



Ditulis: Shafwan Amrullah

Dosen Universitas Jember/ Peneliti Rinjani Institute

Apa itu CCS?

Carbon capture storage (CCS) merupakan teknologi mutakhir dalam hal penangkapan karbon terutama CO₂ di udara. Tidak hanya itu, karbon yang telah ditangkap tersebut akan diteruskan ke dalam system penyimpanan. Teknologi CCS ini pula yang menjadi salah satu solusi dalam penanganan polusi karbon terutama CO₂.

Latar Belakang

Tujuan adanya teknologi CCS ini terutama disebabkan karena perkembangan keadaan udara yang semakin mengkhawatirkan. Volume emisi terutama CO₂ di udara semakin meningkat. Hal ini tentu disebabkan karena semakin banyaknya sumber CO₂ yang terdeteksi. Sumber utama dari adanya CO₂ ini adalah kendaraan bermotor yang semakin meningkat pesat. Selain itu, Semakin besarnya penggunaan batu bara sebagai sumber bahan bakar untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) jenis bahan bakar batu bara memperparah keadaan ini. Secara keseluruhan, volume emisi CO₂ oleh bahan bakar fosil tercatat telah mencapai 56% dari jumlah total emisi global. Sumber CO₂ saat ini berasal dari 7.500 instalasi dengan hasil CO₂ mencapai lebih dari 1 juta ton setiap tahunnya. Walaupun begitu, CO₂ pada dasarnya dapat digunakan oleh tanaman sebagai bahan baku fotosintesis. Pada keadaan ini, CO₂ dikatakan sebagai carbon neutral, dimana CO₂ dapat digunakan Kembali oleh tumbuhan setelah terbentuk dari hasil pembakaran maupun respirasi makhluk hidup. Namun pada kenyataannya sejak terjadinya peningkatan jumlah CO₂ oleh adanya pembangkit Listrik Batu Bara hingga kendaraan bermotor yang tidak terbandung, kadar CO₂ diudara telah melampaui kemampuan tanaman dalam mendegradasinya. Hal ini merupakan penyebab utama pemanasan global. Di lain pihak, program pemerintah dalam menanam pohon kembali belum bisa menangani hal ini secara nyata dan massive. Beberapa teknologi yang telah digagas oleh Indonesia seperti penanaman pohon dan pengurangan kendaraan beromotr ini pada kenyataannya belum dapat membendung peningkatan CO₂ di udara Indonesia.

Pernyataan Isu

1. Karbon dalam bentuk CO₂ semakin meningkat setiap harinya, terutama di Negara Berkembang Seperti di Indonesia.
2. Pengurangan kadar CO₂ di Indonesia belum secara konkrit terbukti nyata
3. Perlu ada teknologi CCS dalam menanggulangi kelebihan kadar CO₂ di Indonesia

Teknologi CCS yang telah ada

1. Pre-Combustion

Sistem CCS ini dilakukan sebelum terjadinya proses pembakaran bahan bakar fosil. Artinya bahwa dilakukan treatment CO₂ menggunakan system pembakaran parsial, sehingga menghasilkan CO dan H₂ yang dikenal dengan gas syntetik. Gas ini dapat dipergunakan kembali sebagai bahan bakar gas konvensional yang tidak menghasilkan polusi berlebihan. Namun begitu, kekurangan teknologi ini adalah diperlukan energi tambahan dalam proses pembakaran awalnya.

2. Post-Combustion

Sistem ini bekerja dengan melakukan penangkapan CO₂ setelah dilakukan pembakaran pada sumber. CO₂ akan ditangkap dengan larutan tertentu sehingga CO₂ dapat dijerap dalam larutan khusus tersebut. Akan tetapi, sistem ini cukup mahal, dan dapat menyebabkan korosi atau karat pada peralatan yang digunakan.

3. Oxyfuel Combustion

Sistem ini menggunakan oksigen murni sebagai penghasil gas buang berupa uap air dan CO₂ dengan konsentrasi CO₂ lebih tinggi daripada uap air. Uap air hasil dari gas buang kemudian dihilangkan dengan mendinginkan dan mengompresi aliran gas. Teknologi ini lebih sederhana dan murah daripada proses absorpsi, tetapi memiliki kelemahan dalam menghasilkan aliran oksigen murni yang butuh biaya tinggi.

Rekomendasi Kebijakan

Inilah pengembangan teknologi CCS yang lebih murah dan efisien ala Indonesia.

Teknologi terbaru yang lebih efisien telah ditemukan, dimana ke tiga teknologi yang telah saya paparkan di atas dapat dimodifikasi bahkan diganti menggunakan teknologi ini, hingga lebih murah dan efisien. Teknologi ini dinamakan adsorber CCS. Teknologi ini merupakan jenis CCS Post-Combustion, namun dengan memanfaatkan meterial padatan sebagai adsorbentnya. Material padat ini dapat menangkap CO₂ yang terbentuk setelah pembakaran terjadi. CO₂

yang ditangkap diikat pada permukaan bahan material yang digunakan. Cara ini sedikit mirip dengan teknologi absorbent yang telah dijelaskan sebelumnya, akan tetapi penggunaan cairan pada absorbent dapat mengakibatkan karat pada alat yang digunakan. Sedangkan adsorbent dari material padatan ini jauh lebih aman dan juga murah. Proses adsorpsi CO₂ padat ini juga membutuhkan lebih sedikit ruang, energi yang lebih rendah, hemat biaya dan mudah ditangani dalam rentang suhu dan tekanan yang luas

