



KETAHANAN ENERGI BATUBARA DAN MINERAL DI INDONESIA

Webinar Kontribusi ITB untuk Bangsa

IRWANDY ARIF

Forum Guru Besar ITB

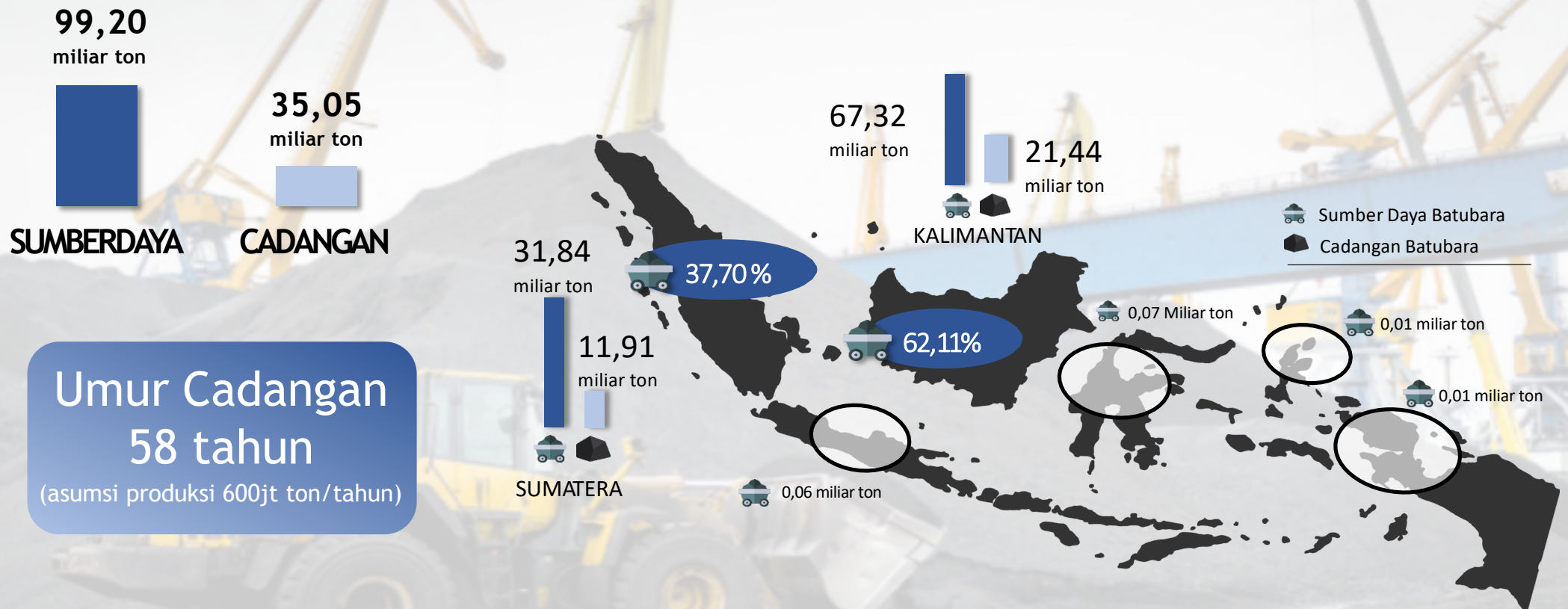
Jakarta, 17 Januari 2024

'KIAMAT' BATUBARA MINGGIR, INDIA-CHINA BAWA KABAR BAIK EMAS HITAM

- India dan China diperkirakan akan tetap **mendorong permintaan batubara global** seiring dengan pertumbuhan ekonomi masing-masing negara.
- International Energy Agency (IEA) memproyeksikan kenaikan konsumsi batubara China pada tahun 2025 akan melonjak **sepertiga** jika dibandingkan dengan seperempat pada tahun 2015. Sedangkan di India, diproyeksikan **tidak hanya batubara yang mengalami lonjakan permintaan, namun juga minyak dan gas alam.**
- Berdasarkan data dari IEA, permintaan batubara global mencapai rekor tertinggi pada 2023, melampaui **8,5 miliar ton** yang didominasi oleh negara-negara berkembang.

SUMBER DAYA DAN CADANGAN BATUBARA INDONESIA

SUMBER DAYA DAN CADANGAN BATUBARA INDONESIA



miliar ton

35,05
miliar ton

miliar ton

SUMBERDAYA

CADANGAN

Umur Cadangan
58 tahun

58 tahun

(asumsi produksi 600jt ton/tahun)

