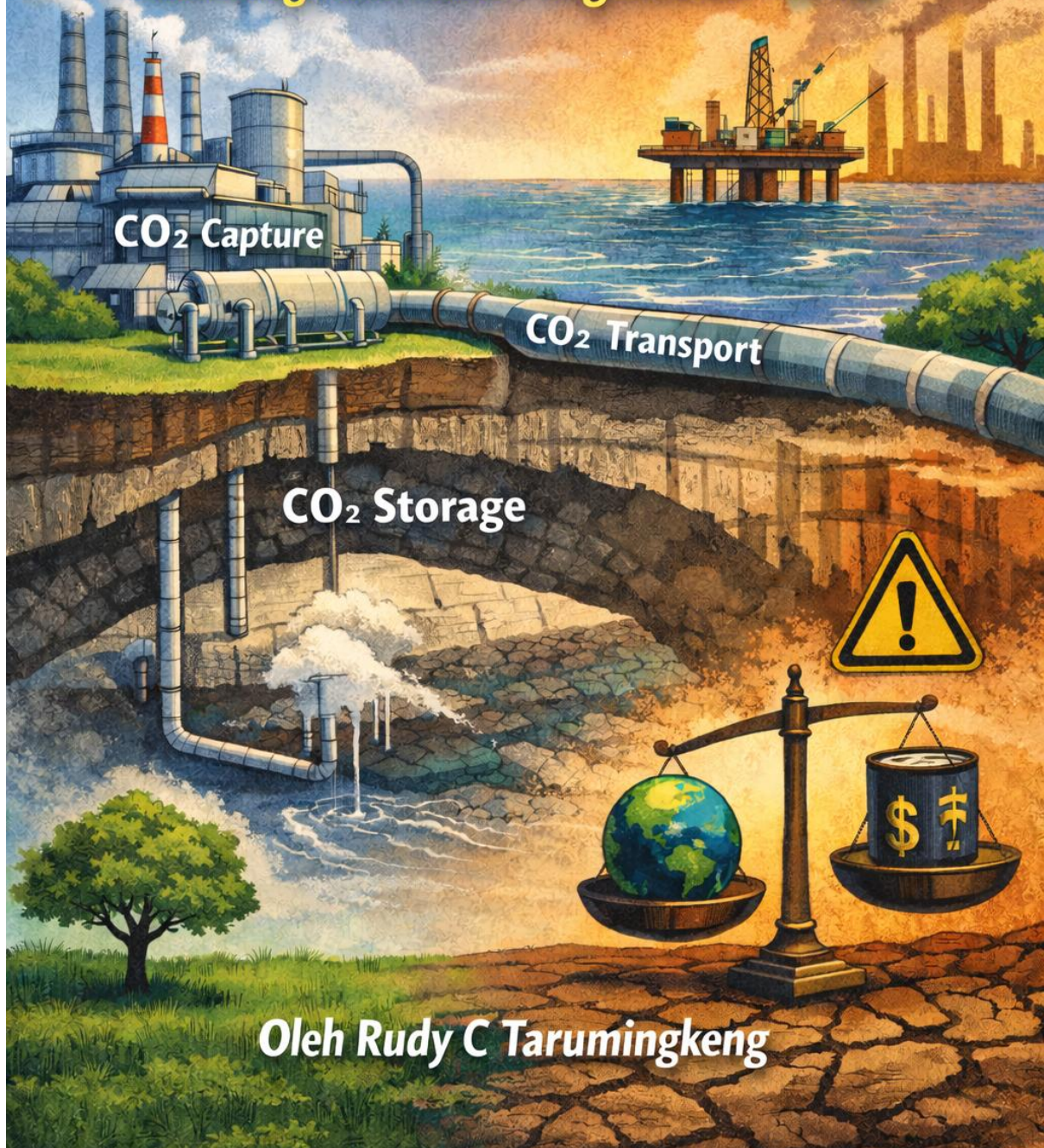


Carbon Capture and Storage:

Teknologi dan Etika Pengendalian Emisi



Oleh Rudy C Tarumingkeng

Oleh:

[Prof Ir Rudy C Tarumingkeng, PhD](#)

Professor of Management NUP: 9903252922

Rektor, Universitas Cenderawasih, Papua (1978-1988, dan
Rektor, Kampus AGRO Manokwari sekarang Universitas Papua Manokwari)

Coordinator, CIDA/DIKTI SFU Burnaby BC Canada 1988-1991

Rektor, Universitas Kristen Krida Wacana, Jakarta (1991-2000)

Ketua Dewan Guru Besar, IPB-University, Bogor (2005-2006)

AI - Data Analyst, dan Ketua Senat Akademik, IBM-ASMI, Jakarta 2024-

© RudyCT Academic Series

rudyc75@gmail.com

1 Maret 2026

CARBON CAPTURE AND STORAGE: TEKNOLOGI DAN ETIKA PENGENDALIAN EMISI

Perdebatan mengenai **carbon capture and storage** (CCS) lahir dari sebuah kenyataan yang keras: dunia masih sangat bergantung pada sistem energi dan industri berbasis karbon, sementara emisi karbon dioksida global belum turun pada kecepatan yang diperlukan untuk menjaga pemanasan global tetap terkendali. IEA melaporkan bahwa emisi CO₂ terkait energi mencapai **37,8 gigaton pada 2024**, tertinggi sepanjang catatan, meskipun pertumbuhan emisi mulai lebih lambat daripada pertumbuhan ekonomi global. Pada saat yang sama, CCS kembali naik ke pusat diskusi kebijakan karena banyak sektor industri berat masih kesulitan menurunkan emisi hanya dengan elektrifikasi atau energi terbarukan. IEA juga mencatat bahwa kapasitas penangkapan CO₂ yang diumumkan untuk 2030 meningkat pesat, namun masih jauh dari tingkat yang dibutuhkan dalam skenario net-zero. (IEA)

Di satu sisi, CCS dipresentasikan sebagai **teknologi penyelamat** bagi sektor-sektor yang "sukar didekarbonisasi" seperti semen, baja, kimia, pemrosesan gas, dan beberapa bentuk produksi hidrogen. Di sisi lain, teknologi ini dikritik karena berpotensi menjadi **alibi moral dan politik** untuk memperpanjang umur industri fosil, menyerap subsidi publik, dan menunda transformasi yang lebih mendasar. Di sinilah persoalan CCS menjadi menarik secara akademik: ia bukan sekadar teknologi, melainkan simpul perjumpaan antara rekayasa, ekonomi politik, hukum lingkungan, dan etika publik. (IEA)

