

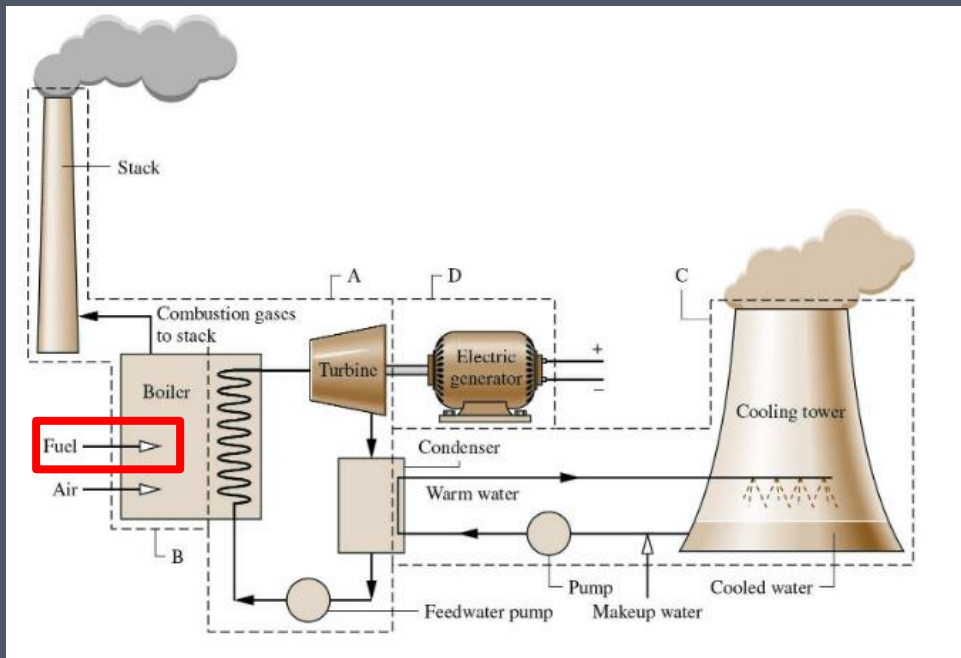


Nuclear and CCS/CCUS

A photograph of a thermal power plant featuring several large, cylindrical cooling towers and tall, slender smokestacks. The scene is set against a sky with scattered, light-colored clouds. In the foreground, there are greenhouses and some trees. A semi-transparent blue banner is overlaid on the left side of the image, containing text.

Thermal power plant

Pembangkit listrik termal merupakan pembangkit yang menggunakan energi panas untuk dapat dikonversi menjadi energi listrik.

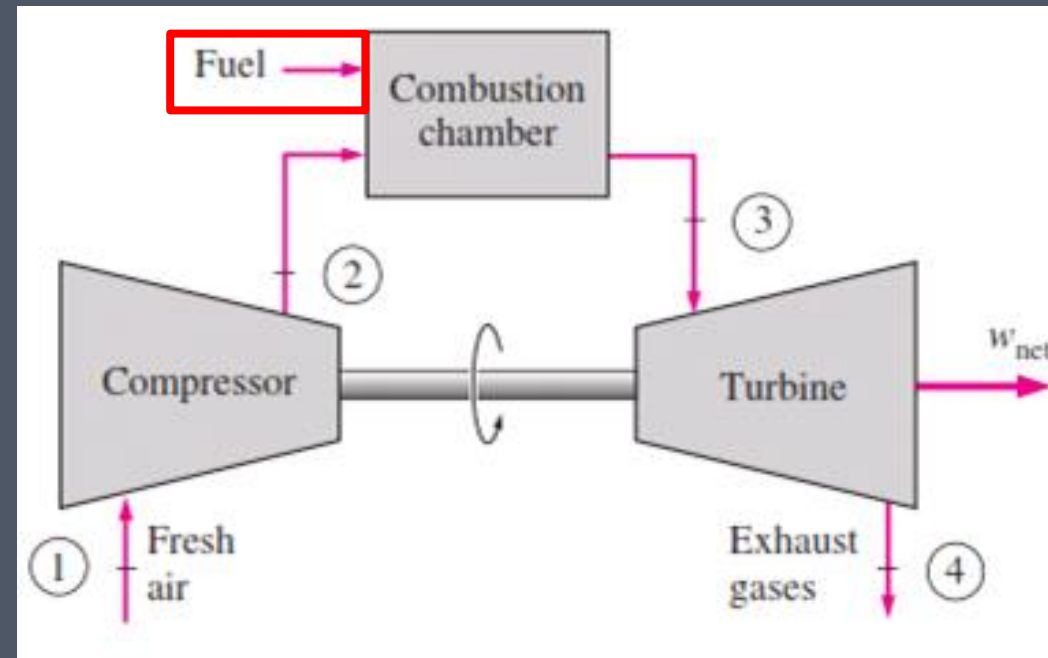


Rankine Cycle

PLTU/Coal PP; PLTBm/Biomass PP; PLTP/Geothermal;
 PLTN/Nuclear PP; OTEC

Fuel

yang memengaruhi sumber energi serta penamaan pembangkitnya; PLTX



Brayton Cycle

PLTG/OCGT (Natural Gas, Biogas, Hydrogen, Ammonia)

Komponen-komponen PLTN.

Teras reactor/Core:

Terjadinya reaksi nuklir berantai

Batang kendali/ control rods:

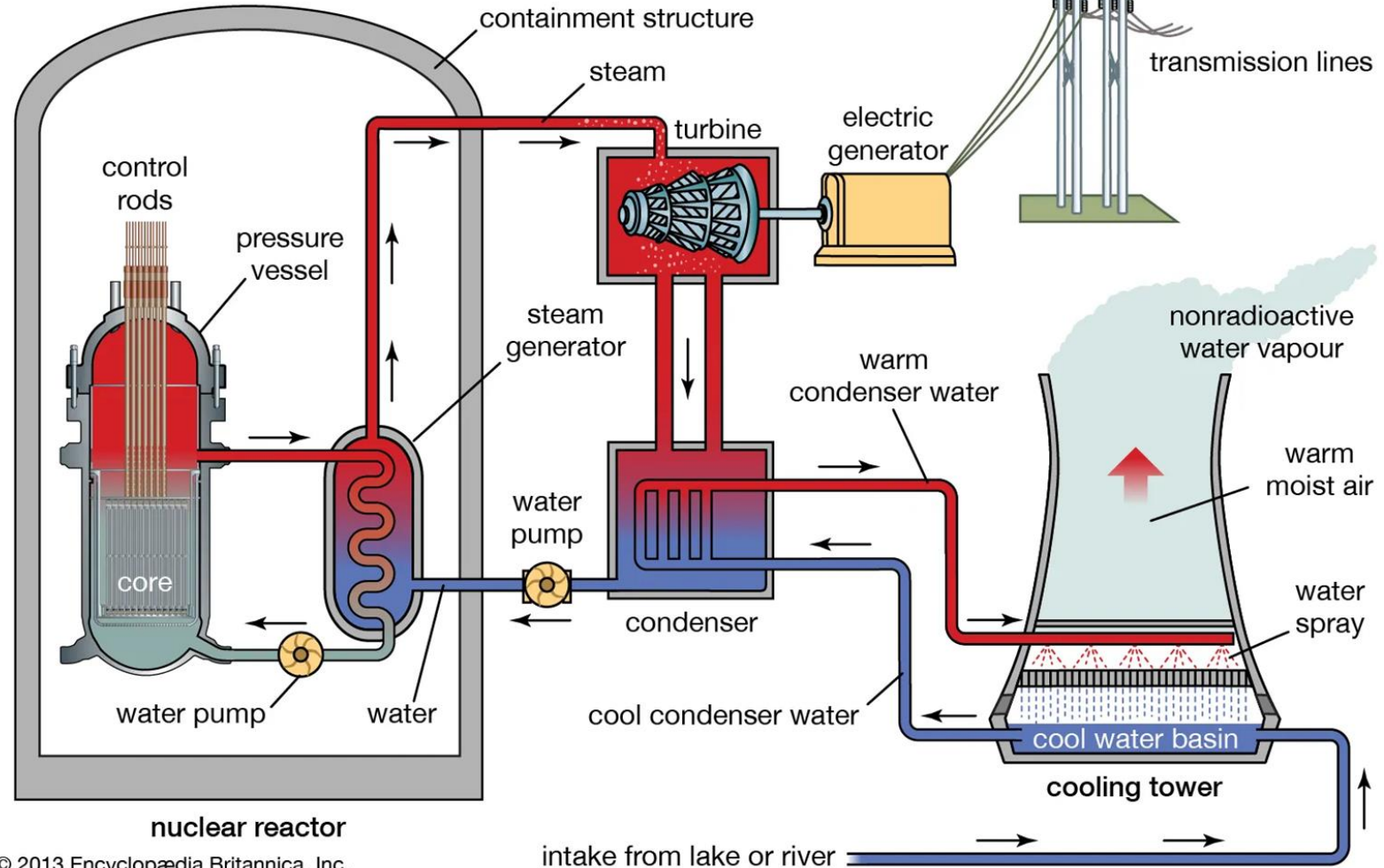
Mengendalikan (reaksi fisi nuklir) populasi neutron yang beredar dalam teras reaktor nuklir

Steam generator:

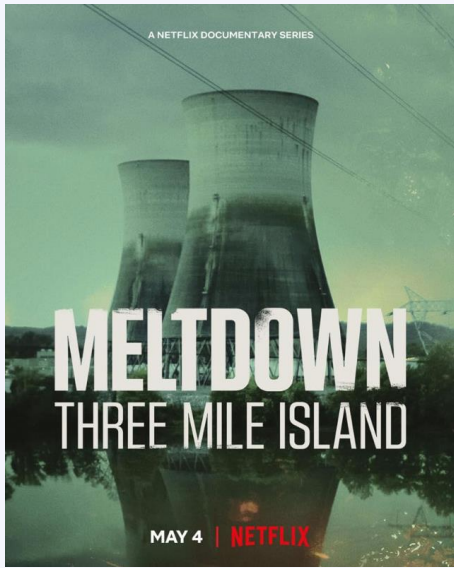
Penganti boiler pada "PLTU", dengan sistem penukar panas/ *heat exchanger*

Reactor Pressure Vessel: Pengungkit baja tebal yang menampung agar bahan reaktor tidak keluar ke lingkungan

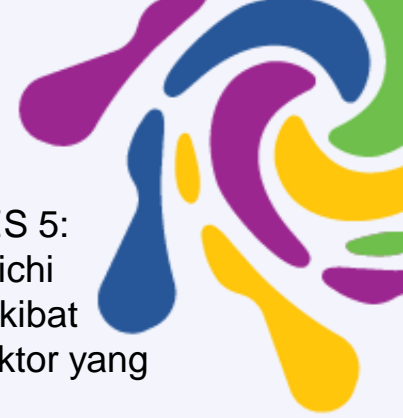
Nuclear power plant



© 2013 Encyclopædia Britannica, Inc.



“Nuclear core meltdown”



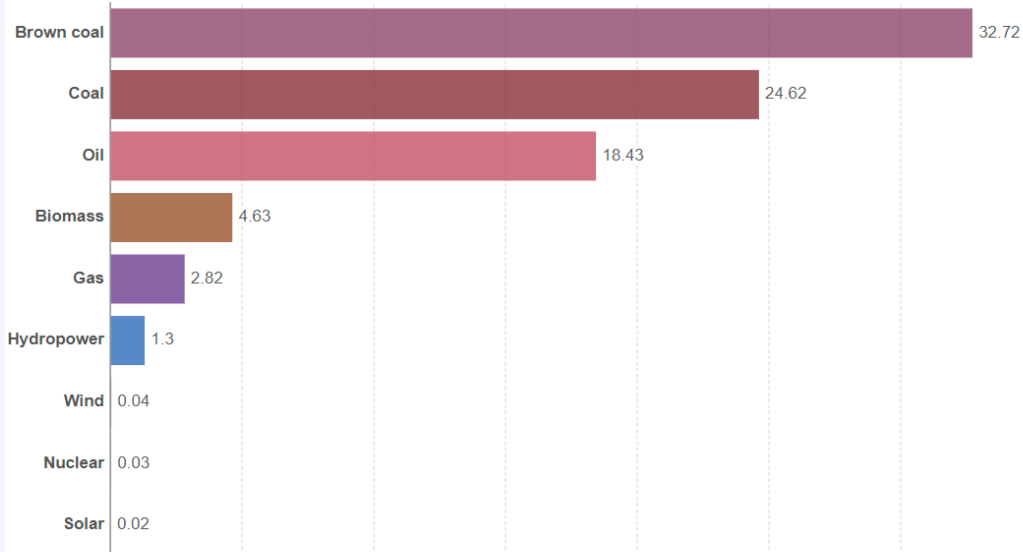
Kejadian (kecelakaan) yang terjadi di Three Mile Island (INES 5: Kecelakaan dengan konsekuensi berat) dan Fukushima Daiichi (INES 7: Kecelakaan besar) ketika **teras reaktor meleleh** akibat *overheating*, **pasti disebabkan oleh sistem pendingin** reaktor yang **tidak berfungsi** akibat beragam dan/atau rentetan pemicu kecelakaan yang terjadi.