67,32
miliar ton

21,44
miliar ton

KALIMANTAN

31,84
miliar ton

37,70%

11,91
miliar ton

SUMATERA

62,11%

 0,07 Miliar ton

0,01 miliar ton

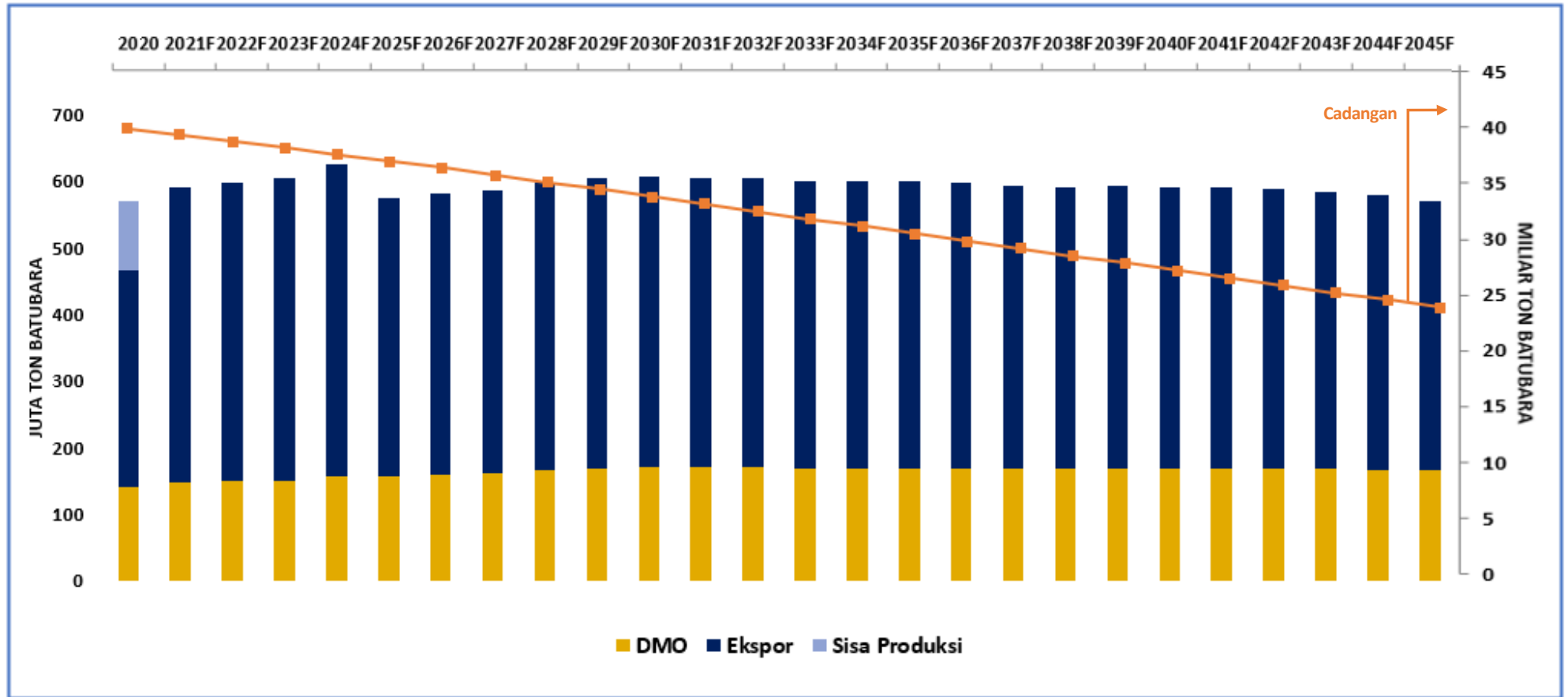
 0,01 miliar ton

0,06 miliar ton

 Sumber Daya Batubara

 Cadangan Batubara

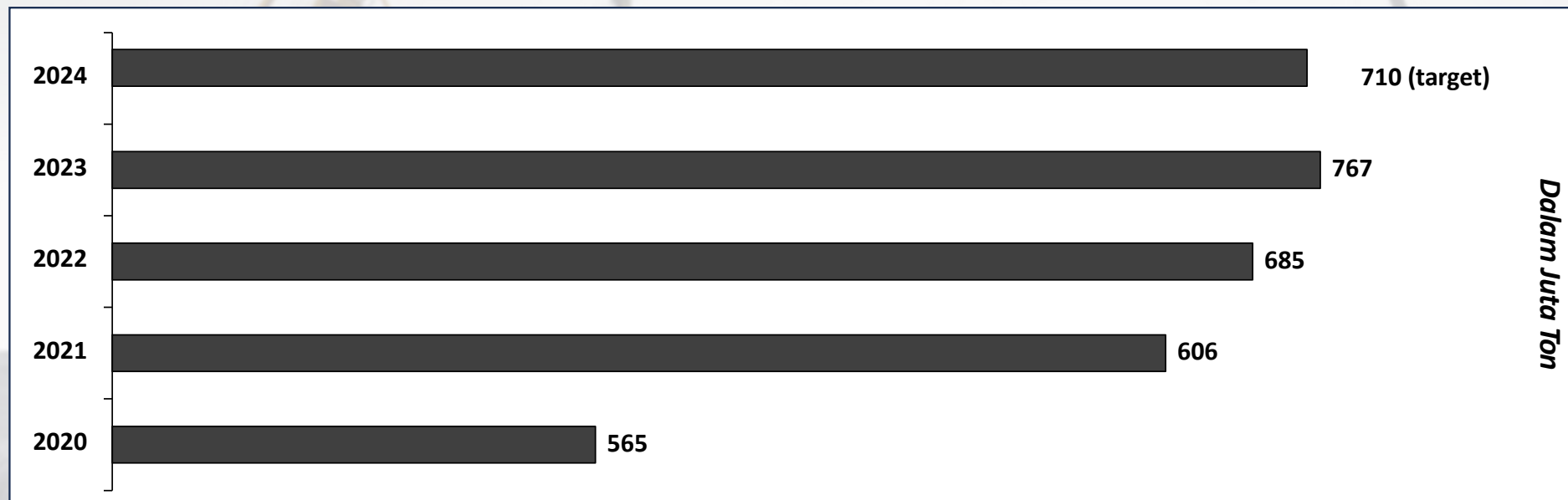
PROYEKSI SERAPAN BATUBARA DOMESTIK



- Proyeksi ekspor dihitung berdasarkan kebutuhan pasar ekspor
- Proyeksi domestik dihitung berdasarkan peningkatan kebutuhan batubara pada berbagai sektor industri dalam negeri seperti PLTU, industri semen dan smelter

Sumber: Grand Strategy Energi Nasional-ESDM, Roadmap Hilirisasi Batubara & BPS 2022 (diolah)

PRODUKSI BATUBARA NASIONAL 2020–2024



	2020 Realisasi	2021 Realisasi	2022 Realisasi	2023 Realisasi	2024 Estimasi
Ekspor	311	322	343	402	441
DMO	131	133	215	71	214

Sumber : MODI, 2023

PROYEKSI SUPPLY-DEMAND BATUBARA DUNIA

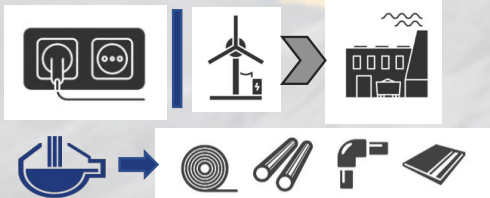


Kondisi ke Depan

Penurunan permintaan batubara diproyeksikan dapat mencapai **85%** di tahun 2050, utamanya disebabkan oleh **pengetatan** peraturan **lingkungan** khususnya untuk **PLTU** dan **pensiun dini PLTU** di berbagai wilayah di dunia.



Percepatan Transisi

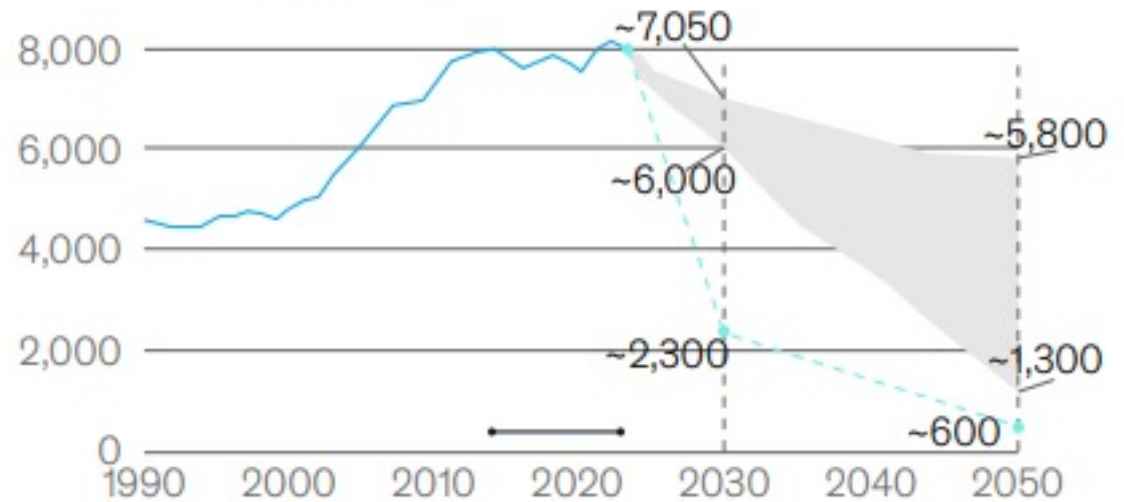


Permintaan batubara dunia sampai 2023 masih tinggi, mengingat dilakukannya percepatan transisi menuju energi terbarukan. Namun diperkirakan akan mulai mengalami penurunan yang cukup tajam di tahun **2030**. Kedepannya, akan terjadi **transisi penggunaan** batubara untuk mendukung penurunan emisi karbon dengan optimalisasi penggunaan batubara yang menerapkan **Clean Coal**

Technology

Sumber: Global Energy Perspective 2023, McKinsey & Co.

Global coal demand, Mt



1.5°C Pathway
Proyeksi 2050

1.6°C - 2.9°C

Emisi global diperkirakan akan terus mengalami **peningkatan** dan mengalami **kesulitan** untuk mencapai target **1.5°C pada tahun 2050**.

PETA JALAN TRANSISI ENERGI MENUJU *NET ZERO EMISSION*

- 1) Timeline pencapaian strategis mencapai *Net Zero Emission* di sektor energi
- 2) Peta Jalan ini akan menjadi bentuk komitmen bersama antara pemerintah dan para pemangku kepentingan mencapai NZE 2060.