Secara konseptual, CCS harus dibedakan dari istilah yang berdekatan. **CCS** merujuk pada penangkapan CO₂ dari sumber emisi, pengangkutannya, lalu penyimpanannya secara geologis agar tidak terlepas ke atmosfer. **CCUS** menambahkan unsur *utilisation*, yaitu penggunaan CO₂ tertangkap untuk produk atau proses tertentu. **CDR** atau *carbon dioxide removal* berbeda lagi: ia mengacu pada penghilangan CO₂ langsung dari atmosfer, misalnya melalui direct air capture with storage (DACCS) atau bioenergy with CCS (BECCS). Perbedaan ini sangat penting secara etis, karena menangkap CO₂ dari cerobong pabrik tidak sama dengan mengurangi emisi absolut, dan memakai CO₂ untuk produk tertentu tidak selalu berarti pengurangan emisi yang tahan lama. IEA menegaskan bahwa banyak jalur *utilisation* tidak memberikan manfaat iklim otomatis; manfaatnya tergantung sumber CO₂, energi yang dipakai, produk yang digantikan, dan berapa lama CO₂ tertahan dalam produk tersebut. ([IEA](#))

Dalam konteks hukum Indonesia, Perpres Nomor 14 Tahun 2024 mendefinisikan CCS sebagai kegiatan usaha yang mencakup penangkapan, pengangkutan, penginjeksian, dan penyimpanan karbon ke zona target injeksi **dengan aman dan permanen** sesuai kaidah keteknikan yang baik. Regulasi yang sama juga menegaskan pentingnya pengukuran, pelaporan, dan verifikasi (*measurement, reporting, and verification* / MRV), mitigasi risiko kebocoran, integritas sumur, dan izin eksplorasi maupun operasi penyimpanan. Ini menarik, sebab dari awal hukum Indonesia sudah menempatkan CCS bukan hanya sebagai isu bisnis, tetapi juga isu **keamanan teknis, integritas lingkungan, dan tata kelola data emisi**. ([Pajak](#))

1. Mengapa CCS muncul sebagai opsi penting?

Secara historis, agenda pengendalian emisi lama didominasi oleh tiga jalur besar: efisiensi energi, peralihan bahan bakar, dan perluasan energi rendah karbon. Namun, IPCC dalam AR6 menegaskan bahwa jalur menuju pembatasan pemanasan pada 1,5°C atau 2°C memerlukan

penurunan emisi yang besar di semua sektor, dan keterlambatan pengurangan emisi akan meningkatkan ketergantungan pada penghilangan karbon di masa depan. Dengan kata lain, dunia tidak dapat berharap hanya pada satu jenis solusi. Sistem mitigasi modern harus memadukan pengurangan emisi langsung, perubahan perilaku, elektrifikasi, energi bersih, serta dalam beberapa kasus penangkapan dan penyimpanan karbon. ([IPCC](#))

IEA berargumen bahwa CCS sangat relevan karena sebagian emisi berasal dari **proses industri**, bukan hanya dari pembakaran bahan bakar. Contoh paling terkenal adalah industri semen. Emisi semen muncul tidak hanya dari energi panas tungku, melainkan juga dari reaksi kimia kalsinasi batu kapur. Di sinilah elektrifikasi atau bahan bakar bersih tidak otomatis menghapus seluruh emisi proses. IEA bahkan menyebut CCS memainkan peran besar dalam menurunkan emisi industri semen agar sektor ini sesuai dengan lintasan net-zero, dan pemerintah perlu membangun infrastruktur transportasi serta penyimpanan CO₂ agar implementasinya tidak tertunda. ([IEA](#))

Argumen yang sama berlaku untuk beberapa segmen baja, bahan kimia, pemrosesan gas, dan produksi hidrogen berbasis gas alam dengan penangkapan karbon. IEA menilai bahwa industri berat saat ini menyumbang hampir **20% emisi CO₂ global**, dan untuk beberapa wilayah, CCS merupakan pendekatan yang paling hemat biaya untuk mengurangi emisi di baja dan kimia, serta nyaris satu-satunya jalur teknologi untuk pengurangan emisi yang dalam pada semen. Artinya, secara teknis ada sektor di mana CCS tampak bukan sebagai pilihan mewah, melainkan sebagai salah satu sedikit opsi realistis yang tersedia. ([IEA](#))

Namun muncul pertanyaan etis yang penting: **apakah semua sektor pantas mendapat legitimasi CCS yang sama?** Jawabannya tidak. Argumen teknis yang kuat di semen tidak serta-merta berlaku sama untuk pembangkit listrik batu bara baru atau perluasan infrastruktur

minyak dan gas. Inilah sebabnya diskursus etika CCS harus bersifat sektoral, bukan generik. Teknologi yang sama bisa menjadi alat mitigasi yang bertanggung jawab pada satu konteks, tetapi menjadi alat *greenwashing* pada konteks lain. Dukungan ilmiah terhadap CCS tidak identik dengan dukungan moral terhadap semua bentuk penggunaannya. ([IEA](#))

2. Bagaimana teknologi CCS bekerja?

Secara sederhana, CCS terdiri dari empat mata rantai: **capture, compression, transport, storage**. CO₂ pertama-tama dipisahkan dari aliran gas lain di fasilitas industri atau pembangkit. Setelah itu ia dikompresi agar volumenya mengecil dan lebih mudah diangkut. Lalu CO₂ dipindahkan melalui pipa, kapal, atau moda lain menuju lokasi injeksi. Tahap terakhir adalah penyuntikan ke formasi geologi dalam—misalnya akuifer asin atau reservoir migas yang telah menurun—untuk penyimpanan jangka panjang. EPA di Amerika Serikat menjelaskan bahwa penyimpanan geologis dilakukan melalui injeksi ke formasi batuan dalam, dan kerangka *Class VI wells* dirancang khusus untuk tujuan penyimpanan geologis jangka panjang. ([US EPA](#))

Tahap **capture** adalah bagian yang paling mahal dan paling menuntut energi. Menurut klasifikasi DOE/NETL, pendekatan penangkapan CO₂ umumnya dibagi menjadi tiga: **post-combustion, pre-combustion, dan oxy-combustion**. Dalam *post-combustion*, CO₂ dipisahkan dari gas buang setelah pembakaran. Dalam *pre-combustion*, bahan bakar diubah lebih dahulu menjadi gas sintesis sehingga CO₂ dapat dipisahkan sebelum pembakaran akhir. Sementara *oxy-combustion* memakai oksigen hampir murni agar gas hasil pembakaran lebih kaya CO₂ dan lebih mudah dipisahkan. IEA juga menyebutkan bahwa teknologi-teknologi ini masih terus disempurnakan, dan belum jelas mana yang akan paling dominan dalam jangka panjang karena masing-masing memiliki tantangan biaya, integrasi proses, dan kesiapan komersial yang berbeda. ([netl.doe.gov](#))