“Nuclear Core Meltdown is possible through sequence events”

Death rates per unit of electricity production

Death rates are measured based on deaths from accidents and air pollution per terawatt-hour of electricity.

Our World in Data



Data source: Markandya & Wilkinson (2007); Sovacool et al. (2016); UNSCEAR (2008; & 2018)

2 Premis untuk memicu diskusi

- Our World in Data, menunjukkan Nuklir memiliki *death rate* yang sangat kecil per listrik yang dibangkitkan.
- Risiko adalah kombinasi dari probabilitas kejadian dikalikan dengan dampak (dampak)

Bagaimana menurut anda, apakah PLTN layak untuk dicoba dibangun di Indonesia? Sebutkan alasannya?

Bahan diskusi

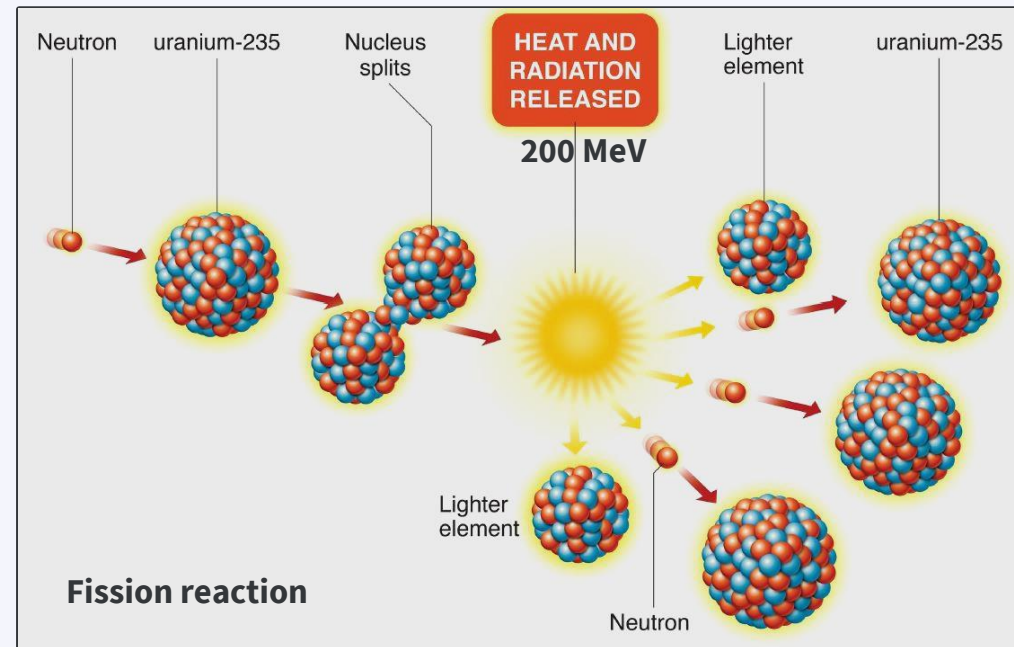
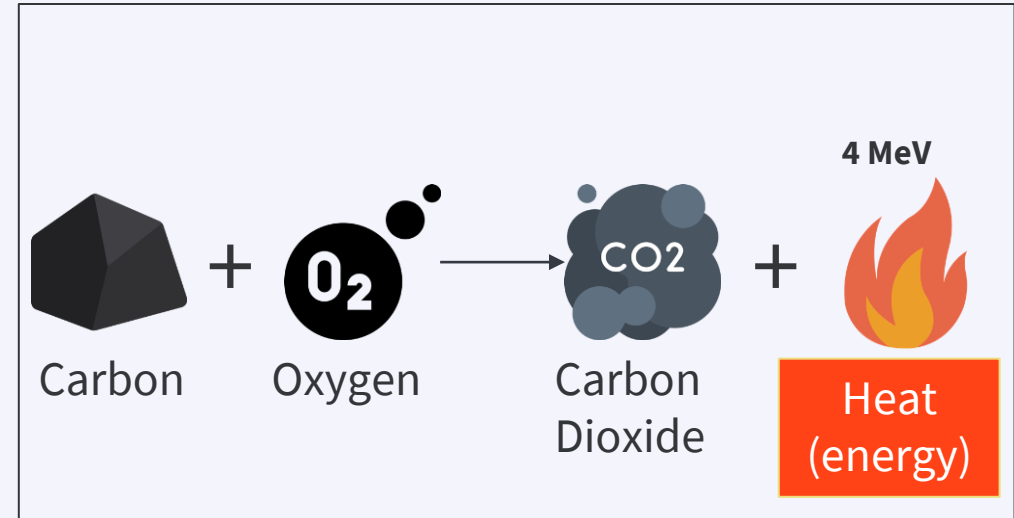
Reaksi Kimia vs Reaksi Nuklir.

Reaksi nuklir merupakan proses **pengubahan inti atom** melalui reaksi pertukaran dengan partikel-partikel dasar penyusun inti atom.

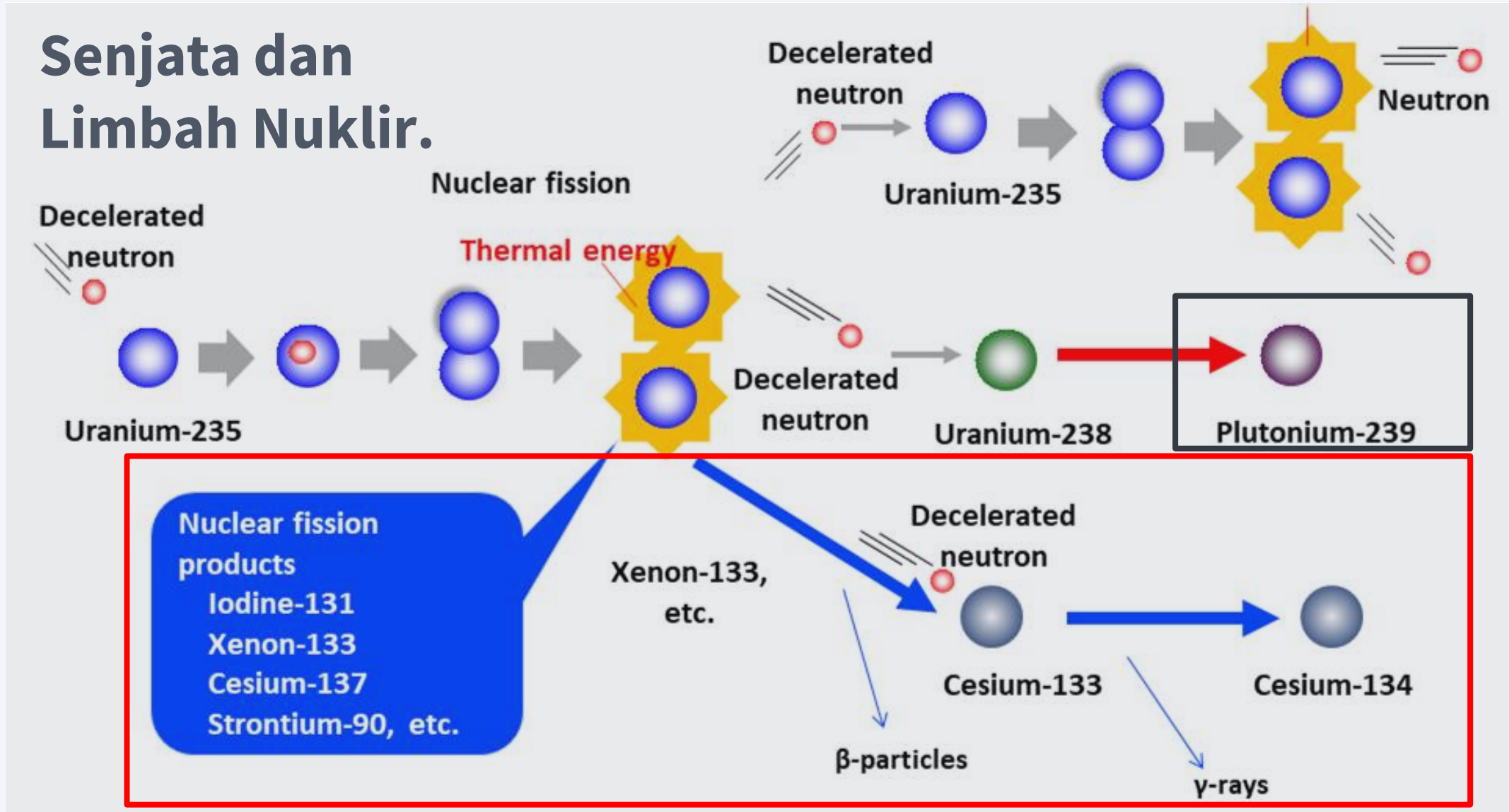


Produk-produk dari reaksi nuklir

- ✓ Energy (heat)
- ✓ Radiation
- ✓ Nuclear waste



Senjata dan Limbah Nuklir.



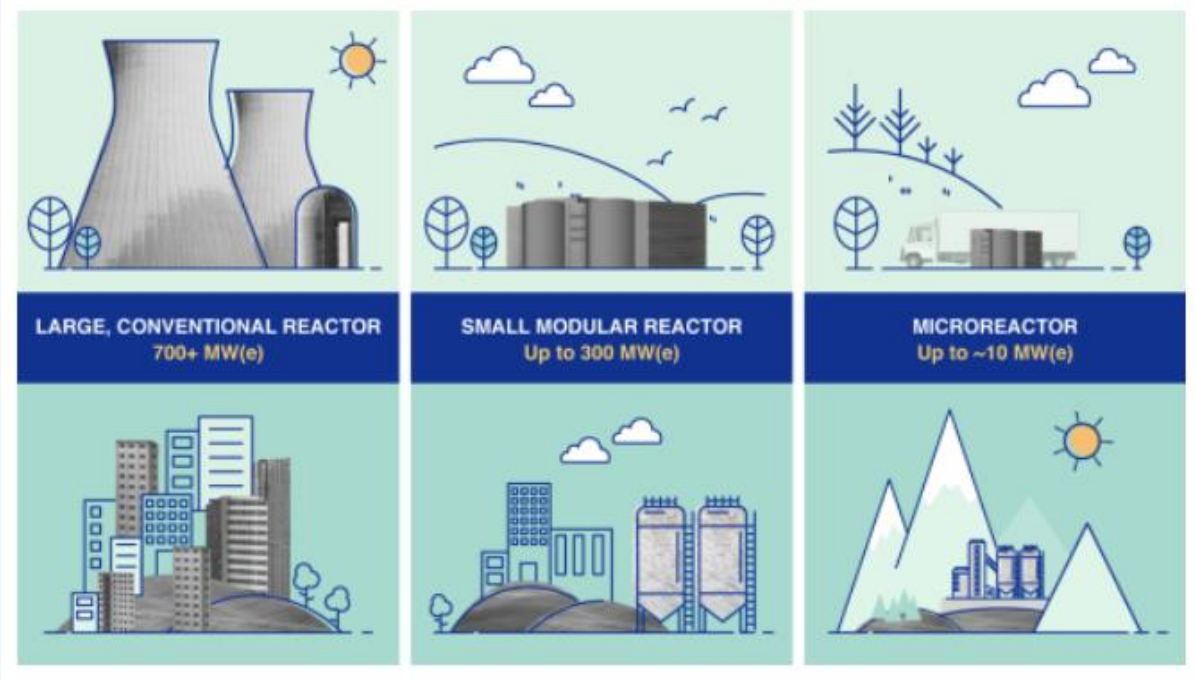
Nuclear fission products
Iodine-131
Xenon-133
Cesium-137
Strontium-90, etc.

Pandangan anda terkait dengan proliferasi (dual purpose) dan limbah radioaktif?