2021– 2025

2025: Penurunan Emisi 231.2 Juta ton CO₂e

Supply:

- Pengembangan EBT berdasarkan RUPTL PT PLN (Persero) 2021-2030
- Pemanfaatan PLTS Atap
- Percepatan waste to energy
- Pengembangan PLTBm skala kecil
- **Cofiring untuk PLTU**

Demand:

- Kompor Induksi 8,1 juta RT
- **Dimethyl ether menggantikan LPG untuk RT**
- Penerapan 300 ribu mobil listrik dan 1,3 juta motor listrik
- Jargas untuk 5,2 juta SR
- Mandatory biodiesel 30% tahun 2025

2026 – 2030

2035: Penurunan Emisi 388 Juta ton CO₂e

Supply:

- Green Hydrogen dari EBT mulai 2031
- Battery Energy Storage System (BESS) masif tahun 2034
- Kapasitas terpasang Pembangkit PLTP 11 GW pada tahun 2035

Demand:

- Kompor Induksi untuk 28,2 juta RT.
- 9,3 juta mobil listrik dan 51 juta motor listrik
- Pemanfaatan jargas untuk 15,2 juta SR
- Penggunaan biofuel dipertahankan 40%
- Penerapan Manajemen Energi dan SKEM

2031– 2035

2030: Penurunan Emisi 327.9 Juta ton CO₂e

Supply :

- Pengembangan EBT berdasarkan RUPTL PT PLN (Persero) 2021-2030
- Pump storage mulai 2025

Demand:

- Kompor induksi untuk 18,1 juta RT
- 2 juta mobil listrik dan 13 juta sepeda motor listrik
- Jargas untuk 10,2 juta SR
- Biofuel di sektor industri dan transportasi menjadi 40%
- Manajemen Energi dan SKEM untuk 11 peralatan RT

*) PLTU pada Wilus PLN dan Non-PLN: Maksimal 30 tahun dan IPP 25-30 tahun (sesuai PPA)
Teknologi rendah emisi yang inovatif seperti CCS/CCUS dapat diterapkan dalam kondisi tertentu pada pembangkit listrik fosil yang ada untuk mempercepat pengurangan emisi dalam peralihan ke energi yang lebih bersih dan lebih hijau

PETA JALAN TRANSISI ENERGI MENUJU *NET ZERO EMISSION*

- 1) Timeline pencapaian strategis mencapai *Net Zero Emission* di sektor energi
- 2) Peta Jalan ini akan menjadi bentuk komitmen bersama antara pemerintah dan para pemangku kepentingan mencapai NZE 2060.

2036 – 2040

2040: Penurunan Emisi 629.4 Juta ton CO₂e

Supply:

- Penggunaan nuklir untuk ketenagalistrikan mulai 2039
- Pengembangan Variable Renewable Energy (VRE) berupa PLTS semakin masif, diikuti oleh PLTB baik on shore maupun off shore mulai tahun 2037.

Demand:

- CCS untuk sektor semen dan baja mulai dari tahun 2036
- Bahan bakar rendah karbon untuk shipping
- Penggunaan kompor Induksi untuk 37,9 juta RT.
- 23 juta mobil listrik dan 101 juta sepeda motor listrik
- Jargas untuk 20,2 juta SR
- Biofuel di sektor industri dan transportasi dipertahankan 40%

2041– 2050

2050: Penurunan Emisi 1,043.8 Juta ton CO₂e

Supply :

- Green hydrogen untuk menggantikan gas alam fosil untuk proses pemanasan suhu tinggi mulai dari tahun 2041
- Energi primer dari EBT lebih tinggi daripada total energi primer berbasis fosil

Demand:

- Penggunaan kompor Induksi untuk 46,6 juta RT.
- Penggunaan 50,2 juta mobil listrik dan 163 juta sepeda motor listrik.
- Pemanfaatan jargas untuk 22,7 juta SR
- Penggunaan biofuel di sektor industri dan transportasi dipertahankan 40%

2051 – 2060

2060: Penurunan Emisi 1,789 Juta ton CO₂e

Supply :

- Emisi di sektor ketengalistrikan akan mencapai nol dan emisi 129 juta ton CO₂-e di sektor industri dan transportasi
- Semua pembangkit berasal dari EBT

Demand:

- Penggunaan CCS di Industri 13 juta ton CO₂
- Kompor induksi sebesar 54,3 juta.
- 175 juta sepeda motor listrik dan 65 juta Mobil listrik
- Pemanfaatan jargas untuk 22,7 juta SR
- Proyeksi demand konsumsi listrik 1.942 TWh dan konsumsi listrik per kapita 5.862 kWh/kapita

*) PLTU pada Wilus PLN dan Non-PLN: Maksimal 30 tahun dan IPP 25-30 tahun (sesuai PPA)

Teknologi rendah emisi yang inovatif seperti CCS/CCUS dapat diterapkan dalam kondisi tertentu pada pembangkit listrik fosil yang ada untuk mempercepat pengurangan emisi dalam peralihan ke energi yang

DAFTAR *EARLY RETIREMENT* PLTU

No.	Nama Pembangkit	Provinsi	DMN (MW)	Tahun Pensiun Natural	Tahun Pensiun Dini	Kumulatif Penurunan Emisi s.d. 2030 (MtonCO2)
1.	PLTU SURALAYA #3,4,5	Banten	1318.2	2055	2028	27.1
2.	PLTU SURALAYA #8	Banten	590	2045	2029	10.7
3.	PLTU PAITON #09	Jatim	615	2045	2029	10.4
4.	PLTU ADIPALA	Jawa Tengah	615	2045	2030	5.4
5.	PLTU IPP Paiton #5,6	Jawa Timur	1220	2031	2030	9.0
6.	PLTU BUKIT ASAM #01,02,03	Sumsel	157.5	2055	2029	0.6
7.	PLTU OMBILIN #01	Sumbar	90	2055	2029	1.1
8.	PLTU LABUHAN ANGIN #01, 02	Sumut	140	2055	2029	0.6
9.	PLTU NAGAN RAYA #01	Aceh	80	2045	2029	1.5

Total PLTU di sistem PLN yang dipensiunkan adalah sebesar **4,8 GW** dengan jumlah emisi GRK yang dapat dihindari sebesar **36 juta ton CO2** pada tahun 2030.