Untuk fasilitas yang sudah ada, *post-combustion capture* biasanya paling menarik karena relatif lebih mudah dipasang sebagai retrofit. IEA menegaskan bahwa *post-combustion* umumnya lebih cocok untuk retrofit dibanding *pre-combustion* dan *oxy-fuel*, karena tidak memerlukan perubahan mendasar pada peralatan pembakaran. Di sini tampak logika teknis CCS: ia menarik justru karena dapat menempel pada infrastruktur industri yang sudah ada. Tetapi pada saat yang sama, sifat "retrofit-friendly" ini menimbulkan dilema etis: apakah kita sedang menurunkan emisi dari aset lama secara rasional, atau justru memperpanjang usia aset yang seharusnya dipensiunkan? (IEA)

Tahap **transport** menuntut infrastruktur tersendiri. Jika volume CO₂ kecil dan jarak jauh, kapal bisa lebih ekonomis; jika volume besar dan stabil, pipa sering menjadi pilihan utama. Ini membuat CCS bukan sekadar teknologi di satu pabrik, melainkan **ekosistem infrastruktur kawasan**. IEA berulang kali menekankan bahwa investasi pada jaringan transportasi dan penyimpanan CO₂ sangat menentukan, dan tanpa infrastruktur bersama, banyak proyek penangkapan tidak pernah menjadi layak secara ekonomi. Dengan kata lain, CCS semakin masuk akal ketika dilihat sebagai *cluster* atau *hub*, bukan proyek yang berdiri sendirian. (IEA)

Tahap **storage** adalah titik paling sensitif secara sosial dan moral. Penyimpanan geologis mengandaikan bahwa CO₂ dapat ditahan selama sangat lama di bawah tanah melalui kombinasi perangkap struktural, geokimia, dan tekanan-reservoir yang dikendalikan. IEA menyatakan sumber daya penyimpanan global secara teoritis sangat besar, tetapi banyak wilayah masih memerlukan penilaian lanjut agar kapasitas teoritis berubah menjadi kapasitas yang benar-benar "bankable". Artinya, potensi geologi saja tidak cukup; yang dibutuhkan adalah karakterisasi reservoir, pengawasan sumur, jaminan hukum, dan sistem akuntabilitas yang membuat penyimpanan dapat dipercaya. (IEA)

3. Apakah penyimpanan karbon itu aman dan permanen?

Pertanyaan publik yang paling wajar terhadap CCS adalah: **bagaimana jika CO2 bocor?** Secara etis, ini pertanyaan mendasar, sebab legitimasi CCS bergantung pada klaim bahwa karbon benar-benar tidak kembali ke atmosfer atau mencemari lingkungan lokal. Regulasi Indonesia sendiri mengakui kemungkinan kebocoran dengan mendefinisikannya secara eksplisit, mewajibkan mitigasi risiko kebocoran, integritas sumur, monitoring, dan MRV. EPA juga menempatkan perlindungan terhadap air minum bawah tanah dan keselamatan injeksi sebagai inti dari izin *Class VI*. Jadi, baik secara teknis maupun hukum, keselamatan penyimpanan bukan isu sekunder, melainkan jantung dari keseluruhan teknologi.

[\(Pajak\)](#)

Perlu dibedakan antara **risiko yang ada** dan **risiko yang tidak dapat dikelola**. Semua infrastruktur industri memiliki risiko: bendungan, pipa gas, kilang, pembangkit, bahkan baterai skala besar. Pertanyaan etis yang tepat bukan "apakah CCS bebas risiko?", melainkan "apakah risikonya dipahami, dipantau, dan dibagi secara adil?" Jika negara, operator, dan regulator dapat menunjukkan karakterisasi geologi yang baik, desain sumur yang benar, pemantauan jangka panjang, serta mekanisme tanggung jawab pasca-penutupan, maka risiko itu dapat dikelola. Tetapi jika proyek CCS dipromosikan hanya sebagai slogan dekarbonisasi tanpa kerangka pengawasan yang kuat, maka publik berhak menolaknya. [\(US EPA\)](#)

Etika kehati-hatian (*precautionary ethics*) di sini sangat penting. CCS menyentuh kepentingan lintas generasi: injeksi dilakukan sekarang, tetapi keamanannya harus terjaga puluhan sampai ratusan tahun ke depan. Karena itu, MRV bukan sekadar prosedur administratif. IPCC menegaskan bahwa integrasi teknologi penghilangan karbon ke dalam kebijakan iklim memerlukan **measurement, reporting, and verification** yang andal atas aliran karbon. Tanpa MRV yang kredibel, klaim "pengurangan emisi" berubah menjadi pernyataan yang sulit diverifikasi,

dan secara moral itu sama dengan memindahkan beban ketidakpastian ke generasi mendatang. (IPCC)

4. Di sektor mana CCS paling masuk akal?

Secara teknis dan etik, sektor yang paling kuat justifikasinya untuk CCS adalah **semen**. Alasannya bukan hanya emisi tinggi, melainkan karena sebagian emisi berasal dari reaksi kimia bahan baku. Bahkan jika semen diproduksi dengan energi terbarukan, sebagian emisi proses tetap muncul. IEA secara eksplisit menyebut CCS memainkan peran besar dalam skenario pengurangan emisi semen menuju net-zero, dan pemerintah perlu mendukung infrastruktur serta reformasi izin agar teknologi ini dapat diterapkan. Dalam kerangka etika utilitarian, dukungan terhadap CCS pada semen dapat dibenarkan karena ia menysasar emisi yang sulit dihindari dengan alternatif lain yang matang. (IEA)

Sektor kedua adalah **baja dan kimia**. Pada kedua sektor ini, tantangan dekarbonisasi tidak hanya soal panas proses, tetapi juga bahan baku, reaksi kimia, dan kesiapan teknologi alternatif. IEA menyatakan bahwa CCS dalam banyak wilayah merupakan pendekatan yang hemat biaya untuk menurunkan emisi pada baja dan kimia. Namun pembedanya tidak boleh otomatis. Dukungan terhadap CCS di baja, misalnya, secara etis lebih kuat bila proyek itu menjadi jembatan menuju produksi baja rendah emisi, bukan alasan untuk menunda investasi pada hidrogen hijau, efisiensi material, daur ulang besi tua, atau elektrifikasi proses yang secara jangka panjang bisa lebih bersih. (IEA)

Sektor ketiga adalah **pemrosesan gas alam dan produksi hidrogen tertentu**. Pada beberapa fasilitas, CO₂ sudah muncul dalam konsentrasi tinggi sebagai bagian dari proses sehingga penangkapannya lebih mudah. Secara teknis, proyek-proyek semacam ini sering menjadi "buah yang paling rendah" untuk memulai CCS karena biaya per ton lebih bersahabat dibanding sumber yang sangat encer. Tetapi di sini

tantangan etikanya lebih kompleks. Jika CCS pada proyek gas dipakai untuk menurunkan intensitas emisi sambil benar-benar membatasi emisi absolut, ia bisa dianggap langkah transisi. Namun jika ia dipakai untuk melegitimasi ekspansi gas jangka panjang tanpa strategi penurunan ketergantungan, maka secara moral posisinya jauh lebih rapuh. (IEA)