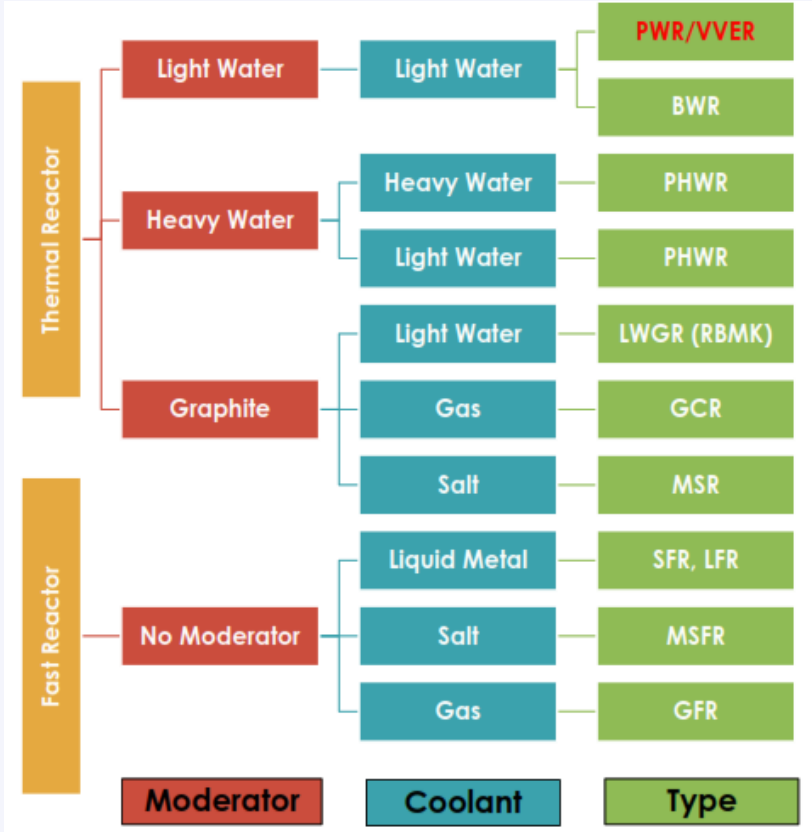
Bahan diskusi



Jenis-jenis PLTN.



Berdasarkan skala reaktor

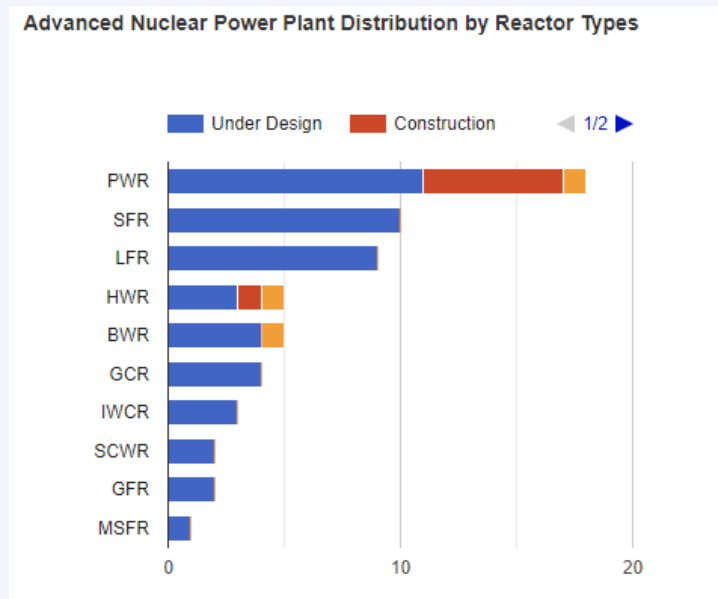
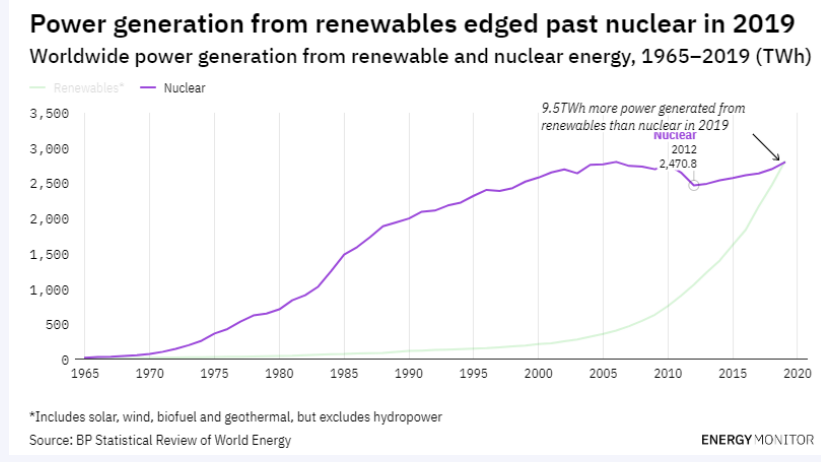
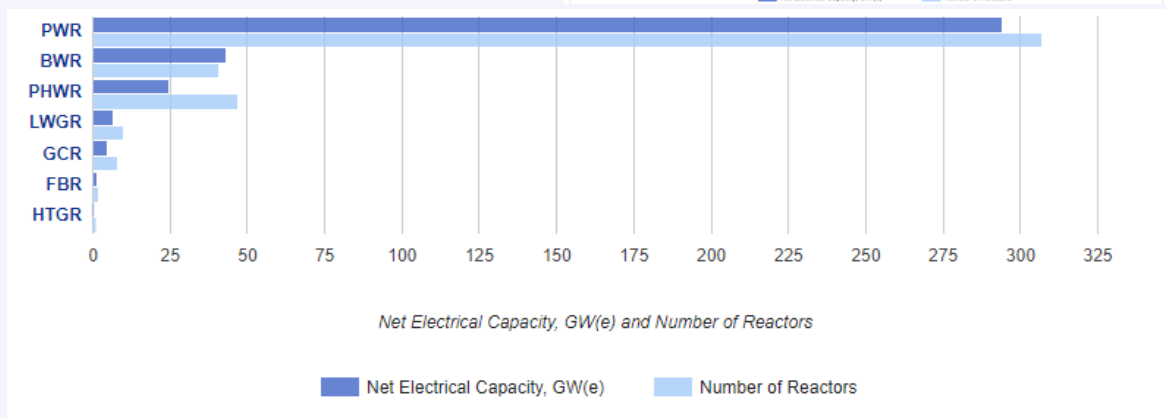
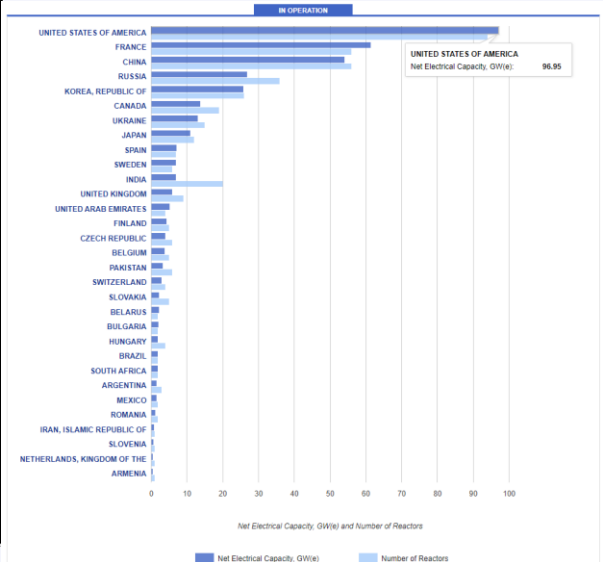


Berdasarkan jenis teknologi/material



Trend dunia.

New connections to the grid	
BARAKAH-4	(1310 MW(e), PWR, UAE) on 23 March
FANGCHENGANG-4	(1000 MW(e), PWR, CHINA) on 9 April
KAKRAPAR-4	(630 MW(e), PHWR, INDIA) on 20 February
VOGTLE-4	(1117 MW(e), PWR, USA) on 6 March
Permanent shutdowns	
KURSK-2	(925 MW(e), LWGR, RUSSIA) on 31 January
Construction starts	
EL DABAA-4	(1100 MW(e), PWR, EGYPT) on 23 January
LENINGRAD 2-3	(1150 MW(e), PWR, RUSSIA) on 14 March
LIANJIANG-2	(1224 MW(e), PWR, CHINA) on 26 April
ZHANGZHOU-3	(1129 MW(e), PWR, CHINA) on 22 February



<https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx>

<https://aris.iaea.org/default.html>

Aktor-aktor dalam pengembangan nuklir

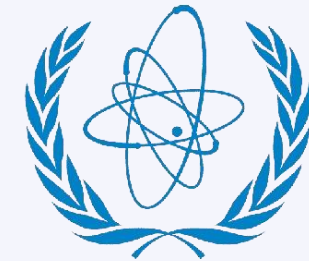


Di dalam Keputusan Presiden Nomor 103 Tahun 2001 tersebut disebutkan bahwa tugas pokok BAPETEN ialah melaksanakan tugas pemerintahan di bidang pengawasan tenaga nuklir melalui peraturan, perizinan dan inspeksi.



BATAN mempunyai tugas melaksanakan tugas pemerintahan di bidang penelitian, pengembangan dan pendayagunaan ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

BATAN menjadi salah satu unsur di dalam BRIN, tepatnya menjadi Organisasi Riset Tenaga Nuklir.



IAEA

International Atomic Energy Agency

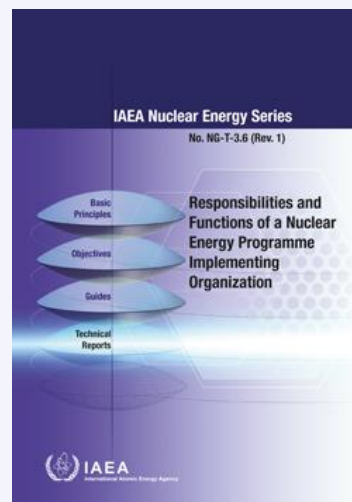
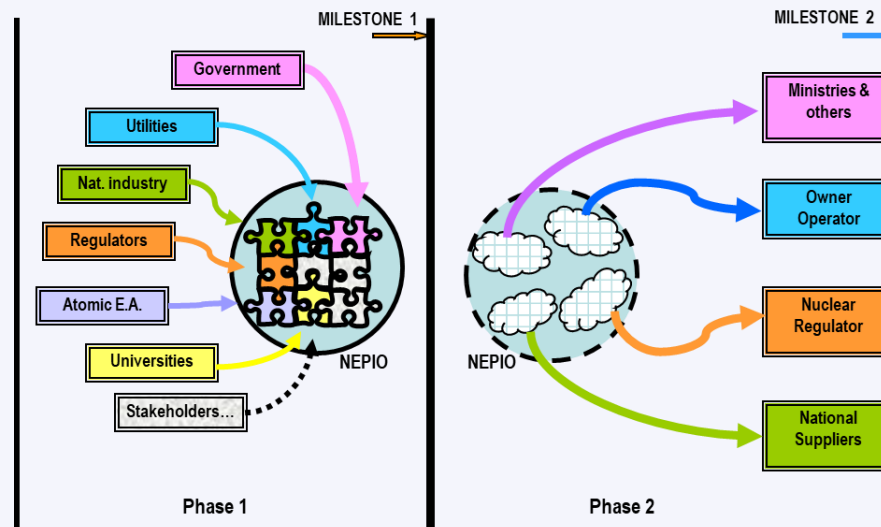
Badan Tenaga Atom Internasional (bahasa Inggris: International Atomic Energy Agency, disingkat IAEA) adalah organisasi internasional yang berupaya mempromosikan penggunaan energi nuklir secara damai, dan untuk menghambat penggunaannya untuk tujuan militer apa pun, termasuk senjata nuklir.

NEPIO?

Nuclear Energy Programme Implementing Organization (NEPIO) adalah badan yang nantinya bertugas untuk mempersiapkan pembangunan PLTN. Terbentuknya NEPIO menjadi sinyal awal pertanda Indonesia mulai “Go Nuclear”.

NEPIO disyaratkan/disarankan oleh IAEA untuk dibentuk kepada negara yang akan membangun PLTN komersil pertamanya.

Pemerintah melalui Menteri ESDM telah menetapkan Kepmen ESDM 250.K/HK.02/MEM/2021 tentang tim persiapan pembentukan NEPIO sebagai upaya pemenuhan syarat IAEA fase-2 dalam persiapan pembangunan PLTN.