Sumatera

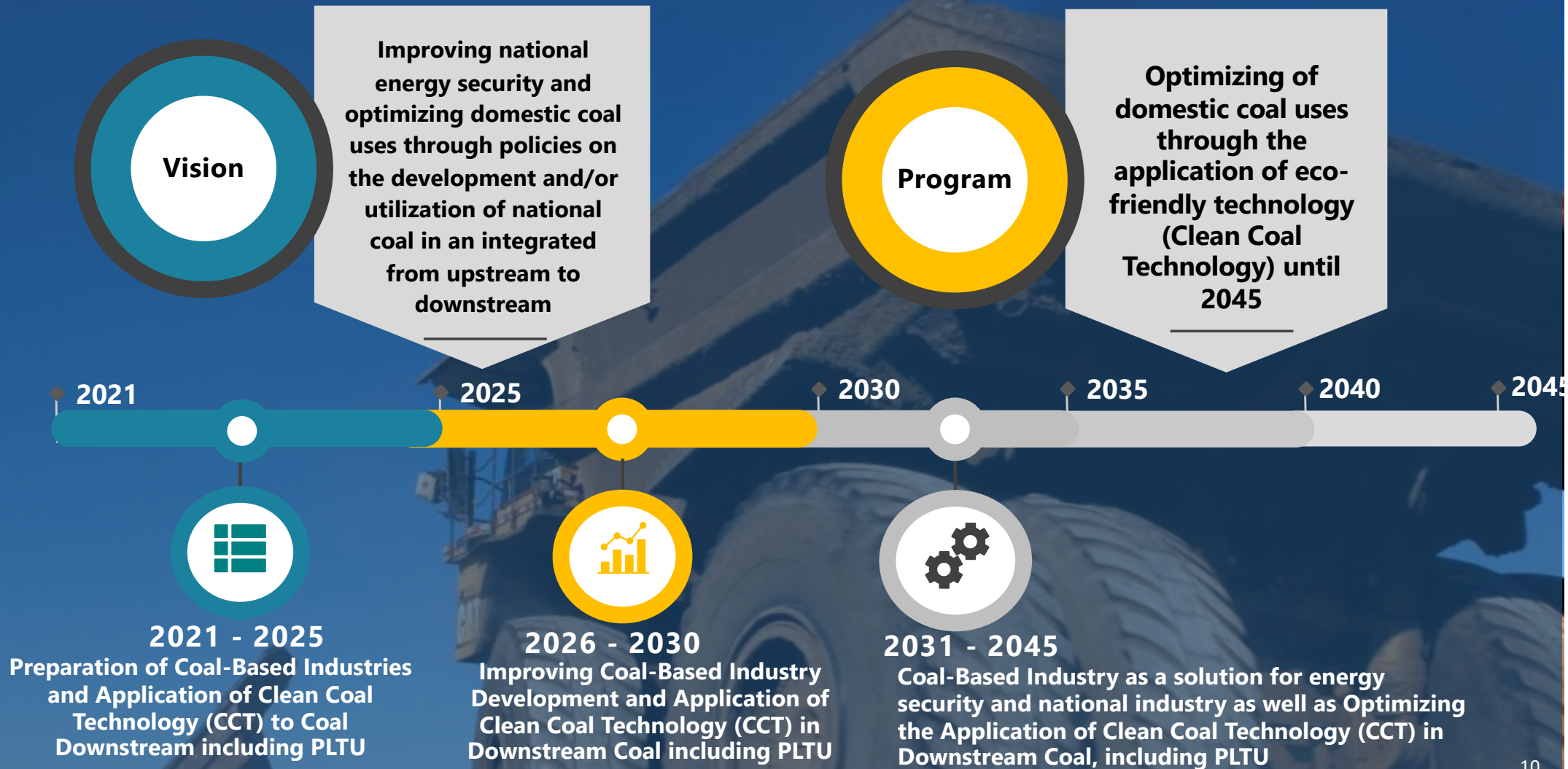


Jawa



Sumber : Dirjen EBTKE, 2023

ROADMAP : COAL DEVELOPMENT AND UTILIZATION



CLEAN COAL TECHNOLOGY (CCT)

No.	Nama PLTU	Lokasi	Kapasitas (MW)
1	PLTU Cirebon	Cirebon, Jawa Barat	660
2	PLTU Paiton 3	Probolinggo, Jawa Timur	815
3	PLTU Cilacap	Cilacap, Jawa Tengah	660
4	PLTU Adipala	Cilacap, Jawa Tengah	660
5	PLTU Banten/LBE 1	Banten	660
6	PLTU Jawa 7 Unit 1	Serang, Banten	1.000
7	PLTU Jawa 8	Cilacap, Jawa Tengah	1.000
8	PLTU Jawa Tengah	Batang, Jawa Tengah	2 x 950
9	PLTU Jawa 1	Karawang, Jawa Barat	924
10	PLTU Jawa 4	Jepara, Jawa Tengah	2 x 1.000
11	PLTU Jawa 5	Suralaya, Banten	1.000
12	PLTU Jawa 9-10	Suralaya, Banten	2 x 1.000
13	PLTU Indramayu 4	Indramayu, Jawa Barat	1.000

Menurut laporan studi CCT yang dilakukan pada tahun 2011 oleh JICA Study, teknologi CCT yang dapat dan diimplementasikan di Indonesia adalah ***Ultra Super Critical (USC)*** dan ***Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC)***.

Di Indonesia, terdapat **13 PLTU batubara** yang telah beroperasi menggunakan teknologi ***supercritical*** dan ***ultra-supercritical***.

Sumber: Kementerian ESDM dan PT PLN, 2021; diolah

TEKNOLOGI PENINGKATAN EFISIENSI TERMAL

SUPERCRITICAL (SC) DAN ULTRA-SUPERCRITICAL (USC) PULVERIZED COAL COMBUSTION (PCC)

Teknologi pada boiler PLTU batubara yang diaplikasikan untuk meningkatkan efisiensi pembakaran batubara.

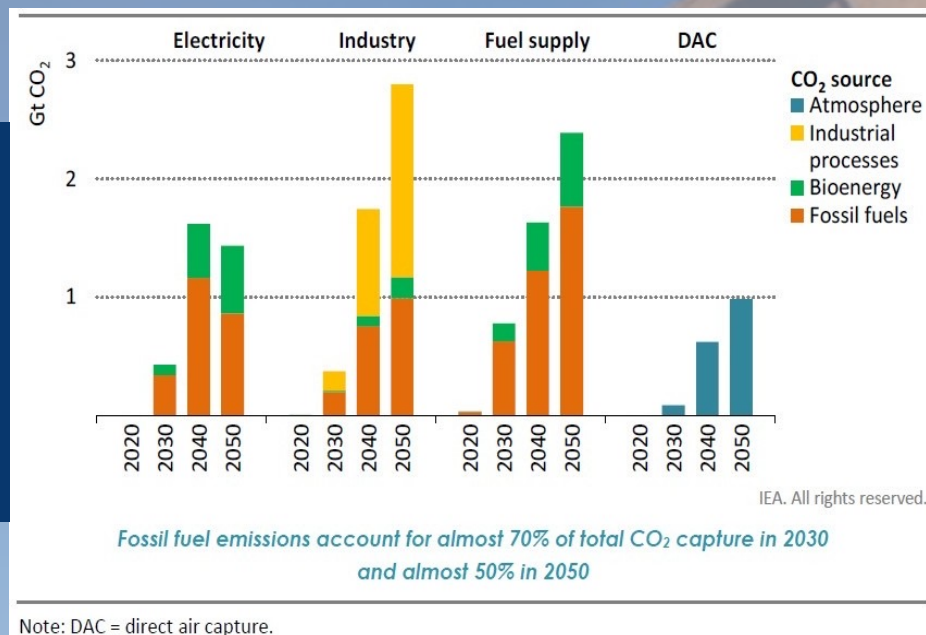
Perbandingan karakteristik masing-masing teknologi pada PLTU Batubara

Teknologi	Tingkat Efisiensi (%)	Konsumsi Batubara (g/kWh)	Temperatur Uap (°C)	Intensitas CO2 yang dihasilkan (gCO2/kWh)	Tekanan Uap (bar)
Subcritical	~38%	≥380	≤550	≥880	220,89
Supercritical	~42%	340-380	550-600	800-880	250
Ultra-supercritical	~45%	320-340	≥600	740-800	290
Advanced Ultra-supercritical	45-50%	230-320	≥700	670-740	>290

CCUS: PELUANG KONTRIBUSI BATUBARA DALAM KEBIJAKAN NZE

Carbon Capture, Utilization, and Storage adalah teknologi untuk menangkap CO₂ yang diemisikan lalu menyimpannya ke dalam formasi geologi.

CCUS
berdasarkan
sektor dan
sumber emisi
dalam NZE



Pada tahun 2050, sekitar **50%** dari pemanfaatan teknologi CCUS akan digunakan untuk **pembakaran energi fosil**, termasuk batubara.

