis penggunaan CCUS untuk China menggunakan Model Analisis Perubahan Global (GCAM). Ia menunjukkan bagaimana Model Penilaian Bersepadu boleh digunakan untuk mengkaji peranan CCUS dalam penyahkarbonan mendalam

Senario Sifar Bersih CO₂ menjelang Tahun 2050 untuk Amerika Syarikat

www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2666278723000119

Contoh penggunaan pelaksanaan perbandingan antara model boleh membantu dalam memahami ketidakpastian model dalam mewakili senario penyahkarbonan yang mendalam. Kertas kerja ini juga membentangkan maklumat tentang nilai CCUS sebagai sebahagian daripada strategi penyahkarbonan.

Status/Penjejak Projek

Penjejak Projek Penangkapan Karbon Pasukan Petugas Udara Bersih A.S.

www.catf.us/ccsmapus

Peta Interaktif Projek CCUS dalam Pembangunan di A.S.

Projek CCUS Global IOGP

www.iogp.org/bookstore/wp-content/uploads/sites/2/woocommerce_uploads/2020/03/GRA002_220131.pdf

Inventori projek CCUS oleh Persatuan Pengeluar Minyak dan Gas Antarabangsa.

Pangkalan Data Kemudahan CCS Institut CCS Global

www.globalccsinstitute.com/co2re/

Pangkalan data projek CCUS yang dijejaki oleh Institut CCS Global.

Penjejak Projek CCS IEA

www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/ccus-projects-explorer

Peneroka Projek – Alat Data - IEA. Pangkalan data seluruh dunia projek CCUS yang dibangunkan oleh Agensi Tenaga Antarabangsa.

Penjejak Perigi Permit EPA A.S

www.epa.gov/uic/table-epas-draft-and-final-class-vi-well-permits

Jadual Draf dan Permit Perigi Kelas VI Akhir EPA | EPA AS. Jadual dalam talian yang diselenggara oleh Agensi Perlindungan Alam Sekitar A.S. dengan draf dan permit telaga Kelas VI terakhir.

Maklumat Teknikal CCUS

IEAGHG

<https://ieaghg.org/>

IEAGHG membiayai penyelidikan dalam pembangunan dan penerahan teknologi CCS.

Atlas Penyimpanan Karbon Jabatan Tenaga A.S

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

Laman web yang diselenggarakan oleh Makmal Teknologi Tenaga Negara Jabatan Tenaga A.S. dengan maklumat berasaskan GIS untuk sumber simpanan di Amerika Syarikat.

Draf Pelan Hala Tuju 2030 untuk CCUS untuk Syarikat E&P Hulan

https://mopng.gov.in/files/article/articlefiles/Draft_UFCC_Roadmap_2030_v3.pdf

Laporan teknikal oleh Kementerian Petroleum dan Gas Asli India menerangkan aspek teknikal CCUS.

Kebolehlaksanaan Mempercepatkan Pengerahan CCUS dalam Membangunkan Ekonomi APEC

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 oleh Kerjasama Ekonomi Asia Pasifik tentang kemungkinan mempercepatkan CCUS-EOR dalam ekonomi APEC yang sedang membangun terpilih.

Pusat Pengetahuan CCS Antarabangsa

<https://ccsknowledge.com/>

Pusat Pengetahuan CCS Antarabangsa, yang dihoskan oleh Sask Power di Kanada, ialah organisasi yang menumpukan pada membina kapasiti untuk pembangunan rangka kerja CCUS antarabangsa. Pusat Pengetahuan menumpukan pada mengoptimumkan aplikasi CCUS berskala besar untuk keluli, simen dan loji kuasa terma (gas asli dan arang batu) melalui inisiatif pengurangan kos dan kemajuan teknologi.

Rangka kerja

Protokol Konvensyen London

www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/London-Convention-Protocol.aspx

Laman web yang diselenggara oleh Pertubuhan Maritim Antarabangsa (IMO) mengenai Protokol Konvensyen London.

Rangka Kerja Pengawalseliaan Model CCS IEA

www.iea.org/reports/carbon-capture-and-storage-model-regulatory-framework

Laporan IEA yang mengandungi maklumat tentang komponen yang diperlukan untuk mencipta rangka kerja pengawalseliaan model untuk pembangunan CCUS.

Keperluan Pelaporan A.S. untuk Permit UIC

www.law.cornell.edu/cfr/text/40/146.92

Pautan ini mengandungi peraturan semasa untuk pelaporan CO₂ yang disuntik ke dalam takungan geologi yang dibenarkan di bawah Kelas VI.

Rangka Kerja Dasar CCUS dan Mekanisme Pengerahan di India

www.niti.gov.in/sites/default/files/2022-12/CCUS-Report.pdf

Laporan oleh Kerajaan India tentang rangka kerja dasar untuk CCUS.