Yang paling problematis adalah **CCS pada pembangkit listrik fosil**, khususnya ketika digunakan untuk membenarkan pembangunan aset fosil baru di sistem yang sebenarnya sudah punya opsi murah dan cepat seperti surya, angin, efisiensi, interkoneksi, dan penyimpanan. IEA memang mengakui CCS dapat diretrofit pada aset yang ada dan membantu mengurangi emisi dari infrastruktur energi eksisting yang sebaliknya dapat melepaskan sekitar 600 miliar ton CO₂ dalam beberapa dekade. Namun secara etis, justifikasi ini lebih kuat untuk aset lama yang sulit segera dipensiunkan daripada untuk aset baru yang sejak awal memilih jalur emisi tinggi. Perbedaan ini penting: "mengurangi kerusakan dari warisan lama" tidak sama dengan "menciptakan warisan baru yang sama problematik." (IEA)

5. CCS, CCU, dan jebakan ilusi pengurangan emisi

Salah satu kesalahan umum dalam diskursus publik adalah menyamakan **pemanfaatan CO₂** dengan **penyimpanan karbon**. IEA sangat jelas bahwa penggunaan CO₂ tidak selalu menghasilkan pengurangan emisi. Jika CO₂ dipakai untuk bahan bakar sintetis atau bahan kimia yang kemudian dibakar atau terurai dalam waktu singkat, karbon itu pada akhirnya kembali ke atmosfer. IEA bahkan menyatakan bahwa dalam skenario net-zero, lebih dari **95% CO₂ yang ditangkap pada 2030** perlu disimpan secara geologis, sementara kurang dari 5% digunakan. Hanya beberapa aplikasi seperti agregat bangunan yang bisa mendekati penyimpanan permanen, sedangkan bahan bakar dan banyak bahan kimia biasanya menahan CO₂ hanya dalam horizon waktu pendek. (IEA)

Secara etis, ini berarti kebijakan publik harus berhati-hati menggunakan istilah. Bila sebuah proyek disebut "carbon management", publik bisa membayangkan pengurangan emisi permanen, padahal yang terjadi mungkin hanya **pergeseran sementara** dalam siklus karbon. Di sinilah kejujuran terminologis menjadi kewajiban moral. Pemerintah dan korporasi tidak cukup hanya menyampaikan bahwa CO₂ telah "dimanfaatkan"; mereka harus menjelaskan apakah karbon itu benar-benar keluar dari atmosfer dalam jangka panjang, atau sekadar dipakai ulang sebelum dilepas lagi. Tanpa kejelasan ini, CCS mudah bercampur dengan praktik komunikasi yang menyesatkan. (IEA)

Masalah semakin rumit jika CO₂ digunakan untuk **enhanced oil recovery (EOR)**. IEA mencatat bahwa sekitar 80 Mt CO₂ per tahun saat ini dipakai untuk EOR. Secara teknis memang ada penahanan karbon di bawah tanah dalam proses tersebut, tetapi secara etis EOR menimbulkan paradoks karena ia juga membantu memproduksi lebih banyak minyak. Karena itu, walaupun secara rekayasa ada manfaat tertentu, dari sudut pandang etika iklim, EOR sering dipandang ambigu: ia dapat mengurangi sebagian emisi per unit, tetapi sekaligus mempertahankan logika ekstraksi karbon yang lebih luas. (IEA)

6. Direct Air Capture: janji besar, kenyataan masih kecil

Jika CCS menangkap CO₂ dari cerobong atau proses industri, **direct air capture (DAC)** menangkap CO₂ langsung dari atmosfer. Secara filosofis, DAC menarik karena ia tidak sekadar menahan emisi baru, tetapi berpotensi menghapus sebagian karbon historis. Namun secara teknis DAC jauh lebih menantang. IEA menjelaskan bahwa CO₂ di udara jauh lebih encer daripada CO₂ di gas buang industri, sehingga DAC lebih **intensif energi** dan lebih mahal. Sampai saat ini, IEA mencatat 27 pabrik DAC telah beroperasi secara global dengan kapasitas gabungan sekitar **0,01 Mt CO₂ per tahun**, sementara rencana untuk sekitar 130 fasilitas masih berada pada berbagai tahap pengembangan dan sebagian besar masih sangat dini. (IEA)

IPCC menegaskan bahwa skenario yang membatasi pemanasan pada 1,5°C atau 2°C memang memerlukan sejumlah CDR untuk menyeimbangkan emisi residu yang sulit dihapus. Tetapi IPCC juga menekankan bahwa keterlambatan pengurangan emisi akan meningkatkan ketergantungan pada CDR skala besar di masa depan. Secara etis, ini sangat penting: DAC dan CDR bukan alasan untuk santai hari ini. Mereka lebih tepat dipahami sebagai "alat koreksi residu", bukan pengganti pengurangan emisi langsung. Jika negara atau perusahaan menggunakan janji DAC masa depan untuk membenarkan emisi hari ini, maka mereka sedang mengalihkan beban moral dan teknologi ke masa depan yang belum tentu siap. ([IPCC](#))

7. Status global CCS: berkembang, tetapi masih jauh dari cukup

Salah satu hal yang perlu dijelaskan dengan jujur adalah bahwa **CCS memang tumbuh, tetapi belum mendekati skala yang dibutuhkan**. Menurut IEA, saat ini terdapat sekitar **45 fasilitas komersial** yang beroperasi, dan lebih dari **700 proyek** berada pada berbagai tahap pengembangan di seluruh rantai nilai CCUS. Jika semua pengumuman bergerak maju, kapasitas penangkapan yang dapat tersedia pada 2030 mencapai sekitar **435 Mt CO₂ per tahun** dan kapasitas penyimpanan sekitar **615 Mt per tahun**. Namun angka itu masih hanya sekitar 40% dan 60% dari kebutuhan sekitar 1 Gt per tahun dalam skenario Net Zero Emissions 2050 IEA. ([IEA](#))

Global CCS Institute melaporkan angka yang bahkan lebih tinggi menurut metodologinya pada 2025: **77 proyek operasi, 47 dalam konstruksi**, dan **610 dalam berbagai tahap pengembangan**, dengan total kapasitas penangkapan proyek operasi dan pengembangan sekitar **513 Mtpa**. Perbedaan angka antara IEA dan Global CCS Institute tidak otomatis berarti salah satu keliru; biasanya ini terkait definisi proyek, cakupan komersial, dan titik hitung dalam rantai nilai. Justru perbedaan ini mengingatkan kita pada satu hal etis yang penting dalam kebijakan

iklim: transparansi metodologi. Klaim kemajuan teknologi harus selalu dibaca bersama cara pengukurannya. ([Global CCS Institute](#))