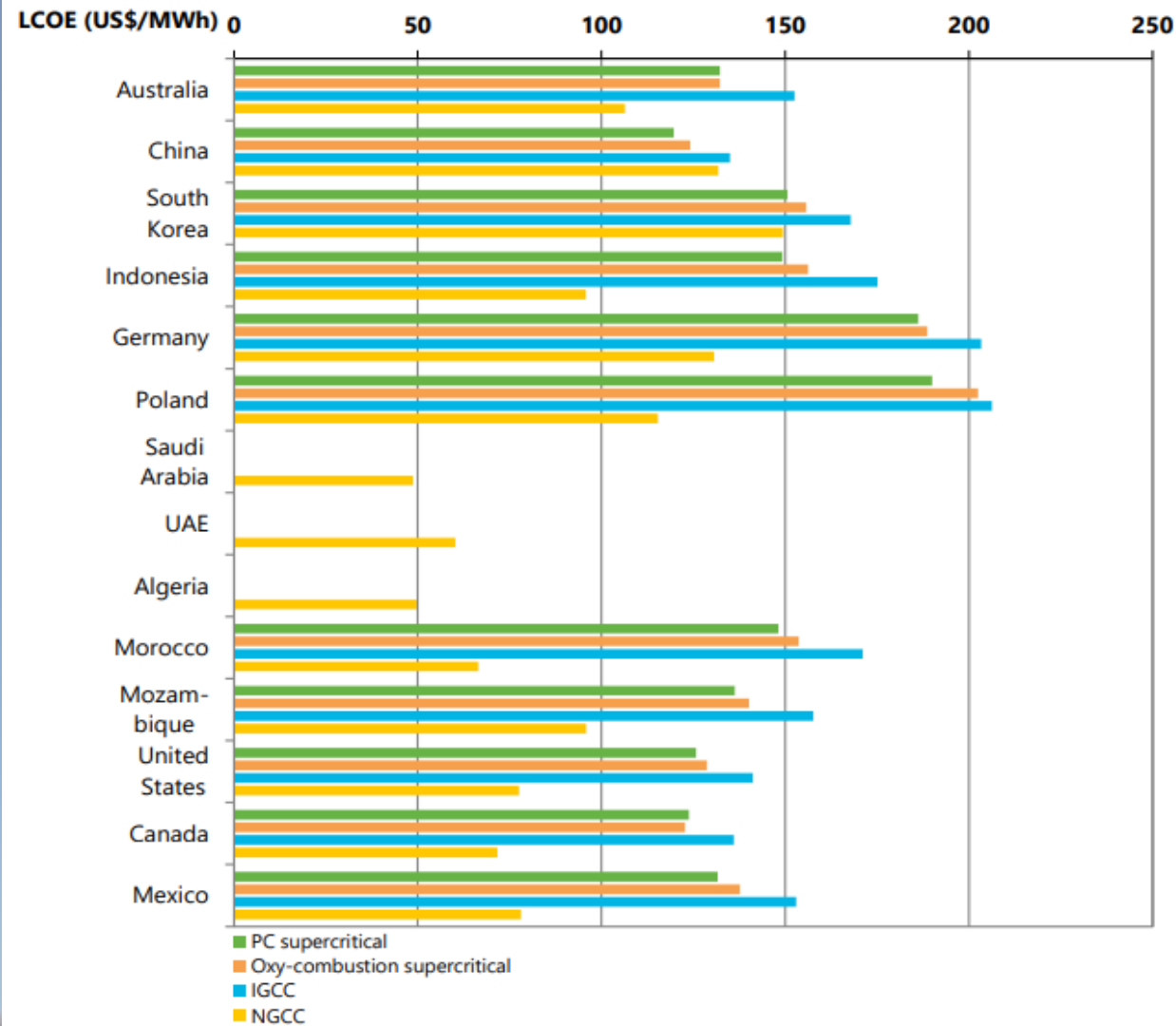
Penggunaan CCUS untuk mempertahankan sebagian energi fosil penting untuk **mengurangi resiko** teknis dan finansial proyek non-fosil.

IEA: Pemanfaatan energi fosil (**termasuk batubara**) dengan **CCUS** (*carbon capture, utilization, and storage*) tetap menjadi bagian penting skenario *Net Zero Emission* (NZE).

BIAYA CCS/CCUS

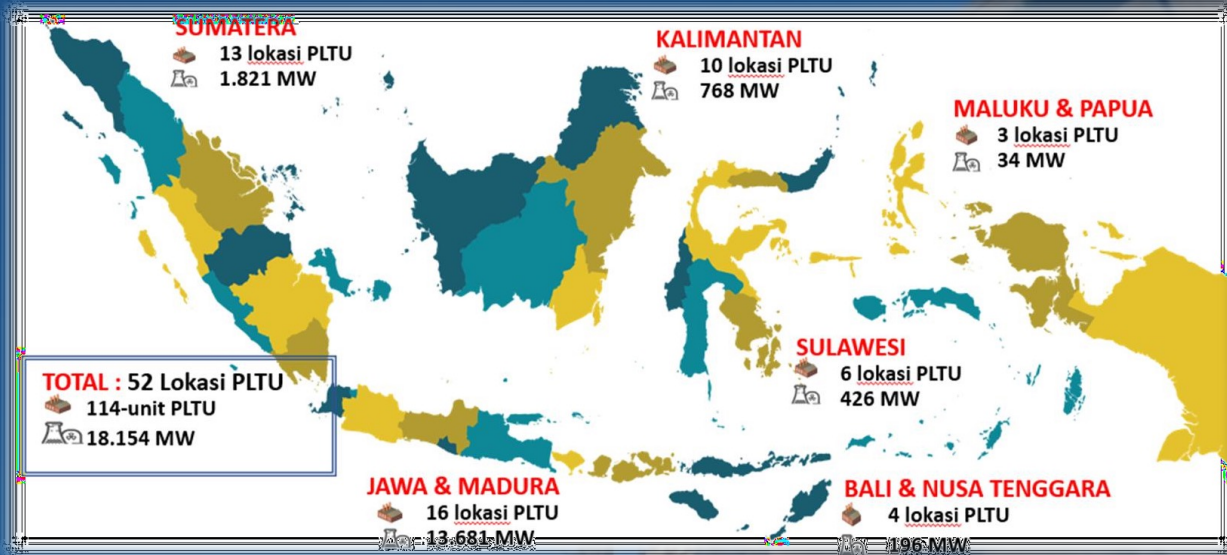
Sumber: Global CCS Institute, 2017

LCOE: levelized cost of electricity
PC: Pulverized coal combustion
IGCC: Integrated Gasification Combined Cycle
NGCC: Natural Gas Combined Cycle



PROGRAM CO-FIRING BIOMASSA PLTU

Co-firing" adalah substitusi batu bara pada rasio tertentu dengan bahan biomassa seperti "pellet" kayu, sampah, cangkang sawit dan "sawdust" (serbuk gergaji).



Kebutuhan biomassa:

2020 – 2024: 5,06 juta ton ; 2025-2035: 9,02 juta ton/tahun

Potensi penurunan emisi dari program co-firing:

2020 – 2024: 3,37 juta ton CO₂e ;
2025-2035: 5,94 juta ton CO₂e/tahun

Daftar 32 PLTU yang sudah diujicoba



1	• PLTU Paiton 1&2 ; WoodPellet , Sawdust (5%),	PC	★
2	• PLTU Jeranjang; SRF (3%)	CFB	★
3	• PLTU Ketapang; Cangkang Sawit/PKS (1%,3%,5%),	CFB	★
4	• PLTU Indramayu; Wood Pellet (1%,3%,5%),	PC	
5	• PLTU Tenayan; Cangkang Sawit/PKS (5%),	CFB	
6	• PLTU Rembang; Wood Pellet (5%),	PC	★
7	• PLTU Sanggau; Cangkang Sawit/PKS (5%,10%,15%),	STOKER	
8	• PLTU Anggrek; Wood Chip Lamtoro (1%,3%,5%),	CFB	
9	• PLTU Belitung; Cangkang Sawit/PKS (3%,5%),	CFB	
10	• PLTU TL. Balikpapan; Cangkang Sawit/PKS (5%),	CFB	
11	• PLTU Lontar; RDF Eceng Gondok (1%),	PC	★
12	• PLTU Pacitan; Sawdust (5%),	PC	
13	• PLTU Ropa; Wood Pellet (5%,10%,15%),	STOKER	
14	• PLTU Bolok; WoodChip (5%),	CFB	
15	• PLTU Paiton 9; Sawdust (5%),	PC	
16	• PLTU Barru; Sawdust (1%, 3%),	CFB	
17	• PLTU Tembilahan ; Wood Chip (20%),	STOKER	
18	• PLTU Adipala; Wood Pellet (5%),	PC	
19	• PLTU Nagran Raya; Cangkang Sawit/PKS (5%),	CFB	
20	• PLTU Tarahan ; Woodchip (3%),	CFB	
21	• PLTU Sintang; Cangkang Sawit (5%; 10% 15%),	STOKER	
22	• PLTU Labuan; Sawdust (5%),	PC	★
23	• PLTU Suralaya 1-4; Sekam Padi (1%),	PC	
24	• PLTU Pelabuhan Ratu; Sawdust (5%),	PC	
25	• PLTU Suralaya 6-7; Sawdust (5%),	PC	
26	• PLTU Pulang Pisau; Mix Woodchip+Sawdust (5%),	CFB	
27	• PLTU Kendari (Nii Tanasa); Cangkang Sawit/PKS (1% 5%)	STOKER	
28	• PLTU Bengkayang; Cangkang Sawit/PKS (5%),	CFB	
29	• PLTU Bukit Asam; Sawdust (1%, 3%, 5%),	PC	
30	• PLTU Tarahan Baru (Sebalang); Woodchip (5%),	CFB	
31	• PLTU Tidore; Batok Kelapa (5%),	STOKER	
32	• PLTU Asam Asam; Sawdust (3%, 5%),	PC	