Rangkaian CCUS Asia

www.asiaccusnetwork-eria.org/

Laman web untuk Rangkaian CCUS Asia yang menyediakan platform untuk pemegang kepentingan CCUS di rantau Asia.

Libat urus

Garis Panduan WRI untuk Libat Urus Komuniti dalam Projek Tangkapan, Pengangkutan dan Penyimpanan Karbon Dioksida

www.wri.org/research/guidelines-community-engagement-carbon-dioxide-capture-transport-and-storage-projects

Laporan garis panduan oleh Institut Sumber Dunia untuk pembangunan libat urus komuniti mengenai projek CCUS.

Jangkauan Awam dan Pendidikan DOE A.S. untuk Projek Penyimpanan Karbon

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

Manual oleh Jabatan Tenaga A.S. untuk mereka bentuk rangka kerja bagi jangkauan awam untuk projek penyimpanan.

Panduan untuk Mencipta Pelan Manfaat Komuniti untuk Hab Tangkapan Udara Langsung Serantau

www.energy.gov/oced/articles/community-benefits-plan-guidance

Dokumen panduan yang disediakan oleh Pejabat Demonstrasi Tenaga Bersih (OCED) Jabatan Tenaga A.S. untuk penciptaan pelan manfaat komuniti dengan penekanan khusus pada program hab Tangkapan Udara Langsung.

Senarai Organisasi Profesional yang terlibat dalam Pembangunan CCUS

- Persatuan Ahli Geologi Petroleum Amerika (AAPG)
- Persatuan Kimia Amerika
- Kesatuan Geofizik Amerika
- Institut Jurutera Kimia Amerika (AIChE)
- Institut Perlombongan, Metalurgi dan Jurutera Petroleum Amerika (AIME)
- Persatuan Teknologi Besi dan Keluli (AIST)
- Institut Jurutera Elektrik dan Elektronik (IEEE)
- Pusat Kecemerlangan Kebangsaan dalam Penangkapan dan Penggunaan Karbon, IIT Bombay, India
- Persatuan Geosains dan Jurutera Eropah (EAGE)
- Persatuan Geologi Amerika (GSA)
- Persatuan Perlombongan, Metalurgi dan Penerokaan (PKS)
- Persatuan Jurutera Petroleum (SPE)
- Persatuan Mineral, Logam dan Bahan (TMS)

Akronim

ADB	Asian Development Bank (Bank Pembangunan Asia)
BECCS	Biomass Carbon Capture and Storage (Penangkapan dan Penyimpanan Karbon Berjisim)
CAPEX	Capital Costs (Kos Modal)
CBAM	Carbon Border Adjustment Mechanism (Mekanisme Pelarasan Sempadan Karbon)
CCS	Carbon Capture and Storage (Penangkapan, Penggunaan dan Penyimpanan)
CCUS	Carbon Capture, Utilization and Storage (Penangkapan, Penggunaan dan Penyimpanan Karbon)
CDR	Carbon Dioxide Removal (Penyingkiran Karbon Dioksida)
CIFIA	Carbon Dioxide Transportation Infrastructure Finance and Innovation Act (Akta Kewangan dan Inovasi Infrastruktur Pengangkutan Karbon Dioksida)
CO₂	Carbon Dioxide (Karbon Dioksida)
EOR	Enhanced Oil Recovery (Perolehan Minyak Tertingkat)
DAC	Direct Air Capture (Tangkapan Udara Langsung)
DFI	Direct Foreign Investment (Pelaburan Asing Langsung)
EGR	Enhanced Gas Recovery (Perolehan Gas Tertingkat)
EHR	Enhanced Hydrocarbon Recovery (Perolehan Hidrokarbon Tertingkat)

EOR	Enhanced Oil Recovery (Perolehan Minyak Tertingkat)
EOR/EGR	Enhanced Oil/Gas Recovery (Perolehan Minyak/Gas Tertingkat)
ETS	European Trading Scheme (Skim Perdagangan Eropah)
FECM	Fossil Energy and Carbon Management (Pengurusan Tenaga Fosil dan Karbon)
FEED	Front End Engineering Studies (Kajian Kejuruteraan Bahagian Hadapan)
FOM	Fixed Operation and Maintenance Cost (Kos Operasi dan Penyelenggaraan Tetap)
GCSSI	Global CCS Institute (Institut CCS Global)
GHG	Greenhouse Gas (Gas Rumah Hijau)
IEA	International Energy Agency (Agensi Tenaga Antarabangsa)
IIJA	Infrastructure Investment and Jobs Act (Akta Pelaburan dan Pekerjaan Infrastruktur)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Panel Perubahan Iklim Antara Kerajaan)
IRA	Inflation Reduction Act (Akta Pengurangan Inflasi)
ISO	International Organization for Standardization (Pertubuhan Pemiawaian Antarabangsa)
ISO/TC	International Organization For Standardization Technical Committee (Jawatankuasa Teknikal Pertubuhan Pemiawaian Antarabangsa)
ITC	Investment Tax Credits (Kredit Cukai Pelaburan)