Jokowi Tunjuk Luhut Ketua Tim Percepatan PLTN NEPIO, Ini Beragam Penolakan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir

Reporter: Hendrik Khoiril Muhid
Editor: S. Dian Andryanto

Minggu, 21 Januari 2024 12:02 WIB

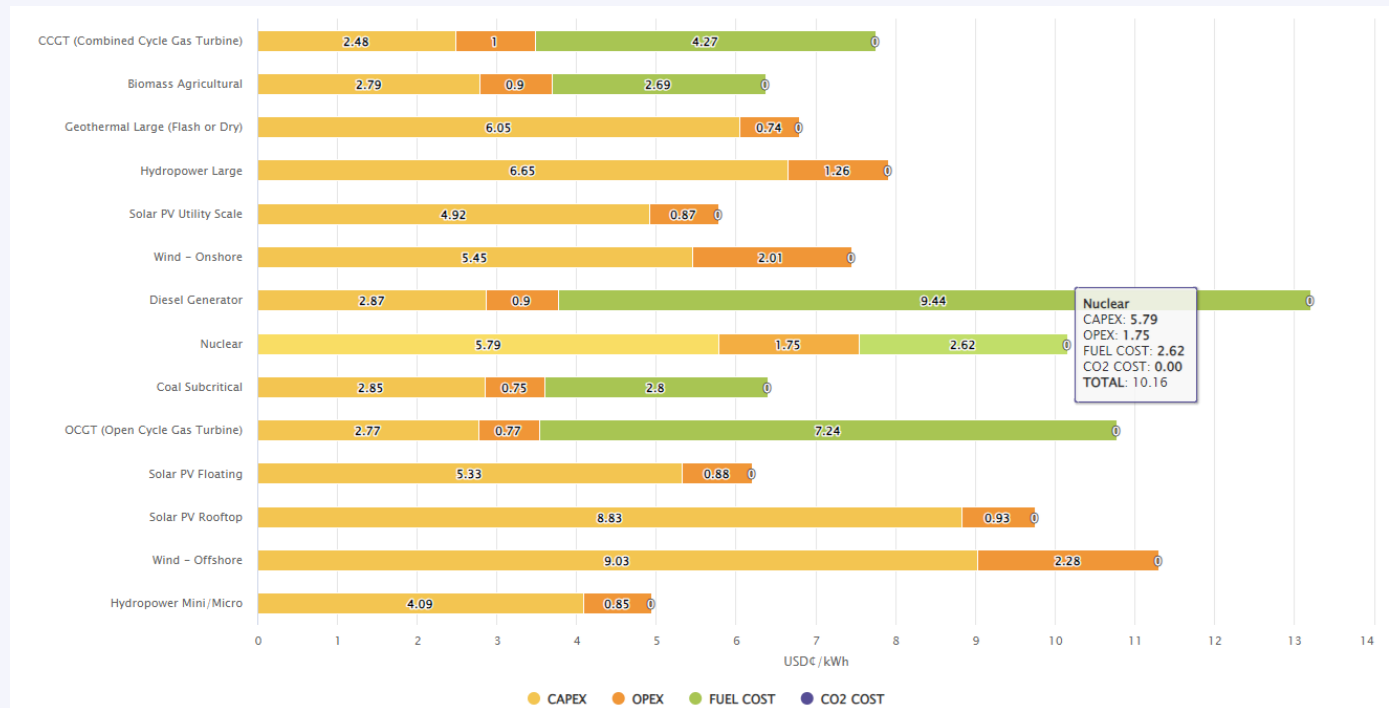


Bagikan





Hal-hal yang penting dipertimbangkan.



Sumber: energycost.id (IESR LCOE)

- Relatif lebih mahal, *capital intensive*, dan tidak ada akses pendanaan multilateral atau *development bank*
- Risiko pembengkakan biaya (delay konstruksi) sangat besar

Table 1: Construction costs of recent FOAK Gen-III/III+ projects

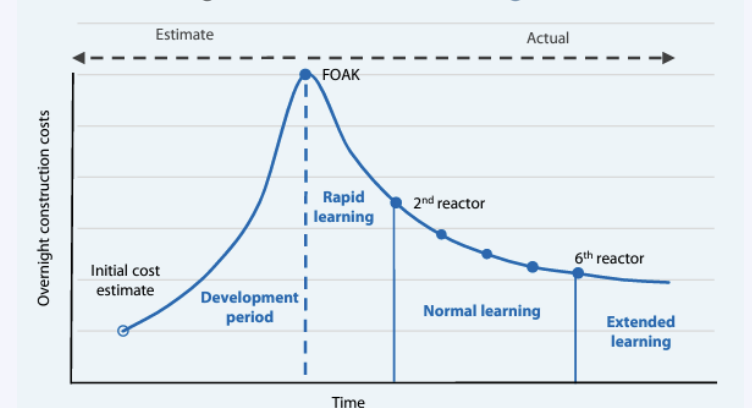
Type	Country	Unit	Construction start	Initial announced construction time	Ex-post construction time	Power (MW _e)	Initial announced budget (USD/kW _e)	Ex-post construction cost (USD/kW _e)
AP 1000	China	Sanmen 1, 2	2009	5	9	2 x 1 000	2 044	3 154
	United States	Vogtle 3, 4	2013	4	8/9*	2 x 1 117	4 300	8 600
APR 1400	Korea	Shin Kori 3, 4	2012	5	8/10	2 x 1 340	1 828	2 410
EPR	Finland	Olkiluoto 3	2005	5	16*	1 x 1 630	2 020	>5 723
	France	Flamanville 3	2007	5	15*	1 x 1 600	1 886	8 620
VVER 1200	China	Taishan 1, 2	2009	4.5	9	2 x 1 660	1 960	3 222
	Russia	Novovoronezh II-1 & 2	2008	4	8/10	2 x 1 114	2 244	**

* Estimate. ** No data available.

Notes: MW_e = megawatt electrical capacity, kW_e = kilowatt electrical capacity.

Source: NEA analysis based on publicly available information.

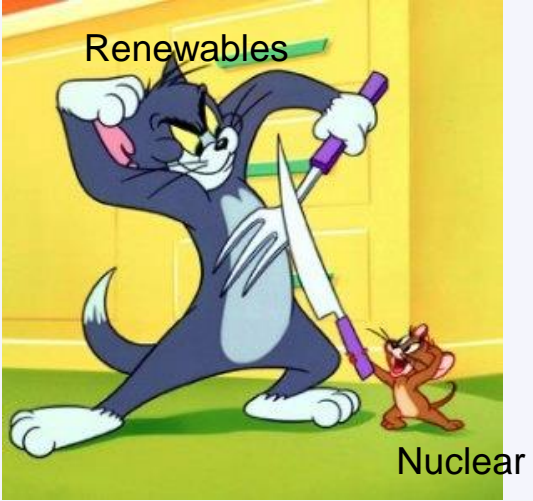
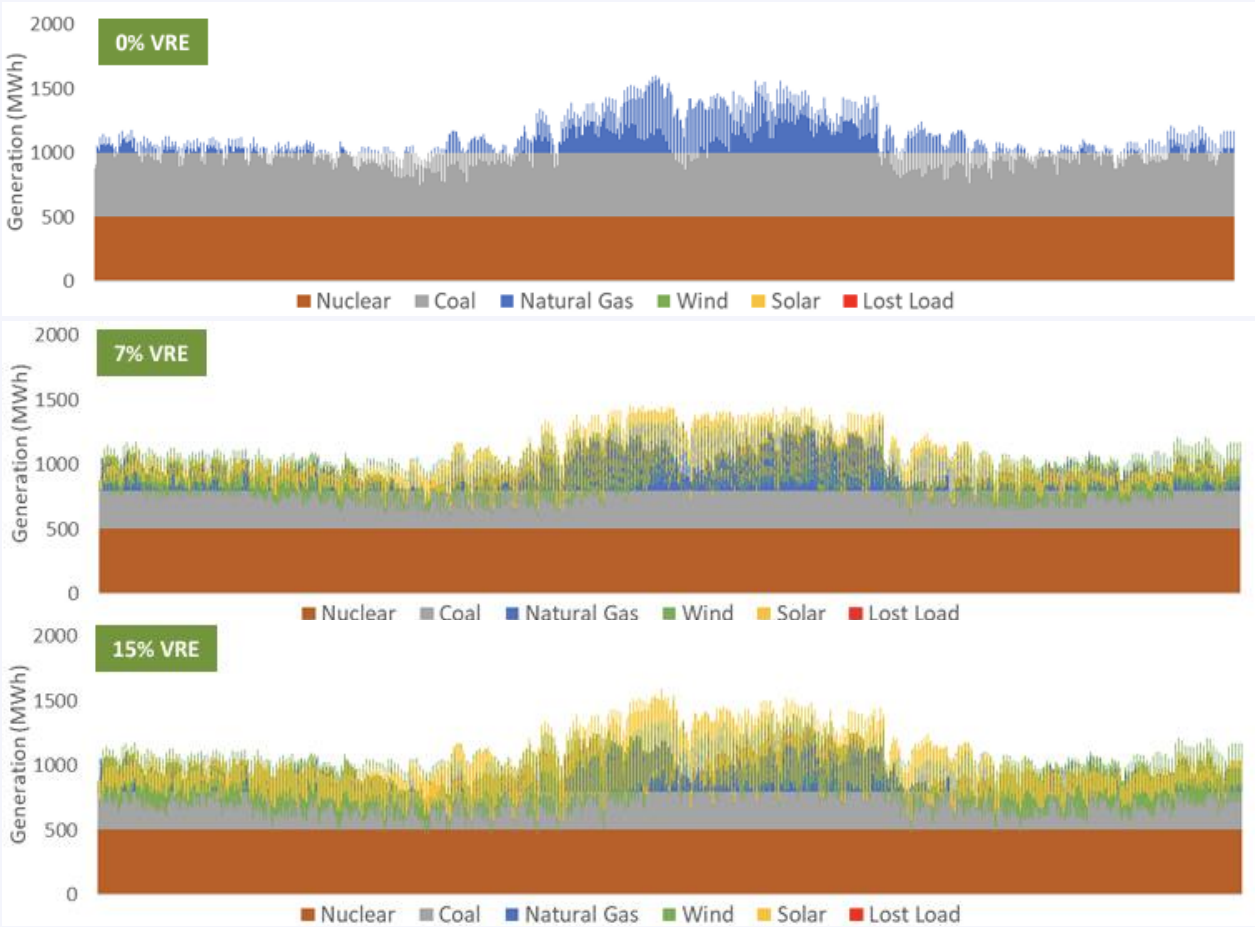
Figure 3: Nuclear new-build learning curve



Sumber: OECD-NEA



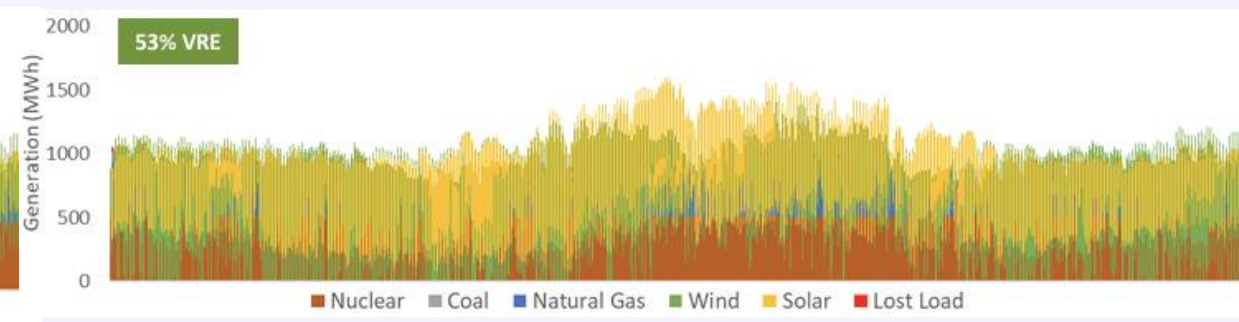
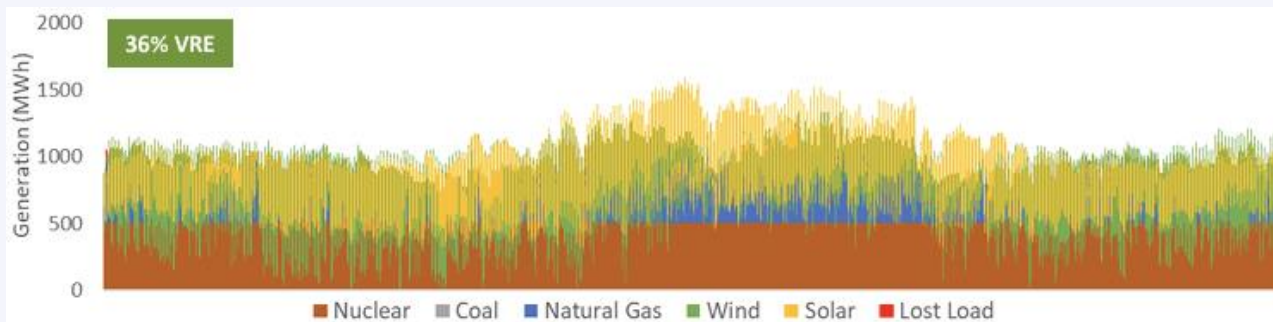
Nuclear vs Renewables ?