Dari sisi investasi, IEA mencatat bahwa belanja untuk bahan bakar rendah emisi—termasuk proyek-proyek yang sangat dipengaruhi kebijakan seperti hidrogen dan CCUS—masih **di bawah USD 30 miliar pada 2025**, kecil dibanding keseluruhan investasi energi global sebesar USD 3,3 triliun. IEA juga menambahkan bahwa jika semua proyek CCUS yang telah disetujui maju, investasi di CCUS dapat meningkat lebih dari sepuluh kali lipat pada 2027 dari level saat ini. Ini menunjukkan dua hal sekaligus: CCS mulai dianggap serius, tetapi secara finansial ia masih sangat bergantung pada dukungan kebijakan dan belum menjadi pasar yang sepenuhnya matang. ([IEA](#))

8. Ekonomi politik CCS: siapa membayar, siapa menikmati?

Secara ekonomis, masalah besar CCS bukan hanya teknologi, melainkan **insentif**. Proyek CCS sering menghasilkan manfaat iklim kolektif, tetapi biaya investasinya jatuh pada perusahaan atau pemerintah tertentu. Karena pasar karbon global belum cukup kuat dan stabil, banyak proyek CCS membutuhkan kredit pajak, kontrak dukungan, subsidi modal, atau jaminan pendapatan. Inggris, misalnya, mengumumkan dukungan hingga **£20 miliar** untuk pengerahan awal CCUS, sementara Uni Eropa mengadopsi strategi *industrial carbon management* untuk membangun pasar CO₂ tunggal dan lingkungan investasi yang lebih menarik. Amerika Serikat juga sangat mengandalkan instrumen 45Q untuk mempercepat penangkapan dan penyimpanan karbon. ([GOV.UK](#))

Dari sudut etika publik, muncul pertanyaan: **apakah pantas uang publik dipakai untuk membiayai CCS?** Jawabannya bergantung pada desainnya. Bila subsidi CCS dipakai untuk menurunkan emisi pada sektor-sektor yang benar-benar sulit digantikan, menciptakan pembelajaran teknologi, dan membangun infrastruktur bersama yang juga berguna untuk bio-CCS atau DAC di masa depan, maka ada

argumen moral yang cukup kuat untuk dukungan publik. Tetapi bila subsidi besar dialirkan ke proyek yang terutama memperpanjang laba industri fosil tanpa jaminan penurunan emisi absolut, publik berhak mempertanyakan keadilan penggunaan dana tersebut. Di sini prinsip **polluter pays** harus tetap menjadi acuan: negara boleh membantu mengatasi kegagalan pasar, tetapi tidak semestinya menghapus seluruh tanggung jawab pencemar. ([IEA](#))

Persoalan lain adalah **siapa yang menikmati manfaat ekonomi** dari infrastruktur CCS. Hub penyimpanan karbon dapat menciptakan nilai besar bagi operator infrastruktur, pemilik lahan, perusahaan migas, penyedia teknologi, dan negara penerima investasi. Namun beban sosial—dari risiko lokal, penggunaan ruang, kebutuhan pengawasan, hingga kemungkinan ketergantungan ekonomi baru—sering ditanggung komunitas setempat. Inilah sebabnya etika CCS harus memasukkan perspektif keadilan distributif: jangan sampai masyarakat lokal hanya menerima risiko, sementara nilai ekonominya mengalir ke pusat atau ke perusahaan multinasional. Prinsip *benefit sharing* dan persetujuan sosial menjadi penting. ([Pajak](#))

9. CCS dan bahaya *fossil lock-in*

Kritik etis paling tajam terhadap CCS adalah bahwa ia dapat menciptakan **fossil lock-in**, yaitu memperkuat ketergantungan pada sistem fosil karena para pelaku ekonomi merasa "masalah karbon sudah punya solusi teknis." Kritik ini bukan sepenuhnya ideologis; ia punya basis analitis. IPCC menegaskan bahwa keterlambatan penurunan emisi sekarang akan meningkatkan ketergantungan pada CDR dan teknologi penyeimbang di masa depan. Artinya, teknologi seperti CCS dapat berguna, tetapi jika ia dipakai untuk menunda perubahan struktural, hasil akhirnya justru memperburuk risiko iklim. ([IPCC](#))

Secara etis, kita perlu membedakan dua penggunaan CCS. Pertama, **CCS sebagai teknologi transisi yang disiplin**, dipakai pada aset lama atau

sektor proses industri untuk menurunkan emisi sambil tetap mendorong transformasi sistemik. Kedua, **CCS sebagai teknologi lisensi**, dipakai untuk memberi legitimasi moral pada ekspansi fosil yang seharusnya mulai dibatasi. Yang pertama masih dapat dibenarkan; yang kedua jauh lebih problematis. Karena itu, kebijakan CCS yang etis harus mensyaratkan bahwa proyek-proyeknya kompatibel dengan jalur penurunan emisi absolut, bukan hanya penurunan intensitas emisi. (IEA)

Dalam bahasa yang lebih sederhana: CCS sah sebagai **rem darurat**, tetapi tidak boleh dijadikan **SIM permanen** bagi sistem karbon tinggi. Ia layak dipakai untuk menahan emisi yang sulit dihindari, bukan untuk membiarkan masyarakat menunda keputusan sulit tentang efisiensi, perubahan pola konsumsi, elektrifikasi, dan energi terbarukan. Secara moral, sebuah teknologi pengendalian emisi harus diukur bukan dari kemampuannya menjaga kenyamanan bisnis lama, tetapi dari kontribusinya terhadap perubahan yang adil dan tahan lama. (IPCC)

10. Keadilan antargenerasi dan hak masyarakat terdampak

CCS juga menimbulkan pertanyaan tentang **keadilan antargenerasi**. Generasi sekarang memperoleh manfaat dari tetap berjalannya industri, listrik, bahan bangunan, dan aktivitas ekonomi, sementara risiko jangka panjang penyimpanan, pemantauan, dan tanggung jawab hukum dapat diwariskan ke generasi berikutnya. Secara etis, ini hanya dapat dibenarkan bila ada desain kelembagaan yang memastikan tanggung jawab jangka panjang, dana pemantauan, standar keselamatan, serta mekanisme penanganan bila terjadi masalah. Regulasi Indonesia yang memasukkan monitoring, integritas sumur, mitigasi kebocoran, dan izin operasi menunjukkan kesadaran awal terhadap hal ini, tetapi implementasinya akan menentukan legitimasi nyatanya. (Pajak)