LCA	Life-cycle Analysis (Analisis Kitaran Hayat)
MoU	Memorandum of Understanding (Memorandum Persefahaman)
MRV	Measurement, Reporting, and Verification (Pengawasan, Pelaporan dan Pengesahan)
MTPA	Million Tonnes Per Annum (Juta Tan Setahun)
NCCC	National Carbon Capture (Pusat Tangkapan Karbon Nasional)
NGO	Non-Governmental Organization (Pertubuhan Bukan Kerajaan)
NCoE	National Centre of Excellence (Pusat Kecemerlangan Nasional)
NDC	Nationally Determined Contribution (Sumbangan Yang Ditentukan Negara)
PTC	Production Tax Credits (Kredit Cukai Pengeluaran)
R&D	Research and Development (Penyelidikan dan Pembangunan)
RD&D	Research, Development, and Deployment (Penyelidikan, Pembangunan dan Pengerahan)
RECS	Research Experience in Carbon Sequestration (Pengalaman Penyelidikan dalam Pengasingan Karbon)
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition (Kawalan Penyeliaan dan Pemerolehan Data)
TCM	Test Center Mongstad (Pusat Ujian Mongstad)
UIC	Underground Injection Control (Kawalan Suntikan Bawah Tanah)

UNCLOS	United Nations Convention on the Law of the Sea (Konvensyen Pertubuhan Bangsa-bangsa Bersatu mengenai Undang-undang Laut)
VOM	Variable Operating and Maintenance Costs (Kos Operasi dan Penyelenggaraan Berubah)

Glosari

Pengabaian

Proses yang digunakan untuk menamatkan operasi secara kekal; menggunakan istilah seni dalam industri untuk menandakan pemberhentian operasi telaga

Pihak Berkuasa

Entiti atau entiti kerajaan yang mempunyai kuasa undang-undang untuk mengawal selia atau membenarkan aktiviti

Barj

Unit terapung yang membawa muatan di perairan dengan ditunda oleh sebuah kapal

Loji penangkapan

Proses dan peralatan berkaitan yang memisahkan dan mengendalikan CO₂ daripada pelepasan kemudahan

Karbon dioksida (CO₂)

Gas tidak berwarna dan tidak berbau yang terdiri daripada satu molekul karbon dan dua oksigen; dikategorikan sebagai gas rumah hijau yang menyumbang kepada perubahan iklim; umumnya dihasilkan melalui pembakaran atau penukaran produk berasaskan karbon

Karbon dioksida (CO₂) setara

Mengukur untuk membandingkan pelepasan daripada pelbagai gas rumah hijau berdasarkan potensi pemanasan global masing-masing, berbanding dengan potensi pemanasan CO₂

Aliran karbon dioksida (CO₂)

Cecair terdiri terutamanya daripada karbon dioksida

Penutupan

Menutup tapak penyimpanan yang tidak lagi digunakan; lazimnya memerlukan kebenaran daripada pihak berkuasa yang mempunyai bidang kuasa

Pengurangan pelepasan CO₂

Pengiraan pengurangan bersih pelepasan CO₂ untuk proses tertentu; penggunaan kaedah analisis yang kompleks seperti Penilaian Kitaran Hayat diperlukan untuk memastikan pengurangan bersih

Mampatan

Penggunaan alat yang menaikkan tekanan CO₂. Pemampat biasanya menggunakan anjakan mekanikal untuk memampatkan gas kepada tekanan yang lebih tinggi supaya gas boleh mengalir ke saluran paip dan kemudahan lain

Pembendungan

Status CO₂ terkurung dalam takungan simpanan oleh perangkap atau gabungan perangkap yang berkesan

Penyahtauliah

Proses mengeluarkan sistem atau komponen kejuruteraan daripada perkhidmatan, dan mengembalikan kawasan itu kepada keadaan sebelumnya

CO₂ fasa padat

CO₂ dalam fasa cecair atau superkritikal

Libat urus

Proses perundingan yang melibatkan pihak berkepentingan mengenal pasti dan menangani isu kepentingan bersama dan berkongsi maklumat

Perolehan minyak tertingkat CO₂ (CO₂-EOR)

Satu proses yang direka untuk menghasilkan hidrokarbon CO₂ daripada takungan geologi menggunakan suntikan CO₂

Pelepasan

Pembebasan bahan kimia daripada proses perindustrian ke alam sekitar

Gas serombong

Campuran gas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan api; gas serombong boleh terdiri daripada hasil sampingan pembakaran dan bahan kimia lain yang dihasilkan oleh tindak balas sekunder

Formasi

Batuan, sedimen atau mendapan

Penyimpanan geologi

Pembendungan CO₂ jangka panjang di bawah permukaan dalam liang di formasi

Gas rumah hijau (GHG)

Gas rumah hijau ialah gas di atmosfera seperti karbon dioksida, metana, gas fluorinated, dan nitrus oksida yang boleh menyerap sinaran inframerah, memerangkap haba di atmosfera.