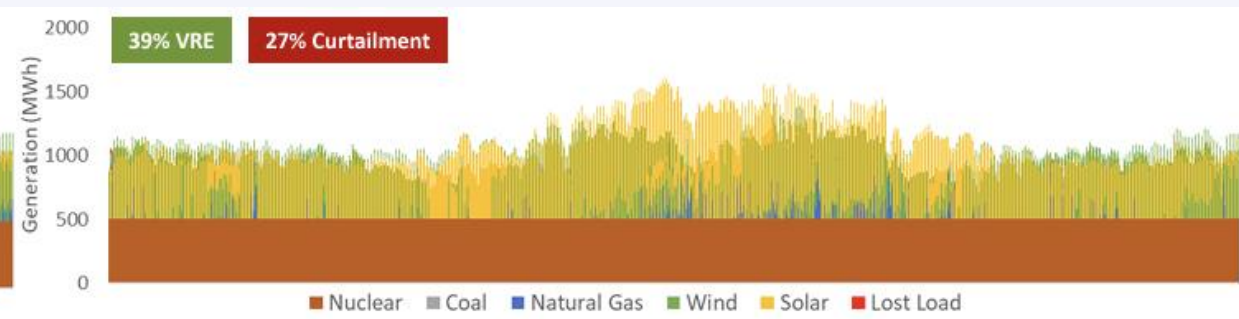
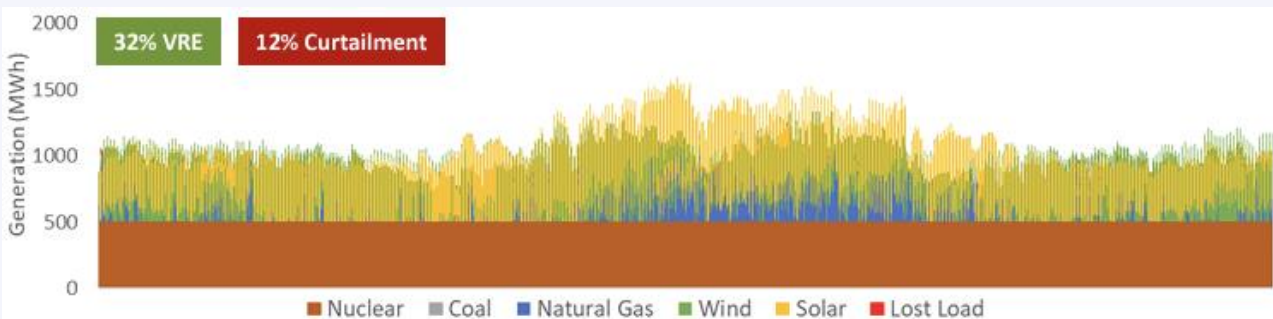


Pilihan sulit integrasi VRE dengan Nuklir

Pilihan 1



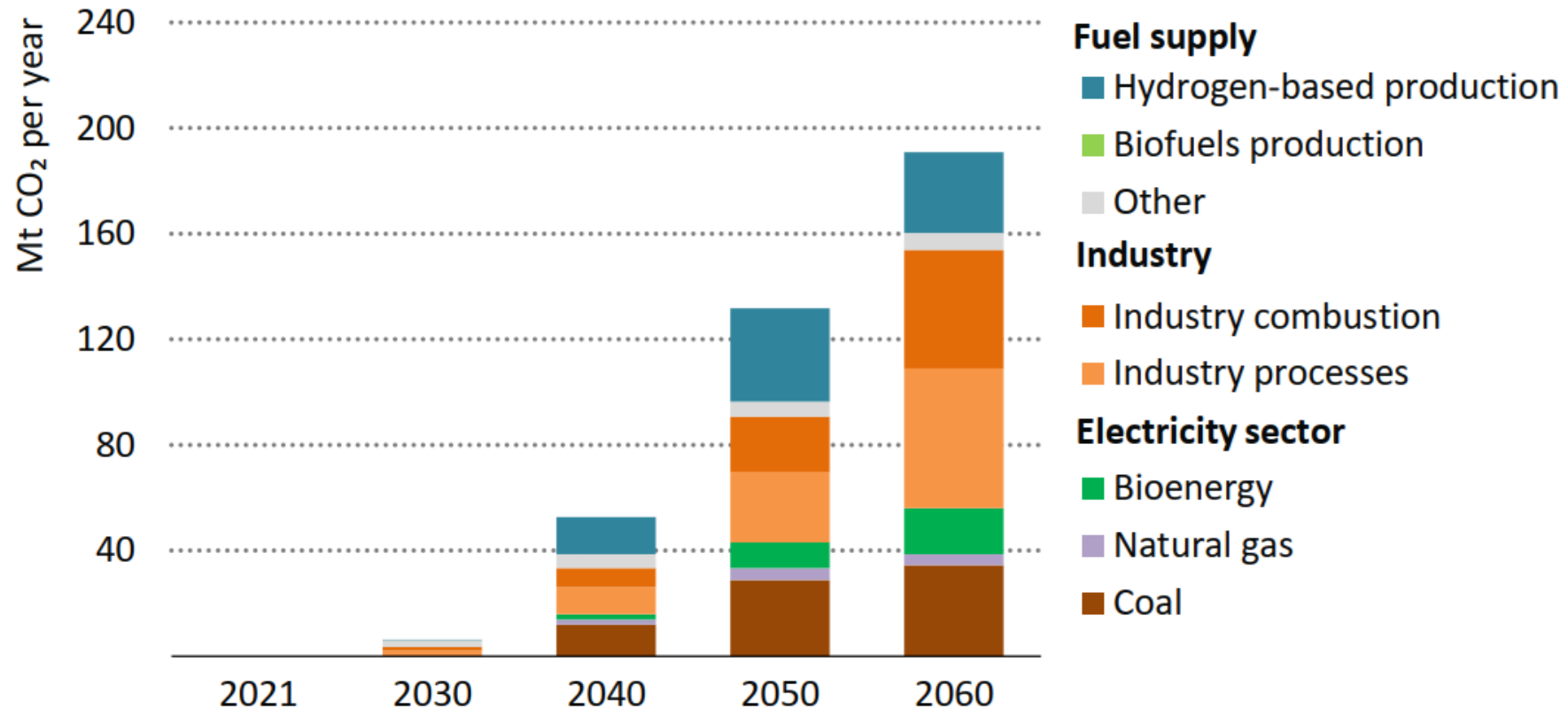
Pilihan 2



Bahan diskusi



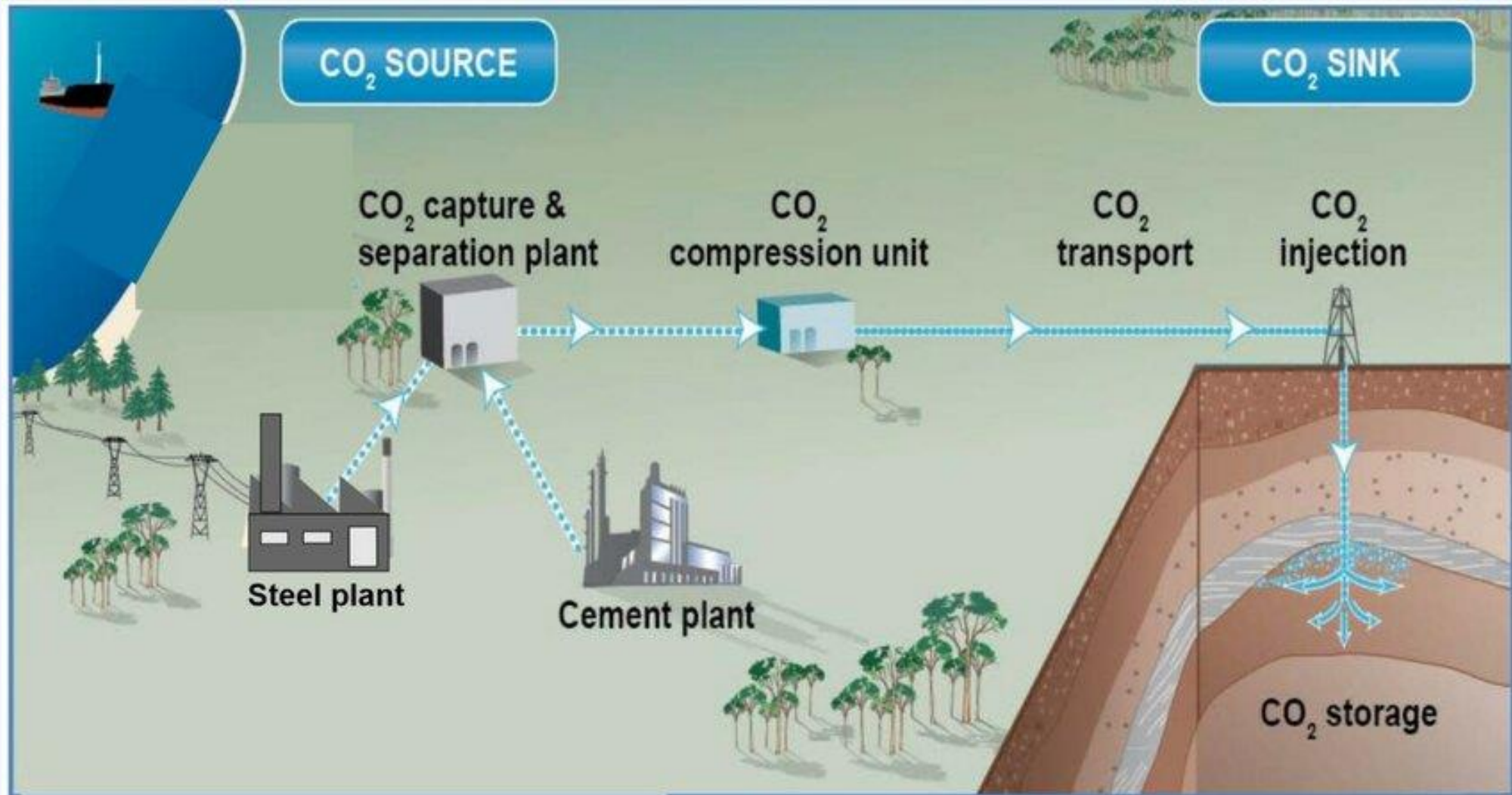
Figure 5.29 ▶ CCUS deployment in Indonesia in the Announced Pledges Scenario, 2020 – 2060



IEA. All rights reserved.

CCS/CCUS

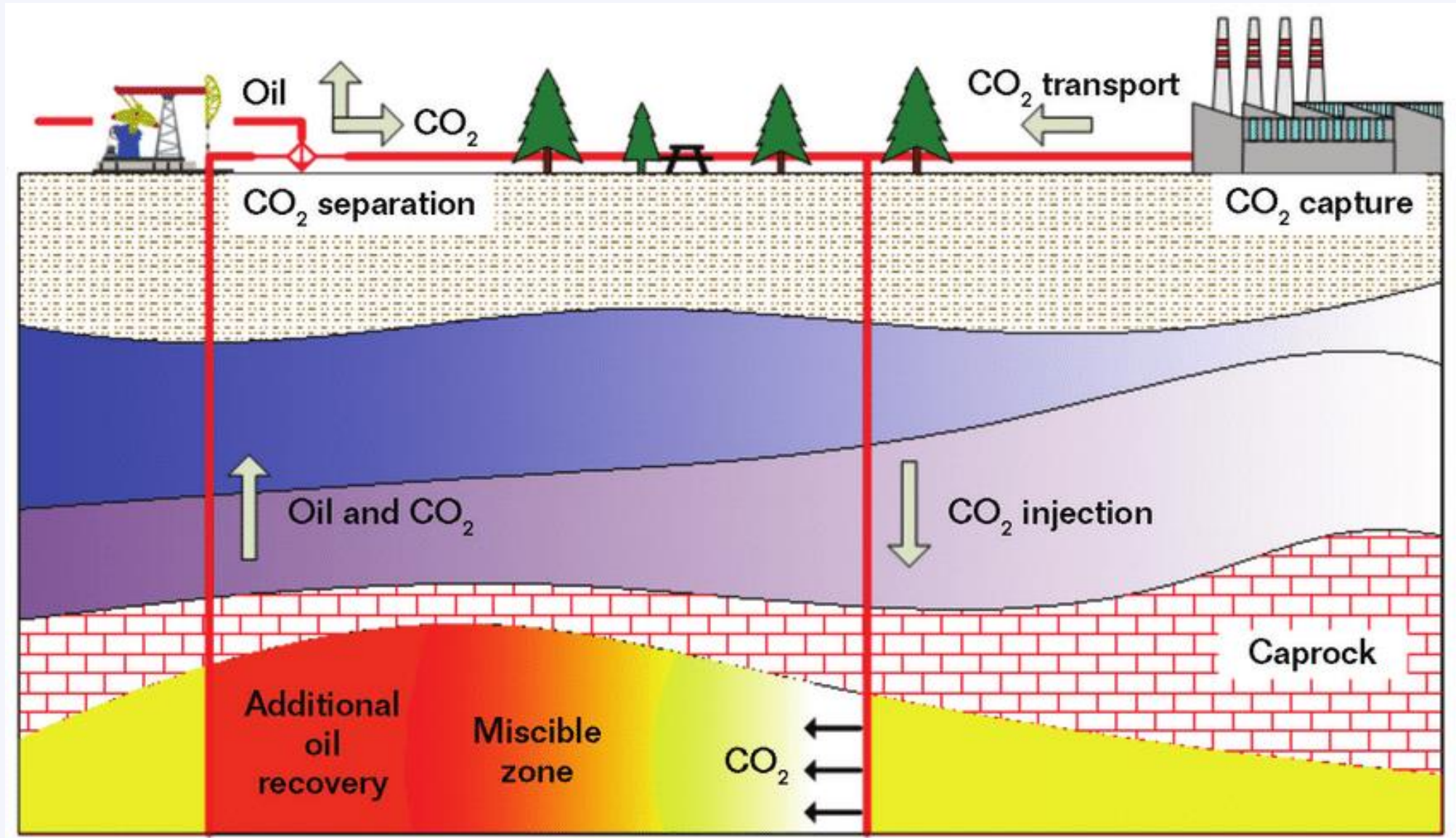




Sumber: [Rouch, Duncan. \(2023\). Cement industry, Australia, toward zero CO₂ emissions by Carbon Capture and Storage.](#)