Di tingkat lokal, isu yang muncul adalah **hak masyarakat untuk tahu dan untuk didengar**. Tidak semua komunitas memiliki kapasitas teknis menilai reservoir, pipa CO₂, atau analisis bawah permukaan. Karena itu

negara memiliki kewajiban etik untuk menyediakan informasi yang dapat dipahami, konsultasi yang bermakna, dan akses terhadap pengaduan. OECD menekankan pentingnya partisipasi warga dan *open government* dalam transisi hijau secara umum. Pelajaran itu relevan penuh untuk CCS: proyek yang secara teknis aman sekalipun dapat gagal secara sosial bila dipaksakan tanpa legitimasi proses. ([Energy](#))

Selain itu ada dimensi **keadilan spasial**. Banyak kawasan yang cocok untuk penyimpanan geologis bukanlah kawasan yang menghasilkan emisi besar. Ini bisa memunculkan skema lintas wilayah, bahkan lintas negara, di mana emisi dari pusat industri dikirim ke kawasan lain untuk disimpan. Secara teknis, ini mungkin efisien. Secara etis, ia menuntut tata kelola yang sangat hati-hati agar tidak berubah menjadi bentuk baru *environmental burden shifting*—pemindahan beban lingkungan dari wilayah kaya industri ke wilayah yang punya kapasitas geologi tetapi lebih lemah secara politik. Uni Eropa, misalnya, justru secara eksplisit sedang membangun strategi pasar CO₂ lintas batas untuk industrial carbon management. Itu efisien, tetapi harus diimbangi aturan tanggung jawab, transparansi, dan persetujuan yang jelas. ([Energy](#))

11. Kebenaran karbon: masalah MRV dan integritas klaim

Dalam era pasar karbon, kredit pajak, dan target net-zero perusahaan, CCS juga menghadirkan masalah **epistemik**: bagaimana kita tahu bahwa karbon benar-benar ditangkap, diangkut, dan disimpan sebagaimana diklaim? IPCC menekankan perlunya MRV yang andal atas aliran karbon. Perpres Indonesia pun mendefinisikan MRV secara eksplisit sebagai mekanisme untuk memastikan aksi mitigasi dilaksanakan sesuai standar dan kebenarannya terjamin. Tanpa sistem ini, CCS berisiko menjadi permainan angka di atas kertas, bukan pengurangan emisi riil. ([IPCC](#))

Ini bukan sekadar persoalan administratif, melainkan persoalan **etika kebenaran**. Jika sebuah perusahaan mengklaim telah “mengurangi emisi” karena menangkap CO₂, tetapi kebocoran tidak dipantau, emisi

hulu diabaikan, energi tambahan untuk penangkapan tidak dihitung, atau CO₂ hanya dipakai sementara lalu dilepas kembali, maka publik sedang diberi gambaran yang tidak lengkap. Dalam etika komunikasi lingkungan, klaim yang benar secara harfiah tetapi menyesatkan secara substantif tetap merupakan masalah moral. Karena itu, integritas CCS sangat bergantung pada kualitas akuntansi karbonnya. ([IEA](#))

12. Relevansi bagi Indonesia

Bagi Indonesia, CCS mempunyai relevansi yang unik. IEA mencatat bahwa pertumbuhan ekonomi Indonesia telah membawa implikasi besar bagi sektor energi dan emisi, dengan peran batubara yang masih besar, serta keberadaan pembangkit dan fasilitas industri muda seperti semen, besi, dan baja. IEA juga menyebut Indonesia telah mengambil langkah penting dengan menyelesaikan kerangka regulasi awal untuk CCUS pada 2023, tetapi perlu memperluas kerangka itu di luar sektor minyak dan gas agar CCS benar-benar dapat membantu dekarbonisasi sektor lain dan menempatkan Indonesia sebagai pemimpin regional. ([IEA](#))

Perpres 14/2024 memberi Indonesia dasar hukum untuk penangkapan, pengangkutan, injeksi, penyimpanan, MRV, mitigasi kebocoran, dan izin penyimpanan karbon. Ditjen Migas juga menegaskan bahwa mekanisme CCS dalam kontrak kerja sama migas diatur melalui Permen ESDM 2/2023, sementara wilayah izin penyimpanan karbon diatur melalui Permen ESDM 16/2024. ESDM pada 2024 bahkan menyatakan menargetkan mayoritas dari **15 proyek** CCS/CCUS dapat beroperasi mulai 2030. Semua ini menunjukkan bahwa Indonesia tidak lagi berada pada tahap diskusi abstrak; ia sudah masuk ke fase pembentukan rezim kebijakan dan pasar. ([Pajak](#))

Namun secara etis, Indonesia harus berhati-hati agar CCS tidak menjadi dalih untuk **mengunci batubara dan gas lebih lama** tanpa peta jalan penurunan emisi absolut. Argumen yang lebih kuat bagi Indonesia ada pada sektor-sektor proses seperti semen, baja, pemrosesan gas, serta

kemungkinan pembangunan *storage hub* regional yang diatur dengan sangat ketat. Jika Indonesia membangun keunggulan geologis dan regulatifnya secara bijaksana, CCS dapat menjadi peluang industri baru. Tetapi jika orientasinya semata mengejar monetisasi penyimpanan tanpa kerangka keadilan lingkungan, transparansi, dan integritas karbon, maka manfaat ekonominya akan dibayar mahal oleh legitimasi sosial dan reputasi iklim negara. ([IEA](#))

13. Prinsip etika untuk penggunaan CCS yang dapat dibenarkan

Dari seluruh pembahasan di atas, saya melihat sedikitnya **enam prinsip etika** yang harus menjadi syarat legitimasi CCS.

Pertama, prinsip tambahanitas. CCS hanya layak didukung jika ia menghasilkan pengurangan emisi yang benar-benar tambahan, bukan sekadar menutupi ekspansi emisi baru atau menggantikan opsi yang lebih murah dan lebih bersih yang sebenarnya tersedia. Prinsip ini sejalan dengan peringatan IPCC bahwa penundaan pengurangan emisi sekarang meningkatkan ketergantungan pada CDR dan teknologi penyeimbang di masa depan. ([IPCC](#))

Kedua, prinsip prioritas sektoral. Dukungan moral dan fiskal harus diprioritaskan pada sektor proses yang sulit dihapus emisinya—terutama semen, sebagian baja, kimia, dan beberapa penggunaan industri—bukan dibagi rata ke semua sektor. Basis teknis IEA untuk semen dan industri berat memberi dasar kuat bagi diferensiasi ini. ([IEA](#))

Ketiga, prinsip polluter pays yang dimodifikasi. Negara boleh membantu membangun infrastruktur awal dan mengurangi risiko investasi, tetapi pelaku emisi tetap harus menanggung bagian yang signifikan dari biaya dan tanggung jawab. Subsidi publik tanpa pembagian tanggung jawab hanya akan memindahkan beban dari pencemar ke wajib pajak. ([IEA](#))