Bendasing

Bahan yang terdapat dalam kuantiti yang sangat kecil dalam lingkungan bahan; seperti yang digunakan dalam buku ini, bahan bukan CO₂ yang merupakan sebahagian daripada aliran CO₂ yang boleh ditambah daripada bahan sumber atau proses penangkapan, ditambah akibat pencampuran untuk pengangkutan, atau dilepaskan atau terbentuk akibat daripada penyimpanan bawah permukaan dan/atau kebocoran CO₂

Kebocoran

Pelepasan CO₂ yang tidak disengajakan

Penilaian kitaran hayat (LCA)

Penyusunan dan penilaian input, output, dan potensi kesan alam sekitar dan kesihatan projek CCUS sepanjang kitaran hayatnya

Liabiliti atau pengurusan jangka panjang

Tanggungjawab undang-undang dan kewangan untuk semua aspek tapak penyimpanan geologi selepas penutupan untuk tempoh masa yang panjang

Pengawasan

Menyemak, menyelia, memerhati secara kritikal, mengukur atau menentukan status sistem secara berterusan atau berulang untuk mengenal pasti perubahan daripada garis dasar atau varians daripada tahap prestasi yang dijangkakan

Sifar bersih

Keseimbangan keseluruhan antara pelepasan gas rumah hijau yang dihasilkan dan pelepasan gas rumah hijau yang dikeluarkan dari atmosfera

Pengendali

Orang atau entiti yang bertanggungjawab secara sah untuk pengendalian projek CCUS

Penyimpanan darat

Penyimpanan geologi di bawah tanah

Penyimpanan luar pesisir

Penyimpanan geologi di bawah lautan

Perjanjian Paris

Diguna pakai pada tahun 2015, Perjanjian ini ialah perjanjian antarabangsa yang meliputi mitigasi, penyesuaian dan kewangan perubahan iklim. Ia memerlukan transformasi ekonomi dan sosial berdasarkan sains terbaik yang ada

Titik sumber

Sumber pelepasan CO₂ daripada proses perindustrian dan pembakaran pegun daripada industri dan loji kuasa

Tempoh selepas penutupan

Tempoh yang bermula selepas demonstrasi pematuhan dengan kriteria untuk penutupan tapak

Tangkapan CO₂ selepas pembakaran

Menangkap karbon dioksida daripada aliran gas serombong yang dihasilkan oleh pembakaran bahan api fosil

Ketulenan CO₂

Peraturan mengikut jisim CO₂ sebagai komponen CO₂

Pengawal selia

Entiti atau entiti-entiti yang mempunyai kuasa untuk membenarkan, meluluskan dan/atau sebaliknya membolehkan satu atau lebih projek CCUS

Penilaian risiko

Keseluruhan proses mengenal pasti risiko, analisis risiko dan penilaian risiko

Selamat jangka panjang

Tempoh yang diperlukan untuk penyimpanan dianggap sebagai selamat alam sekitar oleh skim di mana kuantifikasi sedang dilaksanakan, dan mungkin menurut piawaian atau perjanjian

Ciri tapak

Penilaian terperinci terhadap satu atau lebih tapak calon untuk storan CO₂ yang dikenal pasti dalam peringkat penapisan dan pemilihan projek penyimpanan CO₂ untuk mengesahkan dan memperhalusi integriti penyimpanan, sumber penyimpanan dan anggaran penyuntikan dan menyediakan data asas untuk pemodelan ramalan awal aliran bendalir, tindak balas geokimia, kesan geomekanikal, penilaian risiko, dan reka bentuk program pemantauan dan pengesahan

Penapisan dan pemilihan tapak

Proses menilai dan mengutamakan beberapa tapak penyimpanan geologi

Pengurusan tapak

Tugas menyelia atau menjaga tapak penyimpanan

Lesen sosial untuk beroperasi

Penerimaan berterusan amalan perniagaan dan prosedur operasi standard syarikat atau industri oleh pekerjaanya, komuniti tempatan, kumpulan orang asli yang terjejas dan orang awam

Pihak berkepentingan

Individu, sekumpulan individu atau organisasi yang berminat atau boleh dipengaruhi oleh projek CCUS

Projek penyimpanan

Tahap fizikal dan temporal aktiviti yang berkaitan dengan projek untuk penyimpanan geologi CO₂ yang merangkumi pemilihan dan pencirian tapak, pengumpulan data garis dasar, permit, reka bentuk dan pembinaan kemudahan tapak (saluran paip tapak, pemampat, dll.), penggerudian telaga, penerimaan CO₂ di tapak penyimpanan dan suntikan CO₂ semasa fasa suntikan aktif, dan penutupan tapak (termasuk pengabaian telaga dan kemudahan)