IESR (Institute for Essential Services Reform) | www.iesr.or.id





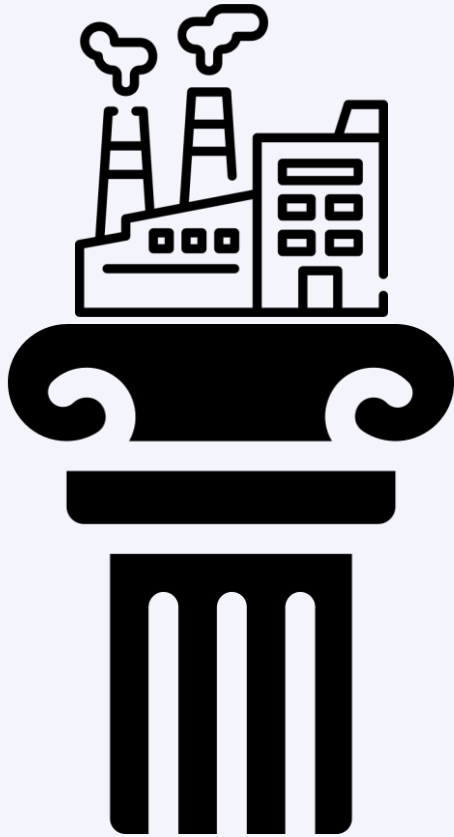
Sumber: [Xiang, Yong. \(2018\). Corrosion issues of carbon capture, utilization, and storage. Materials Performance. 57. 32-35.](#)

IESR (Institute for Essential Services Reform) | www.iesr.or.id





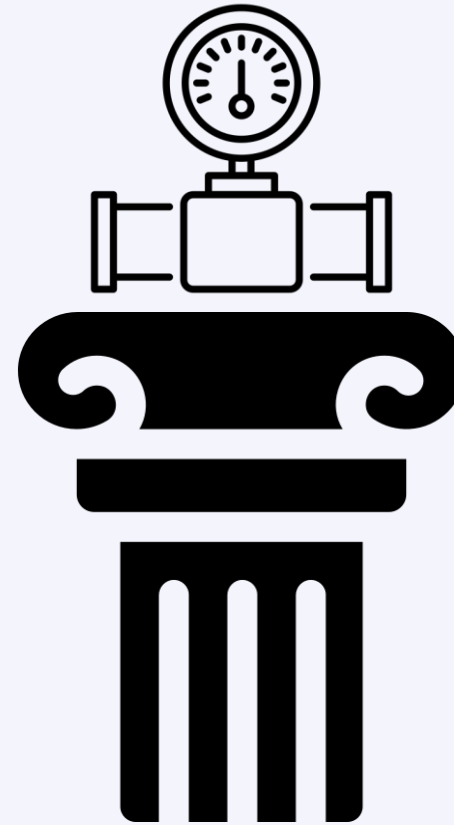
Empat komponen utama dan urutan proses di dalam teknologi CCS/CCUS



Sumber Emisi (murni CO₂ atau dengan pengotor dari gas lain)



Pemisahan dan penangkapan gas CO₂

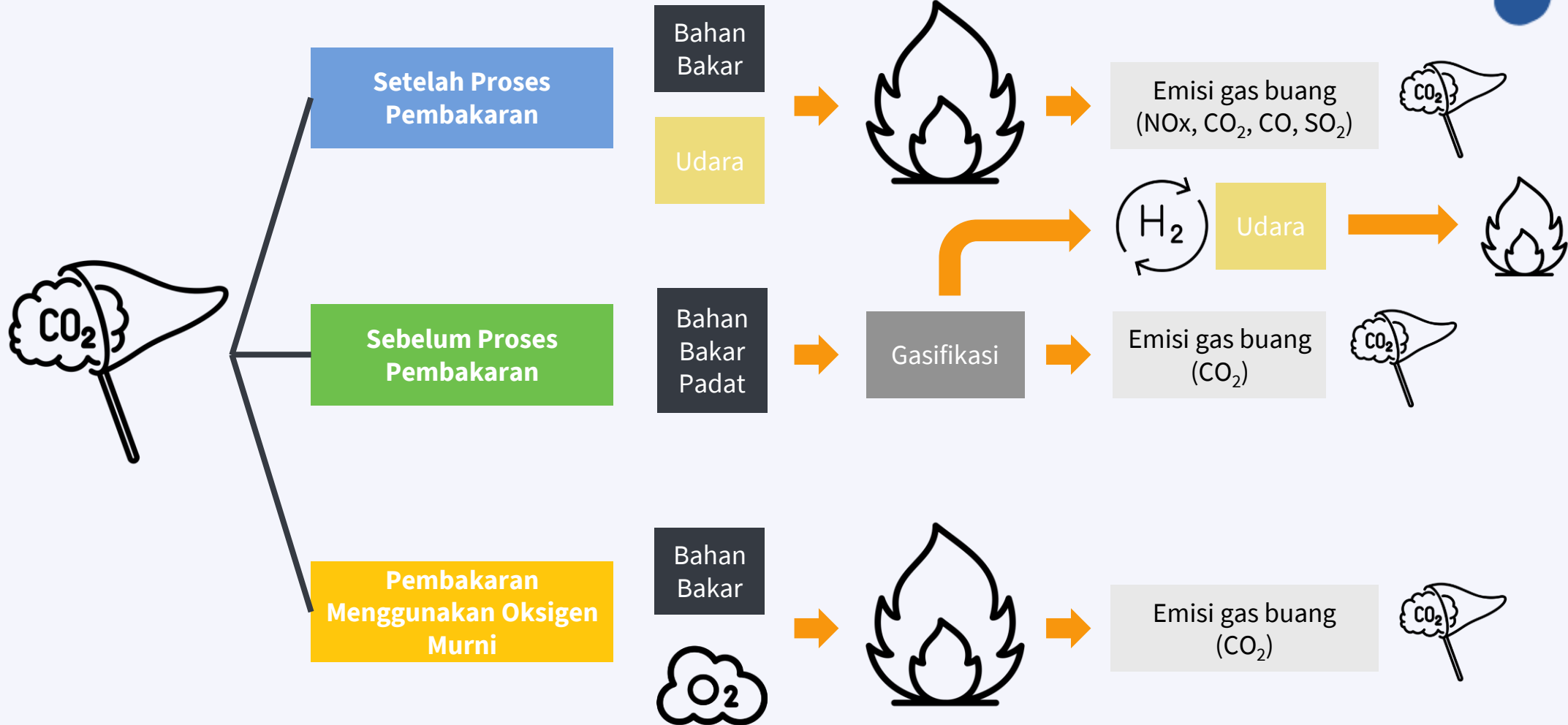


Transportasi gas CO₂ yang tertangkap



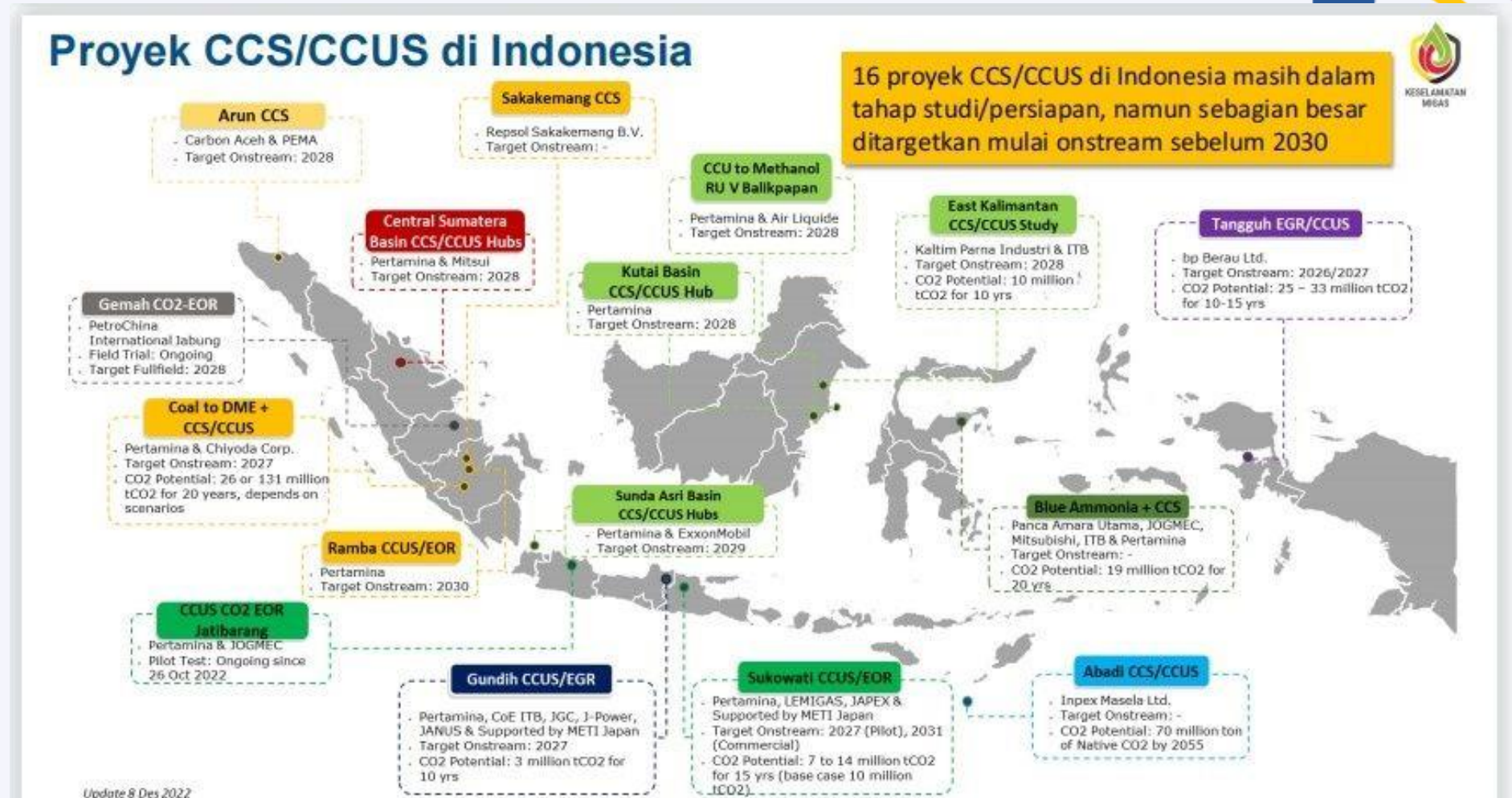
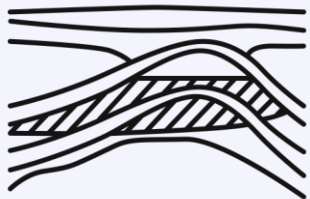
Penyimpanan dan/atau pemanfaatan gas CO₂