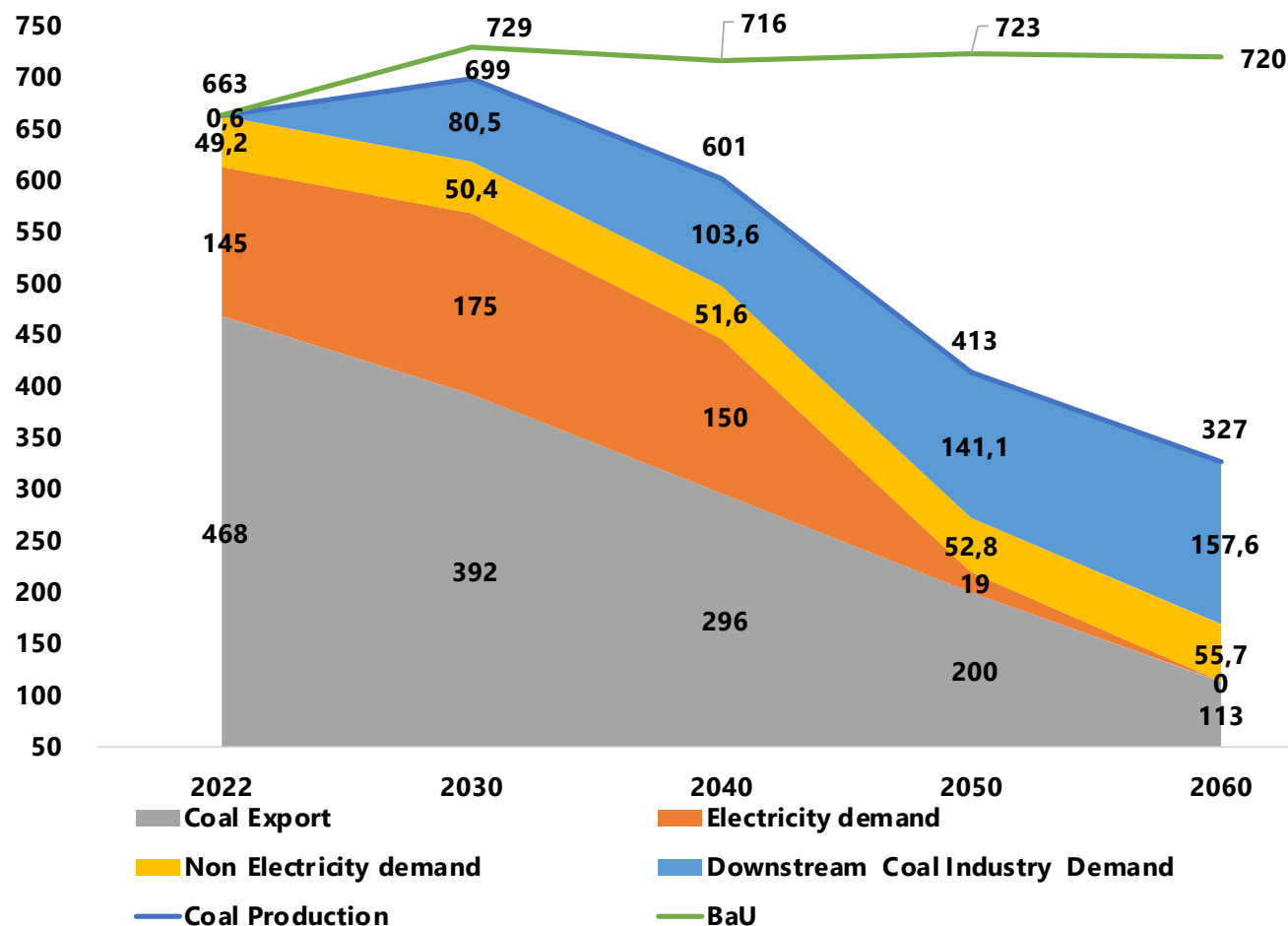


Implementasi Operasi Cofiring Komersial

CFB: Circulating Fluidized Bed | PC: Pulverized Coal | SRF: Solid Recovered Fuel | PKS: Pabrik Kelapa Sawit | RDF: Refuse Derived Fuel Stoker Type Boiler: boiler yang menggunakan rantai berjalan sebagai tempat pembakaran bahan bakar yang umumnya berupa padatan

Sumber : Ditjen EBTKE, 2023

PROJECTION: COAL PRODUCTION, EXPORT & DOMESTIC CONSUMPTION (NZE SCENARIO)



Strategy

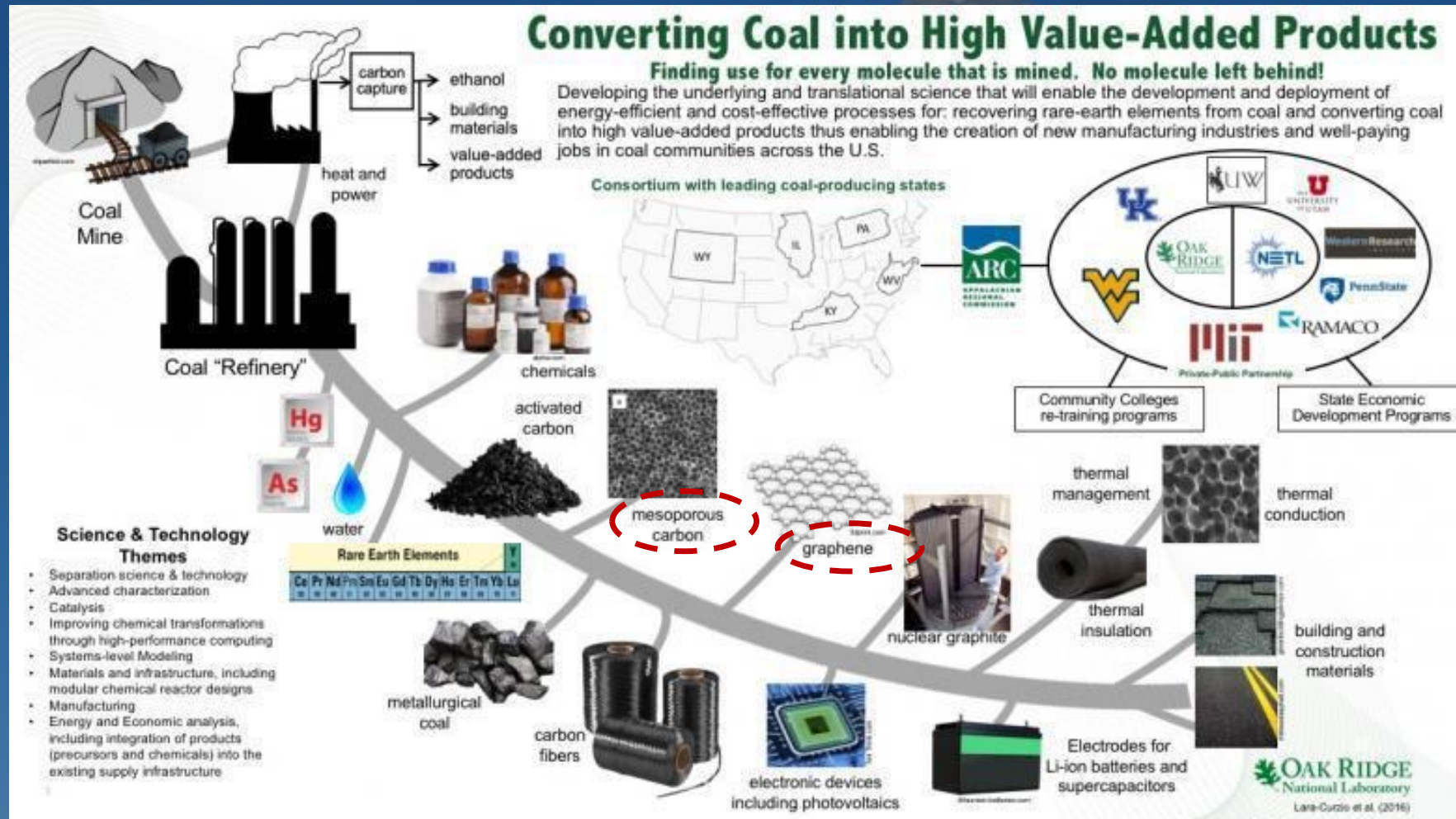
Upstream

- **Coal production starts to decline in 2030** following electricity demand;
- Biofuels as a substitute for fossil energy (B20 & B30);
- **Reclamation** of ex-mining land.