Tapak penyimpanan

Tapak yang terdiri daripada kemudahan penyimpanan dan telaga projek penyimpanan

CO₂ superkritikal

CO₂ pada tekanan dan suhu melebihi tekanan kritikal dan suhu kritikal

Pengesahan

Pengesahan melalui pemeriksaan dan penyediaan bukti objektif bahawa kriteria tertentu dipenuhi

Telaga atau lubang telaga

Lubang yang dihasilkan ke dalam tanah di mana gabungan tiub, selongsong dan simen diletakkan untuk menghantar cecair ke dalam atau keluar dari bawah permukaan

Nota

Panduan untuk Buku Ini

- 1 Pada tahun 2022, Asia mengeluarkan lebih daripada 58% daripada CO₂ dunia. Ritchie, Hannah dan v Roser 2020: “Pelepasan CO₂”, <https://ourworldindata.org/co2-emissions>

Bab 1

- 1 IPCC 2023: Bahagian. Dalam: Perubahan Iklim 2023: Laporan Sintesis. Sumbangan Kumpulan Kerja I, II dan III kepada Laporan Penilaian Keenam Panel Antara Kerajaan Mengenai Perubahan Iklim [Pasukan Penulisan Teras, H. Lee dan J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, hlm. 35-115, https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf

- 2 Ritchie, Hannah dan Roser, Max 2020: Pelepasan CO₂, <https://ourworldindata.org/co2-emissions>

- 3 Konvensyen Rangka Kerja Perubahan Iklim Pertubuhan Bangsa-bangsa Bersatu (UNFCCC) 2016: Perjanjian Paris, https://unfccc.int/sites/default/files/resource/parisagreement_publication.pdf

- 4 Suruhanjaya Eropah 2023: Mekanisme Pelarasan Sempadan Karbon, https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en

- 5 Kementerian Alam Sekitar, Hutan dan Perubahan Iklim 2022: Pendirian India di COP-26, <https://pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1795071>

- 6 IPCC 2023: Bahagian. Dalam: Perubahan Iklim 2023: Laporan Sintesis. Sumbangan Kumpulan Kerja I, II dan III kepada Laporan Penilaian Keenam Panel Antara Kerajaan Mengenai Perubahan Iklim [Pasukan Penulisan Teras, H. Lee dan J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, hlm. 35-115, https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf

- 7 IEA 2023: Pelan Hala Tuju Sifar 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 et. al. 2018: Penilaian kos, halangan dan potensi CCS, Kajian Strategi Tenaga, Jilid 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 tangkapan karbon Asia Pasifik yang luas, <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/unlocking-asia-pacifics-vast-carbon-capture-potential>

- 10 Equinor. Kawasan Sleipner, <https://www.equinor.com/energy/sleipner>

- 11 Institut CCS Global 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: Mengumpulkan karbon, <https://www.mckinsey.com/featured-insights/sustainable-inclusive-growth/chart-of-the-day/corralling-carbon>

- 13 Chen, Darius; Lock, Ed; dan Low, Jess Lyn 2023: Membuka potensi tangkapan karbon Asia Pasifik yang luas, <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/unlocking-asia-pacifics-vast-carbon-capture-potential>

- 14 Institut CCS Global 2023: Gambaran Menyeluruh: Institut Lancar Laporan Kemajuan CCUS China, <https://www.globalccsinstitute.com/news-media/insights/insight-institute-launched-a-china-ccus-progress-report/>

- 15 Institut CCS Global 2023: Tujuh Projek CCS Bakal Terima Sokongan daripada Kerajaan Jepun, <https://www.globalccsinstitute.com/news-media/latest-news/seven-ccs-projects-to-receive-support-from-the-japanese-government/>

- 16 Indonesia berkata Exxon Mobil merancang untuk melabur sehingga \$15 bln di dalam negara, 15 November, 2023, <https://www.reuters.com/business/energy/indonesia-says-exxon-mobil-plans-invest-up-15-bln-country-2023-11-16/>

Bab 2

- 1 carboncapturecoalition.org/coalition-publishes-fact-sheet-on-co2-pipeline-safety-federal-safety-authority/
-
- 2 Yara International, 17 Ogos 2015: Kapal cecair CO₂ baharu untuk Yara, www.yara.com/news-and-media/news/archive/2015/new-liquid-co2-ship-for-yara
-
- 3 Pertubuhan Pembangunan Tenaga dan Teknologi Perindustrian Baharu, Jepun, 28 November 2023: Siaran akhbar (bahasa Jepun): 世界初、低温・低圧の液化CO₂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 Mac 2023: Pembawa cecair CO₂ pertama di dunia untuk CCUS dilancarkan, <https://www.offshore-energy.biz/worlds-1st-liquid-co2-carrier-intended-for-ccus-launched/>
-
- 5 Herzog, Howard 2023: Tangkapan Karbon, <https://climate.mit.edu/explainers/carbon-capture#:~:text=Using%20the%20CO2&text=Other%20possible%20uses%20of%20CO,of%20the%20%20captured%20CO>
-
- 6 Pejabat Pengurusan Tenaga Fosil dan Karbon: Perolehan Minyak Tertingkat, <https://www.energy.gov/fecm/enhanced-oil-recovery>
-
- 7 ADB 2021: Kajian Kebolehlaksanaan Mengenai Tangkapan Karbon dan Penggunaan Industri Simen India. Laporan perunding. Manila (TA 9686-REG).