Material padat yang digunakan sangat beragam, akan tetapi yang saat ini dikethuai paling efektif adalah SiO₂ dan Al₂O₃. Ternyata sumber kedua senyawa ini adalah pasir silika dan juga fly ash sisa pembakaran batu bara, yang notabene merupakan limbah di Indonesia. Pada fly ash sendiri mengandung SiO₂ sebesar 58,75%, Al₂O₃ sebesar 25,82%, Fe₂O₃ sebesar 5,30%, CaO sebesar 4,66%, alkali sebesar 1,36%, MgO sebesar 3,30% dan bahan lainnya sebesar 0,81%. Sehingga dengan menggunakan fly ash sebagai bahan baku adsorbent merupakan Langkah yang tepat. Berdasarkan kenyataan ini, tentunya Indonesialah yang paling potensial dalam mengembangkan CCS dengan system adsorbent ini. Kendati Indonesia merupakan sumber pasir silika terbesar di dunia. Selain itu, adanya PLTU dengan sumber pembakaran batu bara Indonesia, dapat menyediakan sumber fly ash sebagai bahan utama material adsorbent. Kenyataan ini selain memberikan kita perspektif penyelesaian sumber material, juga menjadi solusi secara simultan, artinya penggunaan material fly ash hasil pembakaran batu bara dapat menjadi solusi terhadap pengurangan limbah buang pembakaran batu bara, yang sekaligus juga sebagai solusi dalam penangkapan CO₂ yang lebih murah di Indonesia. Di lain pihak, hasil penelitian telah membutkitkan bahwa adsorbent yang terbuat dari karbon aktif, zeolit, dan MOF (metal-organic framework) dapat menyerap CO₂ hingga 90%.

References

Friedlingstein, P., Jones, M. W., O'Sullivan, M., Andrew, R. M., Bakker, D. C. E., Hauck, J., ... & Le Quéré, C. (2023). Global Carbon Budget 2023. *Earth System Science Data*, 15(11), 4521–4590.

Global Carbon Project. (2023). Emisi CO₂ Fosil Dunia Mencapai Rekor Tertinggi pada Tahun 2023 [Siaran Pers]. Madani Berkelanjutan.

Budi, R. F. S., & Suparman. (2015). Perhitungan faktor emisi CO₂ PLTU batubara dan PLTN. Pusat Pengembangan Energi Nuklir BATAN

Antonini, C., et al. (2020). "Hydrogen production from natural gas and biomethane with carbon capture and storage – A techno-environmental analysis." *Sustainable Energy & Fuels*, 4, 2967-2986. DOI: 10.1039/DO5E00222D.

Elegbeleye, I. F., Oguntona, O. A., & Elegbeleye, F. A. (2023). The Role of Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) Technologies and Artificial Intelligence (AI) in Achieving Net-Zero Carbon Footprint: Advances, Implementation Challenges, and Future Perspectives. *Technologies*, 13(11), 509.

<https://doi.org/10.3390/technologies13110509>

Zhang, S., Shen, Y., Zheng, C., Xu, Q., Sun, Y., Huang, M., Li, L., Yang, X., Zhou, H., Ma, H., Li, Z., Zhang, Y., Liu, W., & Gao, X. (2024). Recent advances, challenges, and perspectives on carbon capture. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 18, 75. <https://doi.org/10.1007/s11783-024-1835-0>

Hald-Mortensen, C. (2024). Recent Advances in CCS, CCU and CarbonTech: Feasible Solutions for Achieving Net Zero? *Journal of Material Sciences & Applied Engineering*, 3(6), 01-08.

https://mkscienceset.com/articles_file/590- article1735800946.pdf

Neutel, J., Berson, A., Saltzer, S., Brant, A., Weyant, J., Orr Jr, F., & Benson, S. (2025). What will it take to get to net-zero emissions in California? *Energy Policy*, 208. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2025.114848>

Zoback, M., & Hennings, P. (2025). Implications of earthquakes triggered by massive injection of produced water in saline aquifers for large-scale geologic storage of CO₂. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 146.

<https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2025.104447>

Raizada, A., Berg, S., Benson, S., Tchelepi, H., & Spurin, C. (2025). Dynamic mode decomposition of 4D imaging data to explore intermittent fluid connectivity in subsurface flows. *Journal of Fluid Mechanics*.

Frontiers in Energy Research. Carbon Capture, Utilization and Storage section.

<https://www.frontiersin.org/journals/energy-research/sections/carbon-capture-utilization-and-storage>

Anggraeni, V. N. M., Ayunisa, N., & Kusuma, R. M. (2025). Analisis Perbandingan Efisiensi Adsorpsi Karbon Aktif (Variasi Massa Adsorben) dan Aerasi Untuk Pengolahan Air Limbah di Unit API (American Petroleum Institute) II PPSDM MIGAS. *Swara Patra : Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, 15(2), 145–156. <https://doi.org/10.37525/sp/2025-2/1182>

Detail Lembaga

Website: www.unej.ac.id

Phone Number: (0331) 330224