Downstream

- *Cofiring* Biomass;
- Clean Coal Technology for power plant (**CCS/CCUS & IGCC**) and coal downstream industry;
- Standardization.

UPAYA PENGEMBANGAN BATUBARA KE DEPAN



Sumber: Oak Ridge National Laboratory, 2021

UPAYA PENGEMBANGAN BATUBARA KE DEPAN

Pengembangan peningkatan nilai tambah batubara antara lain:

- *Activated carbon*
- Teknologi *carbon capture* yang dapat dimanfaatkan untuk pembuatan ethanol, bahan baku material, dan peningkatan nilai tambah produk
- Bahan baku *chemicals*
- kebutuhan pembangkit Listrik
- *Metallurgical coal*
- *Mesoporous carbon*
- *Graphene*
- *Carbon fibers*
- Perangkat elektronik termasuk photovoltaics
- *Nuclear graphite*
- Elektroda untuk baterai Li-ion dan *supercapacitors*
- *Thermal insulation, thermal management, and thermal conduction*
- Bahan baku pembangunan konstruksi dan gedung-gedung

COAL INDICATORS

Table 21 Coal: dimensions of energy security and indicators

	Risks	Resilience
External	External risks: import dependency	External resilience: - entry points - diversity of suppliers
Domestic	Domestic risks: proportion of underground mining	Domestic resilience: n/a

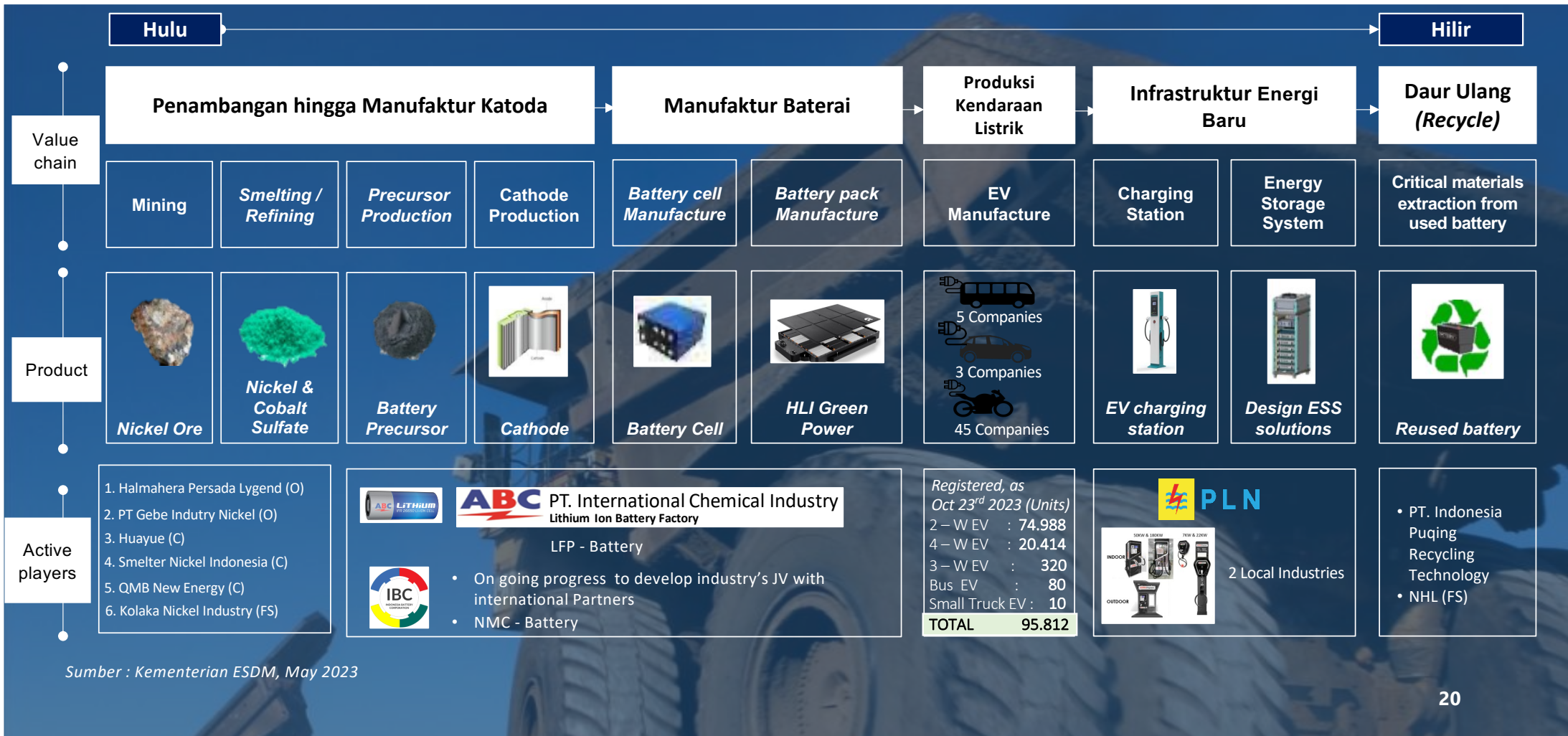
Table 22 Coal: ranges for indicators

Dimension	Indicator		Low	Medium	High
External risk	Import dependency		0%	30%-70%	>70%
Domestic risk	Share of underground mining		<40%	40%-60%	No countries have more than 60% of their domestic coal from underground sources
External resilience	Diversity of suppliers		>0.6	0.3-0.6	<0.3
	Import Infrastructure (entry points)	Sea or river ports	1-2	3-4	>5
		Railways	2-3	No countries have >3 railway entry points and <3 sea or river ports.	

Ketahanan energi batubara, pada assessment yang dilakukan oleh International Energy Agency (IEA), ditinjau berdasarkan faktor eksternal dan domestik. Faktor eksternal utama yang paling mempengaruhi adalah **ketergantungan impor**. Sedangkan faktor domestik yang diperkirakan paling berpengaruh adalah **proporsi penambangan bawah tanah**.

II. KETAHANAN ENERGI MINERAL

PENGEMBANGAN EKOSISTEM INDUSTRI BATERAI KENDARAAN LISTRIK



RENCANA STRATEGIS PENGELOLAAN MINERAL KRITIS DI INDONESIA

Saat ini difokuskan pengelolaan mineral kritis untuk kebutuhan pengembangan industri baterai dan kendaraan listrik di Indonesia. Untuk itu beberapa rencana yang dapat diterapkan dalam pengelolaan mineral kritis di Indonesia antara lain

1

- Menambah dan mengembangkan aktivitas eksplorasi komoditas mineral kritis di Indonesia

2

- Pemberian fasilitas fiskal untuk mendukung percepatan pengembangan industri mineral kritis

3

- Pembangunan infrastruktur berkelanjutan dan ramah lingkungan dalam menunjang pengelolaan mineral kritis di Indonesia

4

- Memperkuat kerja sama internasional dan memanfaatkan kerja sama tersebut untuk pengembangan industri mineral kritis

POTENSI APLIKASI DARI MINERAL KRITIS

Teknologi Tinggi dan Elektronik



Perangkat elektronik



Teknologi Tinggi

Transmisi dan Distribusi



Transmisi



Distribusi

Energy Storage



Mesin dan Baterai EV



Hidrogen (electrolysers)