Bab 3

- 1 Rangkaian Projek CCUS: Parmiter, Philippa; Bell, Rebecca 2020: Persepsi awam CCS: Semakan Libat Urus Awam untuk Projek CCS, https://www.ccusnetwork.eu/sites/default/files/TG1_Briefing-Report-Public-Perception-of-CCS.pdf

- 2 Rangkaian Projek CCUS: Parmiter, Philippa; Bell, Rebecca 2020: Persepsi awam CCS: Semakan Libat Urus Awam untuk Projek CCS, https://www.ccusnetwork.eu/sites/default/files/TG1_Briefing-Report-Public-Perception-of-CCS.pdf

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

- 4 Brunsting, Suzanne; Best-Waldhofer, Marjolein de; Feenstra, Ynke; Mikunda, Tom (2011) seperti dirujuk dalam Rangkaian Projek CCUS, Parmiter, Philippa; Bell, Rebecca May 2020: Persepsi awam CCS: Semakan Libat Urus Awam untuk Projek CCS, https://www.ccusnetwork.eu/sites/default/files/TG1_Briefing-Report-Public-Perception-of-CCS.pdf

Bab 4

- 1 Program R&D Gas Rumah Hijau IEA Program Sekolah Musim Panas, <https://ieaghg.org/summer-school>

- 2 Pusat Teknologi Mongstad, 19 Disember 2023: TCM diteruskan bawah pemilikan yang sama, <https://tcmda.com/tcm-to-continue-under-the-same-ownership/>

- 3 Pusat Teknologi Mongstad, 6 Mei 2022: Berkongsi penemuan kami, <https://tcmda.com/sharing-our-findings/>

- 4 Projek ACCSESS, 2024: Memperkenalkan TCM, <https://www.projectaccesss.eu/partners/technology-centre-mongstad/>

- 5 Pusat Teknologi Mongstad, 25 Januari 2024: Kerjasama dengan SINTEF, <https://tcmda.com/collaboration-with-sintef/>

- 6 Rangkaian Pusat Ujian Antarabangsa 2024: Tentang ITCN: <https://itcn-global.org/about-the-itcn/#%20>

- 7 Ibid.

Bab 5

- 1 Donelan, Edward 2022: Tadbir Urus Kawal Selia: Pembuatan Dasar, Merangka Perundangan dan Pembaharuan Undang-undang

- 2 Kementerian Ekonomi 2023: Pelan Hala Tuju Peralihan Tenaga Nasional, https://www.ekonomi.gov.my/sites/default/files/2023-09/National%20Energy%20Transition%20Roadmap_0.pdf

- 3 PIB Delhi 2022: NITI Aayog mengeluarkan laporan kajian mengenai 'Rangka Kerja Dasar Penangkapan, Penggunaan dan Penyimpanan Karbon (CCUS) dan Mekanisme Pengerahannya di India', <https://pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1879865>

- 4 Kulichenko, Natalia; Ereira, Eleanor 2012: Penangakan dan Penyimpanan Karbon di Negara-negara Membangun. Perspektif tentang Sekatan Pengerahan, <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 karbon dioksida, pengangkutan, dan penyimpanan geologi, <https://www.iso.org/committee/648607.html>

- 3 DNV, Schoon, Barbara 14 Jun 2023: DNV telah mengesahkan keselamatan semua aspek penyimpanan CO₂ Projek 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>; lihat juga Europetrole, 26 November 2020: Projek Greensand: Takungan Laut Utara dan infrastruktur yang diperakui untuk penyimpanan CO₂, <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 Mendapat Pensijilan Antarabangsa untuk Tapak Simpanan Bawah Tanah CO₂ di Yamal dan Gydan, https://www.novatek.ru/en/press/releases/index.php?id_4=4861

- 5 IEA 2022: Rangka Kerja Undang-Undang dan Kawal Selia CCUS <https://www.iea.org/reports/legal-and-regulatory-frameworks-for-ccus>

- 6 Laman web EPA termasuk dokumen panduan yang berkaitan dengan Kelas VI UIC, tersedia di www.epa.gov/uic/final-class-vi-guidance-documents. Permit aktif dan draf disertakan di laman web ini: www.epa.gov/uic/current-class-vi-projects-under-review-epa. Alat membenarkan tambahan boleh didapati di laman web umum EPA UIC Class VI: www.epa.gov/uic/class-vi-wells-used-geologic-sequestration-carbon-dioxide#ClassVITools.