Teknologi penangkapan gas CO₂





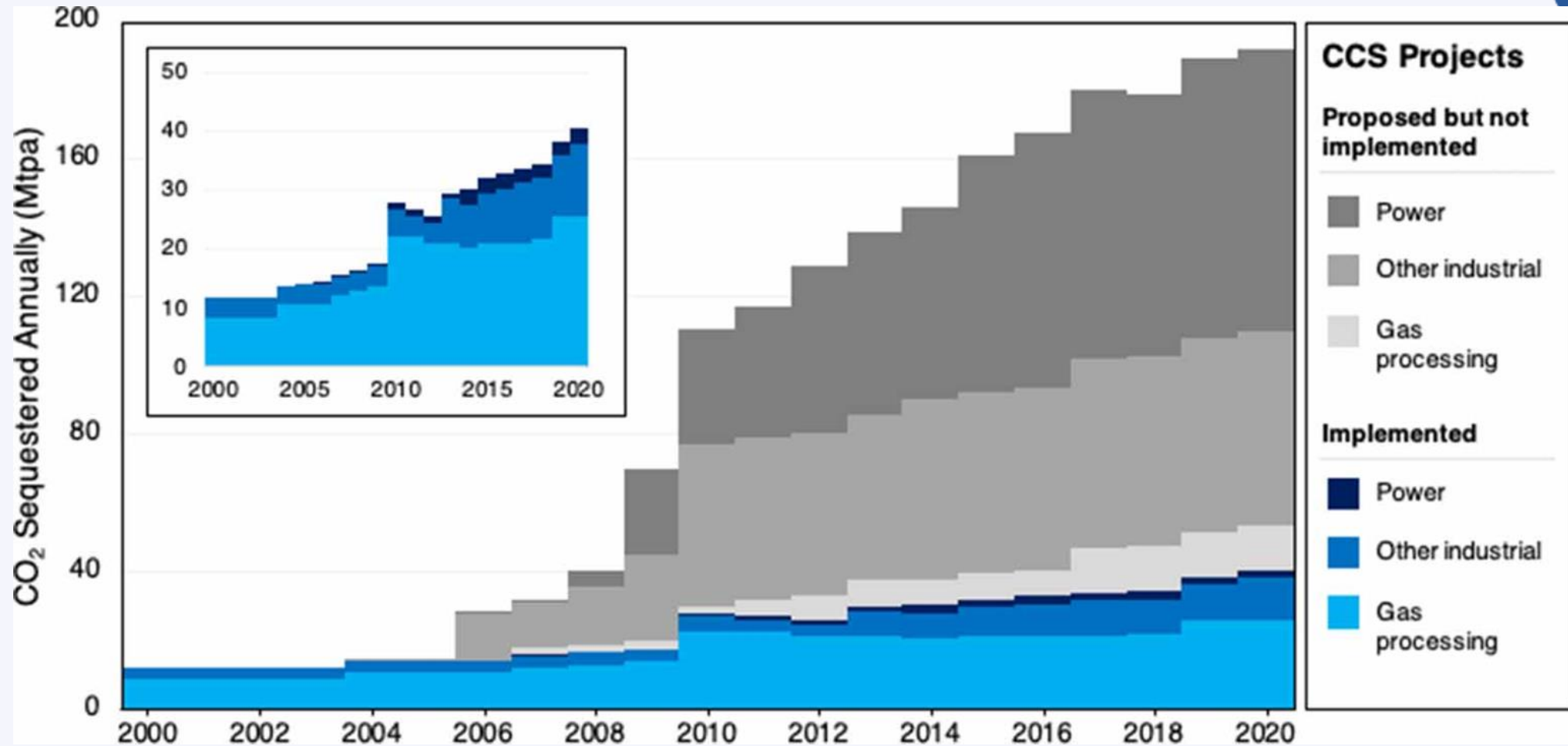
Lokasi penyimpanan dan utilisasi gas CO₂



Sumber: <https://energi.co.id/biaya-masih-jadi-tantangan-perlu-upaya-dorong-keekonomian-proyek-ccscus>



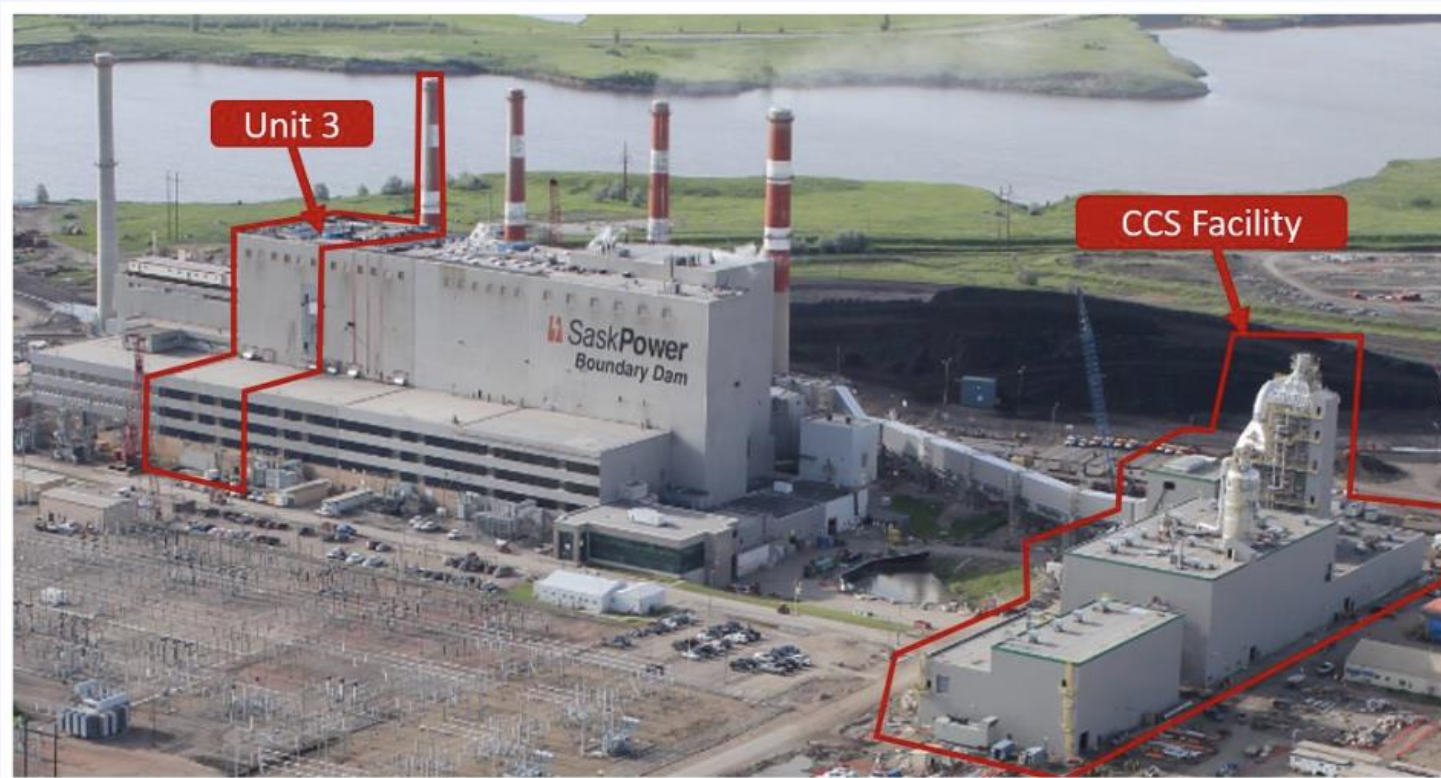
Industri yang menggunakan teknologi CCS/CCUS (Abdulla, et al., 2020)



Sumber: [Abdulla, Ahmed et al. \(2020\). Explaining Successful and Failed Investments in U.S. Carbon Capture and Storage Using Empirical and Expert](#)



Penggunaan teknologi CCS/CCUS pada PLTU - Boundary Dam, Kanada

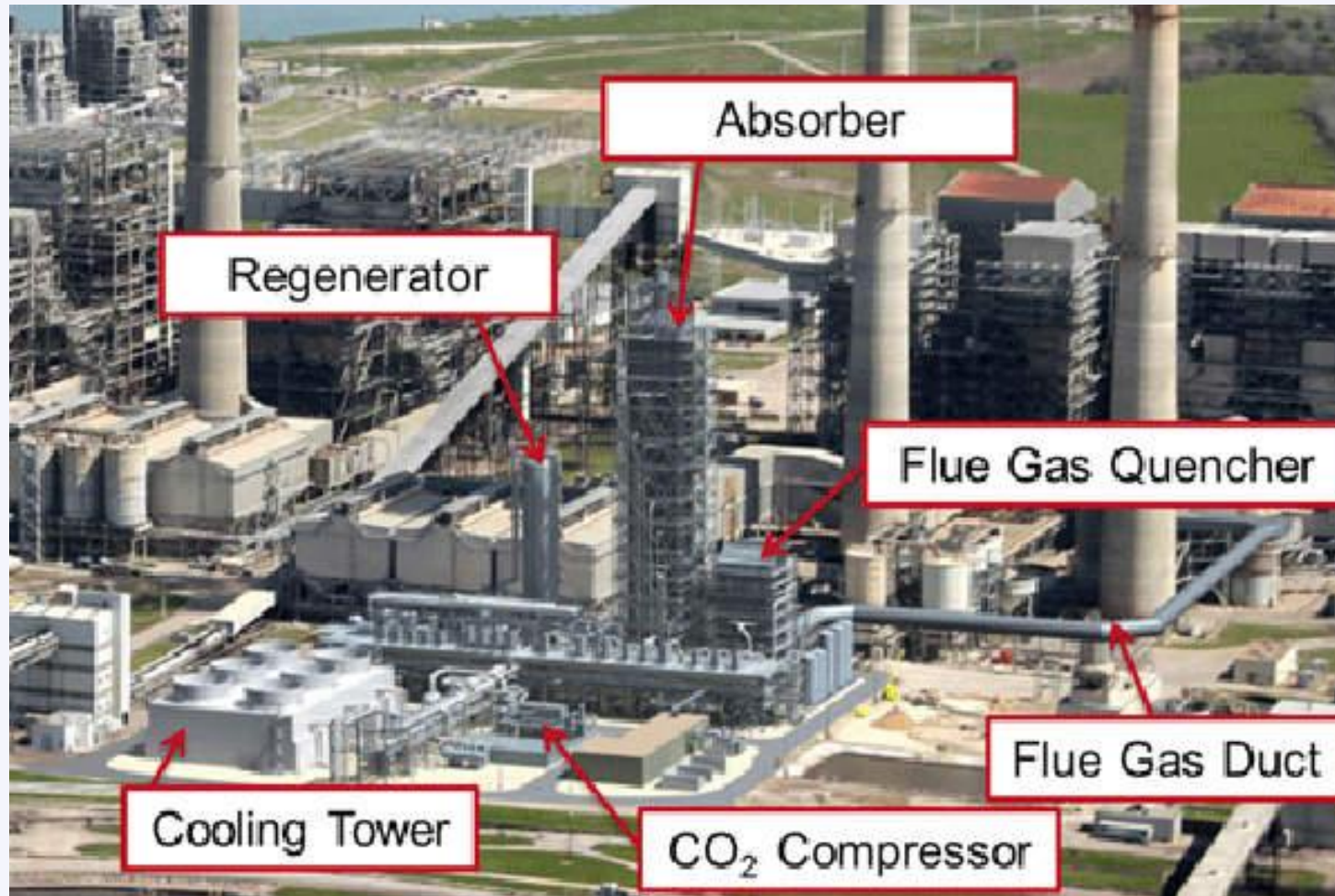


- Kapasitas PLTU 115 MW
- Gas CO₂ tertangkap digunakan untuk EOR
- Biaya *retrofit* CCS US\$1,5 miliar dan beroperasi sejak tahun 2014
- Memiliki target tangkapan 90%, namun akhirnya diturunkan ke 65%
- Penurunan kapasitas hingga 40 MW dan efisiensi hingga 14%

Sumber: https://ccsknowledge.com/pub/Publications/PAPER_GHGT15_SaskPowers_BD3_Journey_Achieving_Reliability_Mar2021.pdf



Penggunaan teknologi CCS/CCUS pada PLTU - Petra Nova, US



- Kapasitas PLTU 240 MW
- Gas CO₂ tertangkap digunakan untuk EOR
- Biaya *retrofit* CCS US\$1 miliar dan beroperasi sejak tahun 2017
- Memakai pembangkit lain, turbin gas, untuk pengoperasian CCUS
- Tidak beroperasi lagi sejak tahun 2020 karena harga minyak dunia kolaps

Sumber: <https://www.power-technology.com/projects/wa-parish-carbon-capture-project-texas/>

Bagaimana dengan Indonesia?