Energi Terbarukan



Solar



Bayu



Nuklir

Mg

Magnesium

Si

Silika

Cu

Tembaga

Sb

Antimoni

Al

Aluminium

Co

Kobalt

W

Tungsten

Ge

Germanium

Li

Tembaga

Sc

Scandium

Ta

Tantalum

Nb

Niobium

REE

Rare Earth Elements

Pt

Platinum

Cu

Tembaga

Al

Aluminium

Ni

Nikel

Co

Kobalt

Mn

Mangan

Zr

Zirkonium

Cr

Kromium

V

Vanadium

Ti

Titanium

Cu

Tembaga

Li

Lithium

C

Karbon

P

Fosfat

Pt

Platinum

REE

Rare Earth Elements

Si

Silika

Zn

Seng

Al

Aluminium

Mn

Mangan

Co

Kobalt

Cu

Tembaga

Ni

Nikel

Ge

Germanium

REE

Rare Earth Elements

Sumber: Kementerian ESDM, 2023



Terdapat Cadangan di Indonesia



Terdapat Sumberdaya di Indonesia

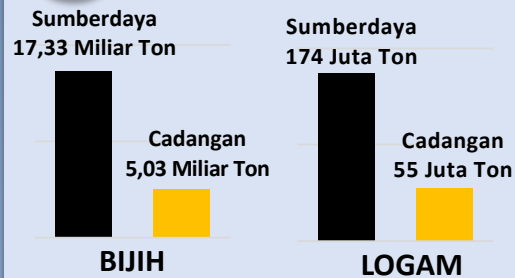


Belum terdapat sumberdaya dan cadangan di Indonesia

SUMBERDAYA DAN CADANGAN BEBERAPA MINERAL KRITIS



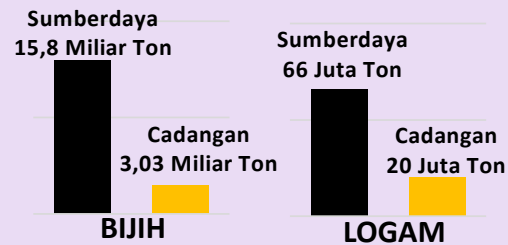
1. NIKEL



Umur cadangan nikel **saprolite ±6 tahun**
 Umur cadangan nikel **limonite ±10 tahun**



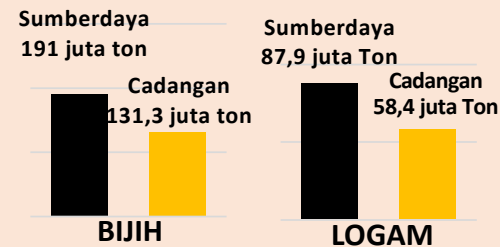
2. TEMBAGA



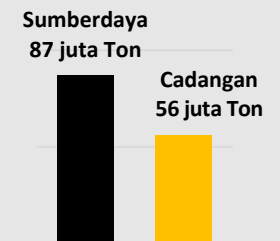
Umur cadangan tembaga **22 tahun**



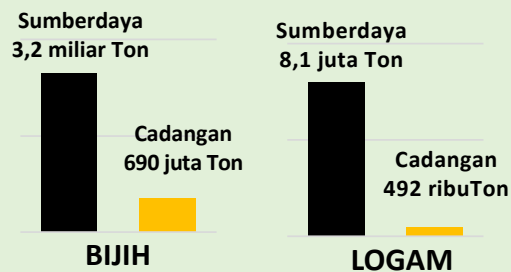
3. MANGAN



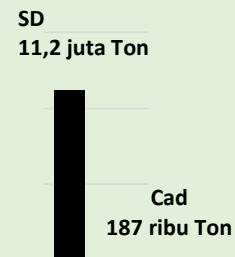
4. ZIRKONIUM



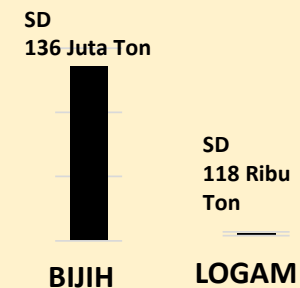
5. KOBALT



6. FOSFAT



7. LTJ



KLASIFIKASI MINERAL KRITIS INDONESIA

Al	Ca	Co	Cr	Fe	Feld	Mg	Mn	Ni	Sb
Si	Sn	Ti	V	Zn	Zr	Cu	Hg	REE	K
Mo	Pt	Ba	PbS	Bi	C	Cd	CAF ₂	Ga	Ge
Hf	In	Li	Nb	P	Pd	Ru	S	Sc	Se
Sr	Ta	Te	Th	W	B	Be			

Mineral Kritis yang memiliki Cadangan
Mineral Kritis yang memiliki Sumber Daya
Mineral Kritis yang tidak memiliki Cadangan dan Sumber Daya

47 Komoditas Mineral Kritis

- | | | |
|-------------------|----------------|---------------|
| 1. Aluminium | 17. Indium | 33. Selenium |
| 2. Antimon | 18. Kalium | 34. Seng |
| 3. Barium | 19. Kalsium | 35. Silika |
| 4. Berilium | 20. Kobal | 36. Sulfur |
| 5. Besi | 21. Kromium | 37. Skandium |
| 6. Bismuth | 22. Litium | 38. Stronsium |
| 7. Boron | 23. LTJ | 39. Tantalum |
| 8. Cadmium | 24. Magnesium | 40. Telurium |
| 9. Felspar | 25. Mangan | 41. Tembaga |
| 10. Fluospar | 26. Merkuri | 42. Timah |
| 11. Fosfor | 27. Molibdenum | 43. Titanium |
| 12. Galena | 28. Nikel | 44. Torium |
| 13. Galium | 29. Niobium | 45. Wolfram |
| 14. Germanium | 30. Paladium | 46. Vanadium |
| 15. Grafit/Carbon | 31. Platinum | 47. Zirkonium |
| 16. Hafnium | 32. Ruthenium | |

Sumber: Kepmen ESDM No. 296/2023

Kriteria Mineral Kritis

- Sebagai Bahan Baku Industri Strategis nasional
- Memiliki nilai manfaat untuk perekonomian nasional dan pertahanan keamanan negara
- Belum adanya pengganti yang layak
- Memiliki risiko tinggi terhadap pasokan

BATERAI RADIOAKTIF KECIL YANG DAPAT MENYALA SELAMA 50 TAHUN

- **Betavolt Technology**, perusahaan yang bergerak di bidang teknologi asal China, telah berhasil membuat baterai bertenaga nuklir yang berukuran **15 x 15 x 5 mm**. Baterai tersebut menggunakan **63 isotop nuklir** untuk menghasilkan **100 mikrowatt** dan **tegangan listrik 3V** melalui proses peluruhan radioaktif.



Keunggulan BV100

- Ukuran baterai yang kecil dan ringan;
- memiliki masa pakai yang lama;
- kapasitas dan umur baterai yang tidak menurun selama siklus pengisian daya
- Dapat bekerja di suhu ekstrim (-60 sampai 120°C)

- Baterai ini sekarang masih dalam **tahap uji coba** dan direncanakan akan diproduksi massal untuk kebutuhan komersil seperti **handphones, drones, alat medis, micro-robots** hingga kebutuhan industri dirantara dan teknologi tingkat lanjut.
- Dalam pembuatannya baterai radioaktif, ilmuwan Betavolt menggunakan **nikel-63**, yang merupakan unsur radioaktif, sebagai sumber energi dan semikonduktor berlian sebagai pengubah energi.
- Betavolt juga menyatakan baterai ini lebih aman karena **tidak akan terbakar atau meledak** jika terkena tusukan atau tembakan. Terkait **isu radiasi**, Betavolt juga mengklaim bahwa baterai ini **tidak mengeluarkan radiasi eksternal dan aman untuk makhluk hidup dan lingkungan**.
- Teknologi baterai ini dapat membawa revolusi baru dalam perkembangan alat elektronik yang memanfaatkan energi nuklir.