- 7 IEA 2010: Rangka Kerja Kawal Selia Model CCS 6.11.1 <https://www.iea.org/reports/legal-and-regulatory-frameworks-for-ccus>

- 8 Ibid.

- 9 Arahan 2009/31/EC Parlimen Eropah dan Majlis 23 April 2009, Perkara 18

- 10 Laman web Pertubuhan Maritim Antarabangsa termasuk senarai aktif negara yang menjadi Pihak Berjanji kepada Protokol London: <https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/StatusOfConventions.aspx>

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

- 12 Penerbitan Pertubuhan Maritim Antarabangsa, November 2023: Katalog, <https://indd.adobe.com/view/92aa64cd-a96c-45c5-ad0b-26671c21be13>

- 13 Pertubuhan Maritim Antarabangsa: Status Konvensyen, <https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/StatusOfConventions.aspx>

- 14 Koleksi Perjanjian Pertubuhan Bangsa-bangsa Bersatu 10 September 1997: Bab XXVII Persekitaran 4. Konvensyen mengenai Penilaian Kesan Alam Sekitar dalam Konteks Rentas Sempadan, UNTC https://treaties.un.org/pages/ViewDetails.aspx?src=IND&mtdsg_no=XXVII-4&chapter=27&clang=_en

- 15 Koleksi Perjanjian Pertubuhan Bangsa-bangsa Bersatu 30 Oktober 2001: Bab XXVII Persekitaran 13. Konvensyen mengenai Akses kepada Maklumat, Penyertaan Awam dalam Membuat Keputusan, dan Akses kepada Keadilan dalam Hal-hal Alam Sekitar, 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 mengurangkan perubahan iklim dengan CCS, <https://www.projectgreensand.com/en/first-carbon-storage>

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

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

- 19 Status Hijau 30 September 2022: Denmark, Flanders dan Belgium menandatangani perjanjian pecah tanah mengenai pengangkutan rentas sempadan CO₂ untuk penyimpanan geologi, <https://stateofgreen.com/en/news/denmark-flanders-and-belgium-sign-groundbreaking-arrangement-on-cross-border-transportation-of-co2-for-geological-storage/>

- 20 Memorandum Persefahaman Antara Menteri Alam Sekitar Wilayah Flemish dan Menteri Persekutuan Laut Utara Belgium dan Menteri Iklim, Tenaga dan Utiliti Denmark mengenai Pengangkutan Rentas Sempadan CO₂ dengan Tujuan Penyimpanan Geologi Kekal, <https://kefm.dk/Media/638000596525014193/Bilateral%20arrangement%20DK-BE.pdf>

- 21 Santos 7 Ogos 2023: Usahasama Bayu-Undan dan Timor Gap menandatangani MOU untuk bekerjasama dalam 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 Kerajaan Timor-Leste 13 Oktober 2023: Kementerian Petroleum dan Sumber Mineral Mempromosikan Seminar Rangka Kerja Undang-undang dan Kawal Selia untuk Penangkapan dan Penyimpanan Karbon di Timor-Leste, <http://timor-leste.gov.tl/?p=34678&lang=en&n=1>

Bab 7

- 1 Agensi Tenaga Antarabangsa (IEA), Projek Demonstrasi CCS Tomakomai, <https://www.iea.org/reports/ccus-around-the-world/tomakomai-ccs-demonstration-project>

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

- 3 Institut CCS Global 2016: Rangka kerja perundangan dan kawal selia Jepun untuk CCS, <https://www.globalccsinstitute.com/news-media/insights/japans-legal-and-regulatory-framework-for-ccs>

- 4 Kementerian Ekonomi, Perdagangan dan Industri (METI), Pertubuhan Pembangunan Teknologi dan Tenaga Baharu (NEDO), dan Japan CCS Co., Ltd. (JCCS) 2023: Laporan Projek Demonstrasi CCS Tomakomai pada suntikan kumulatif 300 ribu tan metrik, https://www.meti.go.jp/english/press/2020/pdf/0515_004a.pdf

- 5 Id. Slaid 13

- 6 Id. Slaid 13
-
- 7 Equinor 2019: Perkongsian Sleipner menerbitkan data penyimpanan CO₂, <https://www.equinor.com/news/archive/2019-06-12-sleipner-co2-storage-data>
-
- 8 Ibid.
-
- 9 Peraturan yang berkaitan dengan eksploitasi takungan dasar laut di pelantar benua untuk penyimpanan CO₂ dan berkaitan dengan pengangkutan CO₂ di pelantar benua. FOR-2014-12-05-1517. Terjemahan bahasa Inggeris ada 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 Kawalan Pencemaran Norway §35-16, FOR-2004-06-01-931 §35-16
-
- 11 Miljødirektoratets 2016: Tillatelse etter forurensningsloven for Injeksjon og lagring av CO₂ 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: Penggubalan Undang-undang Langkah demi Langkah. Institut Undang-undang Antarabangsa
-
- 13 Ombudstvedt, Ingvild and Koperna, George 2023: Membandingkan Rejim Pembenanar untuk Penyimpanan CO₂, Seperti Membandingkan Epal dan Oren?, <https://www.ogel.org/article.asp?key=4091>
-
- 14 Gassnova 2020: Membangunkan Pengajaran Utama Longship, <https://gassnova.no/app/uploads/sites/6/2022/06/Gassnova-Developing-Longship-FINAL.pdf>
-
- 15 Program Pembangunan Undang-undang Komersial: Memahami Perjanjian Pembelian Kuasa, <https://cldp.doc.gov/sites/default/files/PPA%20Second%20Edition%20Update.pdf>