- Pemerintah sudah mengeluarkan Peraturan Menteri ESDM nomor 2 tahun 2023 yang mengatur **pemanfaatan CCS/CCUS untuk kegiatan usaha hulu minyak dan gas bumi**
- Pemerintah juga tengah mempertimbangkan pemanfaatan CCS/CCUS untuk pembangkit listrik:
 - Aspek teknis
 - Kriteria kualitas gas buang
 - Penalti terhadap kapasitas dan efisiensi pembangkit
 - Aspek non-teknis
 - Keekonomian CCS/CCUS
 - Baku mutu emisi pembangkit
 - Lahan

Rekomendasi Modifikasi FGD dan Booster Fan



PLTU	Existing FGD	Rekomendasi
PLTU tipikal 1000 MW	Seawater	<ul style="list-style-type: none"> • Menaikkan flowrate air laut hingga SOx <20 ppm • Penambahan Booster Fan sebelum unit FGD
PLTU tipikal 660 MW subcritical + FGD	Limestone	<ul style="list-style-type: none"> • Meningkatkan laju alir limestone slurry hingga 100% kapasitas • Pemasangan Seawater FGD hingga SOx <20 ppm • Penambahan Booster Fan sebelum unit FGD
PLTU tipikal 660 MW supercritical non FGD	No FGD	<ul style="list-style-type: none"> • Pemasangan Seawater FGD • Penambahan BoosterFan sebelum unit FGD
PLTU tipikal 660 MW subcritical non FGD	No FGD	<ul style="list-style-type: none"> • Pemasangan Seawater FGD • Penambahan Booster Fan sebelum unit FGD
PLTU tipikal 300 MW subcritical non FGD	No FGD	<ul style="list-style-type: none"> • Pemasangan Seawater FGD • Penambahan BoosterFan sebelum unit FGD
PLTU tipikal 300 MW supercritical non FGD	No FGD	<ul style="list-style-type: none"> • Pemasangan Seawater FGD • Penambahan Booster Fan sebelum unit FGD

Target:

- Batas kadar SOx umpan CCS: **20 ppm (mencegah degradasi solvent)**
- Temperatur gas umpan CCS: 40°C

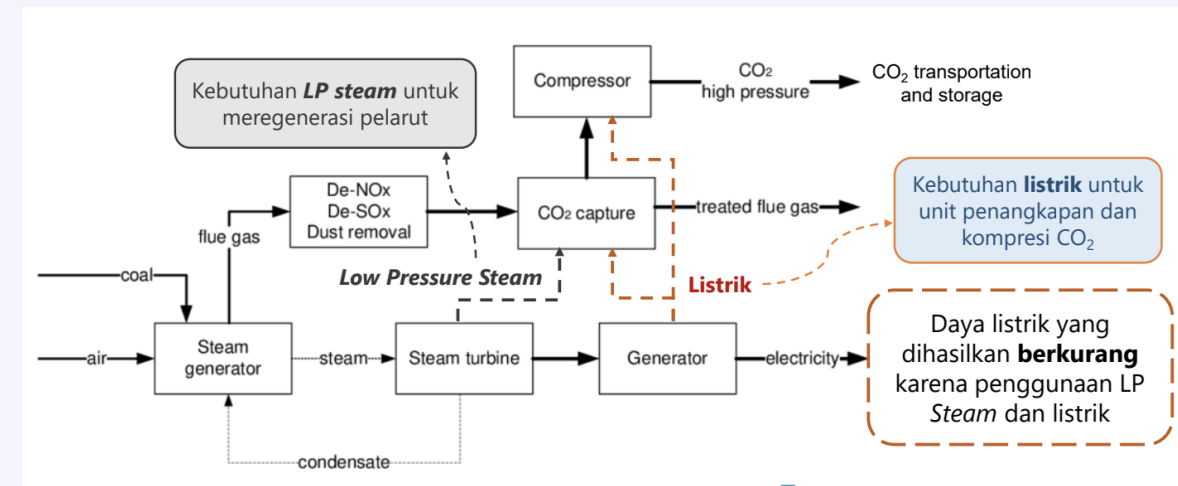
Konstrain Pemasangan FGD :

- Efisiensi FGD **92%**
- Batas kadar SOx di flue gas : **250 ppm**
- Batas kadar sulfur di batubara : **0,1 - 0,12%**



Bagaimana dengan Indonesia?

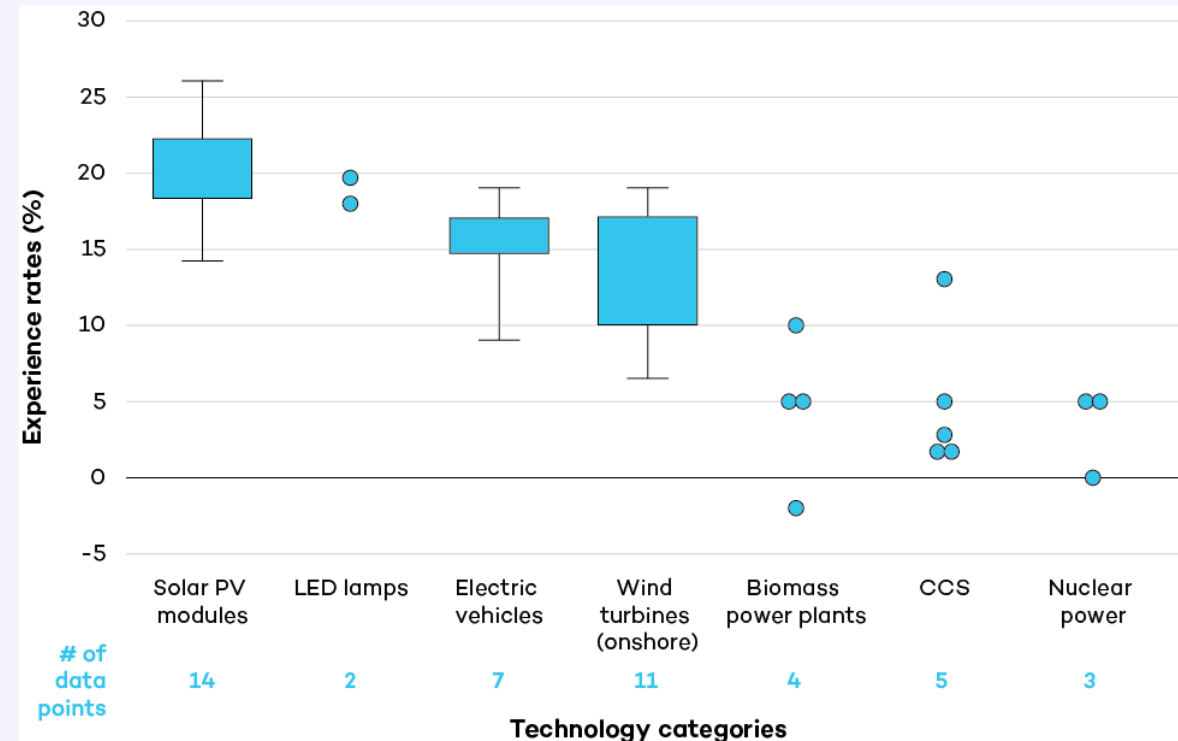
- Pemerintah sudah mengeluarkan Peraturan Menteri ESDM nomor 2 tahun 2023 yang mengatur **pemanfaatan CCS/CCUS untuk kegiatan usaha hulu minyak dan gas bumi**
- Pemerintah juga tengah mempertimbangkan pemanfaatan CCS/CCUS untuk pembangkit listrik:
 - Aspek teknis
 - Kriteria kualitas gas buang
 - Penalti terhadap kapasitas dan efisiensi pembangkit
 - Aspek non-teknis
 - Keekonomian CCS/CCUS
 - Baku mutu emisi pembangkit
 - Lahan





Bagaimana dengan Indonesia?

- Pemerintah sudah mengeluarkan Peraturan Menteri ESDM nomor 2 tahun 2023 yang mengatur **pemanfaatan CCS/CCUS untuk kegiatan usaha hulu minyak dan gas bumi**
- Pemerintah juga tengah mempertimbangkan pemanfaatan CCS/CCUS untuk pembangkit listrik:
 - Aspek teknis
 - Kriteria kualitas gas buang
 - Penalti terhadap kapasitas dan efisiensi pembangkit
 - Aspek non-teknis
 - Keekonomian CCS/CCUS
 - Baku mutu emisi pembangkit
 - Lahan





Bagaimana dengan Indonesia?

- Pemerintah sudah mengeluarkan Peraturan Menteri ESDM nomor 2 tahun 2023 yang mengatur **pemanfaatan CCS/CCUS untuk kegiatan usaha hulu minyak dan gas bumi**
- Pemerintah juga tengah mempertimbangkan pemanfaatan CCS/CCUS untuk pembangkit listrik:
 - Aspek teknis
 - Kriteria kualitas gas buang
 - Penalti terhadap kapasitas dan efisiensi pembangkit
 - Aspek non-teknis
 - Keekonomian CCS/CCUS
 - Baku mutu emisi pembangkit
 - Lahan

LAMPIRAN I
PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN
REPUBLIK INDONESIA
NOMOR P.15/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019
TENTANG
BAKU MUTU EMISI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA TERMAL

BAKU MUTU EMISI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU)

A. BAKU MUTU EMISI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) YANG DIBANGUN ATAU BEROPERASI SEBELUM PERATURAN MENTERI INI BERLAKU

NO	Parameter	Kadar Maksimum		
		Batubara (mg/Nm ³)	Minyak Solar (mg/Nm ³)	Gas (mg/Nm ³)
1	Sulfur Dioksida (SO ₂)	550	650	50
2	Nitrogen Oksida (NO _x)	550	450	320
3	Partikulat (PM)	100	75	30
4	Merkuri (Hg)	0,03	-	-

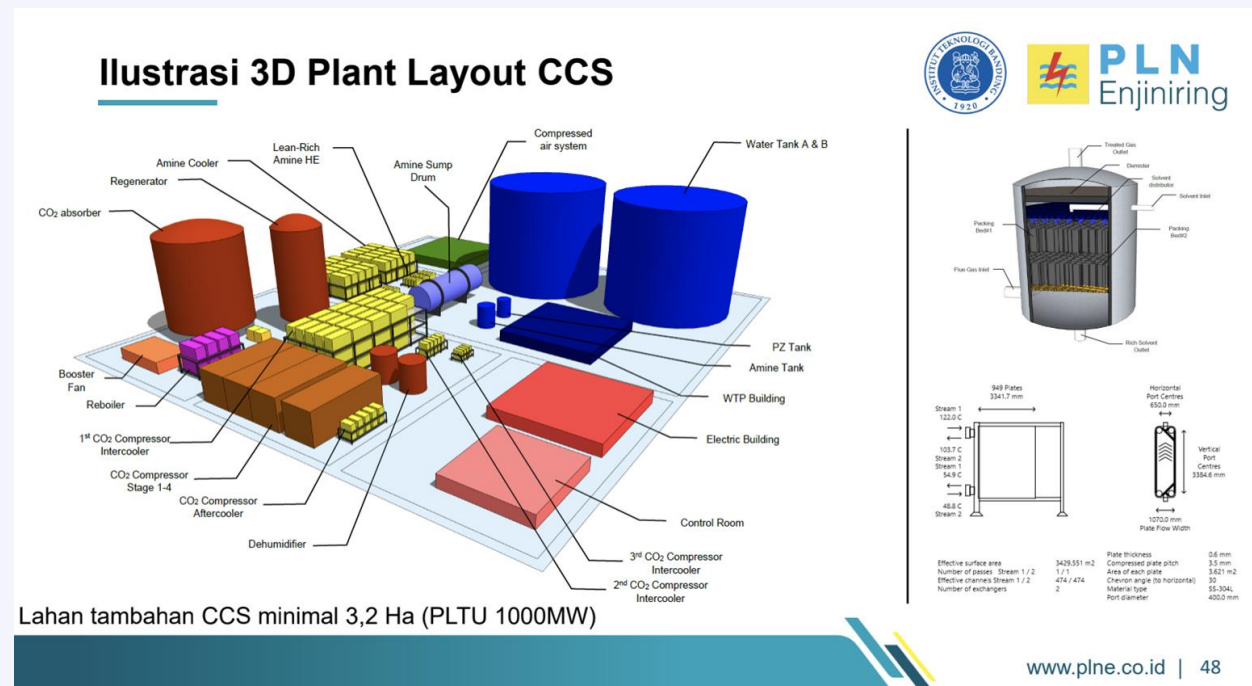
B. BAKU MUTU EMISI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) YANG DIBANGUN SETELAH PERATURAN MENTERI INI BERLAKU

NO	Parameter	Kadar Maksimum		
		Batubara (mg/Nm ³)	Minyak Solar (mg/Nm ³)	Gas (mg/Nm ³)
1	Sulfur Dioksida (SO ₂)	200	350	25
2	Nitrogen Oksida (NO _x)	200	250	100
3	Partikulat (PM)	50	30	10
4	Merkuri (Hg)	0,03	-	-



Bagaimana dengan Indonesia?

- Pemerintah sudah mengeluarkan Peraturan Menteri ESDM nomor 2 tahun 2023 yang mengatur **pemanfaatan CCS/CCUS untuk kegiatan usaha hulu minyak dan gas bumi**
- Pemerintah juga tengah mempertimbangkan pemanfaatan CCS/CCUS untuk pembangkit listrik:
 - Aspek teknis
 - Kriteria kualitas gas buang
 - Penalti terhadap kapasitas dan efisiensi pembangkit
 - Aspek non-teknis
 - Keekonomian CCS/CCUS
 - Baku mutu emisi pembangkit
 - Lahan



Sumber: Seminar Carbon Capture PLTU oleh LAPI ITB dan PLN Enjiniring, 12 Januari 2023

Terima kasih

Accelerating Low Carbon Energy Transition



 www.iesr.or.id

 [iesr.id](https://www.facebook.com/iesr.id)

 [iesr.id](https://www.instagram.com/iesr.id)

 [IESR](https://twitter.com/IESR)

 [iesr](https://www.linkedin.com/company/iesr)