Keempat, prinsip kehati-hatian dan transparansi. Proyek CCS harus disertai penilaian risiko, MRV, monitoring jangka panjang, integritas

sumur, dan komunikasi publik yang jujur. Perpres Indonesia dan kerangka EPA menunjukkan bahwa secara regulatif ini memang fondasi dasar. ([Pajak](#))

Kelima, prinsip keadilan prosedural. Komunitas yang menjadi lokasi infrastruktur CCS harus dilibatkan secara bermakna, bukan hanya diberi informasi sepihak. Legitimasi moral proyek tidak hanya ditentukan oleh *engineering design*, tetapi juga oleh kualitas proses politiknya. ([Energy](#))

Keenam, prinsip temporer-strategis. CCS harus diposisikan sebagai alat untuk menekan emisi residu dan menolong sektor tertentu melewati masa transisi, bukan sebagai dasar peradaban energi jangka panjang yang terus bertumpu pada karbon. Prinsip ini menjaga agar CCS tidak berubah dari solusi terbatas menjadi ideologi pembenaran. ([IEA](#))

14. Penutup

CCS adalah contoh klasik dari teknologi yang **secara teknis masuk akal tetapi secara etis tidak otomatis sah**. Ia dapat menjadi instrumen penting untuk mengendalikan emisi pada sektor-sektor tertentu yang memang sulit didekarbonisasi. Ia juga dapat menjadi bagian dari strategi jangka panjang untuk menangani emisi residu dan, dalam bentuk tertentu seperti DACCS atau BECCS, menopang kebutuhan penghilangan karbon yang diakui IPCC dalam banyak skenario iklim. Namun semua manfaat itu bergantung pada cara CCS ditempatkan dalam arsitektur kebijakan yang lebih besar. ([IEA](#))

Secara moral, ukuran keberhasilan CCS bukan hanya berapa juta ton CO₂ yang ditangkap, melainkan juga: apakah ia mempercepat atau menunda transisi; apakah ia jujur dalam akuntansi karbon; apakah ia melindungi masyarakat lokal; apakah ia membagi beban dan manfaat secara adil; dan apakah ia membebaskan masa depan dari karbon atau justru memperpanjang ketergantungan terhadapnya. Di sinilah teknologi bertemu etika. CCS bukan sekadar soal menangkap molekul CO₂, tetapi tentang **menangkap kecenderungan politik dan ekonomi manusia**

untuk mencari jalan pintas. Bila dirancang dengan disiplin, CCS bisa menjadi alat yang bernilai. Bila dipakai tanpa batasan moral, ia bisa berubah menjadi topeng yang rapi bagi keterlambatan tindakan iklim. (IEA)

Dalam konteks itu, posisi akademik yang paling seimbang bukanlah "pro-CCS" atau "anti-CCS" secara mutlak, melainkan **kondisional dan kritis**: ya untuk CCS pada sektor yang benar-benar membutuhkannya, ya untuk regulasi yang ketat, ya untuk MRV yang kredibel, ya untuk partisipasi publik, tetapi tidak untuk menjadikan CCS sebagai lisensi moral bagi kelanjutan ekonomi karbon tinggi. Teknologi ini berguna justru ketika ia tahu batasnya. Dan dalam etika lingkungan, kemampuan mengenali batas sering kali lebih penting daripada kemampuan mengklaim solusi. (IEA)

Berikut **glosarium** dan **daftar referensi** untuk topik "**Carbon Capture and Storage: Teknologi dan Etika Pengendalian Emisi.**"

Glosarium

1. Carbon Capture and Storage (CCS)

Teknologi yang mencakup penangkapan CO₂ dari sumber emisi, pengangkutannya, lalu penyimpanannya secara geologis agar tidak terlepas ke atmosfer. Dalam kerangka Indonesia, CCS didefinisikan sebagai penangkapan, pengangkutan, penginjeksian, dan penyimpanan karbon secara aman dan permanen sesuai kaidah keteknikan yang baik.

2. Carbon Capture, Utilisation and Storage (CCUS)

Istilah payung yang mencakup CCS, CCU, serta penggunaan CO₂ yang sekaligus menghasilkan penyimpanan sebagian atau seluruh karbon

secara permanen, misalnya pada beberapa material bangunan atau EOR tertentu.

3. Carbon Capture and Utilisation (CCU)

Pemanfaatan CO₂ yang ditangkap untuk produk atau proses tertentu, misalnya bahan bakar, bahan kimia, atau material. Tidak semua jalur CCU memberi manfaat iklim yang permanen, karena sebagian CO₂ bisa kembali ke atmosfer setelah produk digunakan.

4. Carbon Dioxide Removal (CDR)

Teknologi, praktik, atau pendekatan yang menghilangkan CO₂ dari atmosfer dan menyimpannya secara tahan lama. IPCC menegaskan CDR diperlukan untuk mencapai net zero CO₂ dan menyeimbangkan emisi residu yang sulit dihilangkan.

5. Direct Air Capture (DAC)

Teknologi yang menangkap CO₂ langsung dari udara ambien, bukan dari cerobong atau aliran gas proses. Karena konsentrasi CO₂ di udara sangat rendah, DAC biasanya lebih intensif energi dan lebih mahal daripada penangkapan dari sumber titik.

6. Hard-to-abate sectors

Sektor-sektor yang sulit menurunkan emisinya hanya dengan elektrifikasi atau energi terbarukan, seperti semen, baja, bahan kimia, dan sebagian proses industri berat. IEA menilai CCUS sangat relevan untuk kategori sektor ini.

7. Post-combustion capture

Metode penangkapan CO₂ dari gas buang setelah bahan bakar dibakar. Pendekatan ini lazim dianggap paling cocok untuk retrofit pada fasilitas yang sudah ada.

8. Pre-combustion capture

Metode penangkapan CO₂ sebelum pembakaran akhir, biasanya setelah

bahan bakar diubah menjadi gas sintesis sehingga CO₂ dapat dipisahkan lebih awal.

9. Oxy-combustion

Metode pembakaran dengan oksigen hampir murni agar gas hasil pembakaran lebih kaya CO₂ dan lebih mudah dipisahkan. Ini adalah salah satu pendekatan utama dalam keluarga teknologi penangkapan karbon.

10. CO₂ transport

Tahap pengangkutan CO₂ yang telah dikompresi menuju lokasi penyimpanan atau pemanfaatan, biasanya melalui pipa atau kapal. Dalam praktik, kelayakan CCS sangat bergantung pada tersedianya infrastruktur transportasi bersama.

11. Geological storage / geologic sequestration

Penyimpanan CO₂ di formasi geologi dalam, seperti akuifer asin dalam atau reservoir migas yang sesuai. EPA menjelaskan bahwa penyimpanan jangka panjang semacam ini disebut geologic sequestration.