Bab 8

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

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

- 3 Sekretariat Perubahan Iklim Kebangsaan Singapura, Cukai Karbon, www.nccs.gov.sg/singapores-climate-action/mitigation-efforts/carbontax/

- 4 Suruhanjaya Eropah, Skop Sistem Perdagangan Pelepasan EU, https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/scope-eu-emissions-trading-system_en

- 5 Suruhanjaya Eropah, Apakah itu EU ETS?, https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/what-eu-ets_en

- 6 Peraturan Pelaksana Suruhanjaya (EU) 2018/2066 pada 19 Disember 2018 mengenai pemantauan dan pelaporan pelepasan gas rumah hijau menurut Arahan 2003/87/EC Parlimen Eropah dan Majlis serta meminda Peraturan Suruhanjaya (EU) No 601/2012 (Teks dengan perkaitan EEA)

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

- 8 Untuk tujuan perbincangan ini istilah “langkah kawalan pelepasan” mewakili penggunaan projek penangkapan, pengangkutan dan penyimpanan karbon. Terdapat langkah kawalan pelepasan lain, seperti peningkatan kecekapan, yang mungkin diperlukan untuk mengurangkan pelepasan CO₂ di industri dan loji kuasa.

- 9 EPA 2023: NSPS untuk Pelepasan GHG daripada Unit Penjana Utiliti Elektrik Baharu, Diubahsuai dan Dibina Semula, <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 Suruhanjaya Eropah, projek Dana Inovasi, https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-funding-climate-action/innovation-fund/innovation-fund-projects_en

- 12 Institut CCS Global 2023: Status Global CCS 2023 – Meningkatkan skala sehingga tahun 2030, <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2024/01/Global-Status-of-CCS-Report-1.pdf>

- 13 Gassnova 2020: Pengajaran Pengawalseliaan yang Dipelajari daripada Longship, <https://gassnova.no/app/uploads/sites/6/2022/07/Regulatory-lessons-learned-from-Longship-FINAL-WEB-1.pdf>

- 14 IRA membenarkan bayaran langsung selama 5 tahun dan bayaran langsung selama 12 tahun penuh untuk entiti bukan membayar cukai. 26 U.S. Code § 6417

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

- 16 IIJA memperuntukkan \$600 juta untuk program CIFIA untuk setiap tahun fiskal persekutuan 2022 dan 2023, bersama-sama dengan \$300 juta untuk setiap tahun fiskal persekutuan mulai tahun 2024 hingga 2026.. Jabatan Tenaga A.S., Infrastruktur Pengangkutan Karbon Dioksida, <https://www.energy.gov/lpo/carbon-dioxide-transportation-infrastructure>

- 17 Perkhidmatan Penyelidikan Kongress A.S. 2020: Kredit Cukai untuk Pengasingan Karbon (Seksyen 45Q), <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF11455/1>

- 18 Nordsøfonden juga mengambil bahagian dalam lesen akan datang untuk penyimpanan karbon dengan 20 peratus, <https://eng.nordsoefonden.dk/news/2023/september/nordsoefonden-also-participates-in-upcoming-licenses-for-carbon-storage-with-20-percent>

Kolofon

Buku ini dilesenkan di bawah Lesen Antarabangsa Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 (CC BY NC SA).

Buku ini ditulis menggunakan kaedah Book Sprints (www.booksprints.net) mulai 29 Januari hingga 2 Februari 2024.

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

Fasilitator Book Sprints: Barbara Rühling, Anna Roxas

Penyunting salinan: Raewyn Whyte, Christine Davis

Pereka buku HTML: Agathe Baëz

Ilustrator dan pereka muka depan: Lennart Wolfert, Henrik van Leeuwen

Foto muka depan: Southern Company / National Carbon Capture Center

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

Dokumen ini perlu dipetik sebagai: Penangkapan, Penggunaan dan Penyimpanan Karbon: Buku Panduan untuk Pembuat Dasar (2024).

Dibiayai oleh:



Bureau of Energy Resources

U.S. DEPARTMENT *of* STATE

Dibangunkan oleh:



CLDP

COMMERCIAL LAW DEVELOPMENT PROGRAM

Rakan Institusi



CLEARPATH