12. Class VI well

Klasifikasi sumur injeksi di Amerika Serikat yang khusus digunakan untuk injeksi CO₂ ke formasi batuan dalam untuk penyimpanan geologis jangka panjang. Aturan ini dirancang untuk melindungi keselamatan dan air tanah.

13. Permanence

Prinsip bahwa karbon yang ditangkap harus disimpan secara tahan lama dan tidak kembali ke atmosfer dalam horizon waktu yang relevan bagi mitigasi iklim. Dalam regulasi Indonesia, penyimpanan ditekankan harus aman dan permanen.

14. Leakage / kebocoran

Lepasnya CO₂ dari sistem transportasi, sumur, atau formasi geologi

penyimpanan. Karena itulah regulasi CCS menuntut pemantauan, mitigasi risiko, dan integritas sumur.

15. MRV (Measurement, Reporting, and Verification)

Sistem pengukuran, pelaporan, dan verifikasi untuk memastikan karbon yang ditangkap, diangkut, digunakan, atau disimpan benar-benar sesuai dengan klaimnya. IPCC menekankan MRV yang andal sebagai syarat integrasi CDR dan pengelolaan karbon ke dalam kebijakan iklim.

16. Enhanced Oil Recovery (EOR)

Pemanfaatan CO₂ untuk meningkatkan perolehan minyak dari reservoir. Dalam beberapa kasus CO₂ juga tertahan di bawah tanah, tetapi secara etis dan iklim, EOR sering diperdebatkan karena tetap terkait dengan produksi minyak tambahan.

17. Capture capacity

Kapasitas fasilitas atau portofolio proyek untuk menangkap CO₂, biasanya dinyatakan dalam ton atau juta ton per tahun. IEA dan Global CCS Institute menggunakan indikator ini untuk melacak perkembangan proyek CCS/CCUS global.

18. Storage capacity

Kapasitas formasi geologi atau infrastruktur untuk menerima dan menyimpan CO₂. IEA membedakan antara kapasitas teoretis dan kapasitas yang benar-benar siap dipakai secara komersial dan regulatif.

19. CCS hub / cluster

Model pengembangan CCS berbasis kawasan, di mana beberapa sumber emisi menggunakan jaringan transportasi dan penyimpanan CO₂ yang sama. Pendekatan ini dapat menurunkan biaya dan meningkatkan keekonomian proyek.

20. Fossil lock-in

Kondisi ketika infrastruktur, kontrak, dan kebijakan baru justru memperpanjang ketergantungan pada sistem energi fosil. Dalam debat

CCS, istilah ini dipakai untuk mengkritik penggunaan CCS yang berpotensi menunda transformasi energi yang lebih mendasar. Hal ini sejalan dengan peringatan IPCC bahwa keterlambatan pengurangan emisi saat ini akan meningkatkan ketergantungan pada teknologi penyeimbang di masa depan.

21. Industrial carbon management

Pendekatan kebijakan untuk membangun pasar, infrastruktur, dan kerangka investasi bagi penangkapan, pemanfaatan, transportasi, dan penyimpanan karbon, terutama di sektor industri. Uni Eropa secara resmi mengadopsi strategi industrial carbon management pada 2024.

22. Net zero emissions

Kondisi ketika emisi yang masih dilepas diseimbangkan oleh penghilangan atau penyimpanan karbon yang andal, sehingga emisi bersih mendekati nol. Dalam banyak skenario, CDR diperlukan untuk menyeimbangkan emisi residu.

23. Sektor semen sebagai kasus khusus CCS

Dalam industri semen, sebagian emisi berasal dari proses kimia kalsinasi, bukan hanya dari bahan bakar. Karena itu, IEA menilai CCS memainkan peran besar untuk membawa sektor semen menuju lintasan net-zero.

24. Perpres 14 Tahun 2024

Peraturan Presiden Indonesia yang mengatur penyelenggaraan kegiatan penangkapan dan penyimpanan karbon. Regulasi ini menjadi fondasi umum bagi izin, penyimpanan, MRV, dan tata kelola CCS nasional.

25. Permen ESDM No. 2 Tahun 2023

Peraturan Menteri ESDM yang mengatur penyelenggaraan CCS dan CCUS pada kegiatan usaha hulu minyak dan gas bumi. Regulasi ini merupakan salah satu dasar awal kerangka hukum CCS Indonesia.

26. Permen ESDM No. 16 Tahun 2024

Peraturan Menteri ESDM tentang penyelenggaraan kegiatan

penyimpanan karbon pada wilayah izin penyimpanan karbon. Aturan ini mengatur penyiapan, penetapan, dan penawaran wilayah izin penyimpanan karbon.

Referensi

International Energy Agency. *CCUS in Clean Energy Transitions*. IEA, 2020.

International Energy Agency. *Carbon Capture Utilisation and Storage*. IEA Energy System page, diperbarui 2024.

International Energy Agency. *CCUS in the Transition to Net-Zero Emissions*. IEA.

International Energy Agency. *Direct Air Capture*. IEA Energy System page.

International Energy Agency. *Carbon Capture, Utilisation and Storage in Indonesia*. IEA, 2023.

International Energy Agency. *Cement*. IEA Energy System page.

International Energy Agency. *Global Energy Review 2025: CO2 Emissions*. IEA, 2025.

International Energy Agency. *Announced and operational carbon capture, utilisation and storage capacity in 2030 across editions of IEA CCUS Projects Database*. IEA Data & Statistics, 2025.

Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change – Technical Summary (AR6 WGIII)*. IPCC, 2022.

Intergovernmental Panel on Climate Change. *Carbon Dioxide Removal – AR6 WGIII Factsheet*. IPCC.

United States Environmental Protection Agency. *Class VI Wells Used for Geologic Sequestration of Carbon Dioxide*. EPA.

U.S. DOE / National Energy Technology Laboratory. *Carbon Dioxide Capture Approaches*. NETL.

European Commission. *Industrial Carbon Management*. European Commission, 2024.

Global CCS Institute. *Global Status of CCS 2025*. Global CCS Institute, 2025.

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

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

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. *Peraturan Menteri ESDM Nomor 16 Tahun 2024 tentang Penyelenggaraan Kegiatan Penyimpanan Karbon pada Wilayah Izin Penyimpanan Karbon dalam Rangka Kegiatan Penangkapan dan Penyimpanan Karbon*.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. *Pemerintah Targetkan 15 Proyek CCS/CCUS Onstream Tahun 2030*. ESDM, 2024.

Copilot for this article - Chatgpt 5.2 Thinking. Access date: 1 Maret 2026
Prompting on Writer's account ([Rudy C Tarumingkeng](#))

<https://chatgpt.com/c/69a16ce0-f480-8399-8ca3-e027be9be2d5>