

Energi Nuklir, Solusi Krisis Energi atau Ancaman Dunia?

Oleh: Rudy C Tarumingkeng



Rudy C Tarumingkeng: Energi Nuklir, Solusi Krisis Energi atau Ancaman Dunia?

Oleh:

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

Professor of Management NUP: 9903252922

Professor Emeritus, IPB-University

Anggota MPR-RI, 1982-1987

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

rudymt75@gmail.com

11 May 2026

ENERGI NUKLIR, SOLUSI KRISIS ENERGI ATAU ANCAMAN DUNIA?

Abstrak

Energi nuklir kembali menjadi perdebatan global ketika dunia menghadapi tiga tekanan besar sekaligus: meningkatnya kebutuhan listrik, krisis iklim, dan kerentanan geopolitik pasokan energi fosil. Di satu sisi, pembangkit listrik tenaga nuklir menawarkan energi rendah karbon, berkapasitas besar, stabil, dan dapat beroperasi terus-menerus sebagai sumber daya *baseload*. Data IEA menunjukkan bahwa pada 2024 nuklir menyumbang sekitar 9% listrik global, sementara energi rendah emisi—termasuk nuklir dan energi terbarukan—diprojektikan berperan besar dalam memenuhi pertumbuhan permintaan listrik dunia pada periode 2025–2027. ([IEA](#)) Di sisi lain, nuklir membawa risiko serius: kecelakaan reaktor, limbah radioaktif jangka panjang, biaya konstruksi yang tinggi, persoalan proliferasi senjata nuklir, serta ancaman terhadap fasilitas nuklir dalam situasi perang seperti tampak pada krisis Zaporizhzhia di Ukraina. ([Reuters](#))

Makalah ini membahas energi nuklir secara seimbang: bukan sebagai “jawaban ajaib” atas krisis energi, tetapi juga bukan sebagai ancaman yang harus ditolak secara mutlak. Nuklir perlu dipahami sebagai teknologi strategis yang manfaat dan risikonya sangat bergantung pada tata kelola, kapasitas kelembagaan, budaya keselamatan, transparansi publik, regulasi, kesiapan teknologi, serta konteks geografis dan sosial-politik suatu negara. Dalam konteks Indonesia, wacana PLTN semakin relevan karena kebutuhan listrik meningkat, komitmen transisi energi makin mendesak, dan pemerintah mulai memasukkan nuklir ke dalam kerangka kebijakan energi

jangka panjang. BAPETEN, misalnya, mencatat proyeksi PLTN 250–500 MW sekitar 2032 dan peningkatan bertahap hingga puluhan GW pada 2060, dengan penekanan pada prinsip kehati-hatian dan penerimaan publik. ([Bapeten](#)) Kesimpulan makalah ini adalah bahwa energi nuklir dapat menjadi bagian dari solusi krisis energi dan iklim, tetapi hanya apabila dikembangkan dalam kerangka “keselamatan lebih dahulu, tata kelola kuat, partisipasi publik, dan integrasi dengan energi terbarukan.”

Kata kunci: *energi nuklir, krisis energi, PLTN, transisi energi, keselamatan nuklir, limbah radioaktif, Indonesia, perubahan iklim, geopolitik energi, energi rendah karbon.*

Energi Nuklir, Solusi Krisis Energi atau Ancaman Dunia?

1. Pendahuluan

Energi adalah urat nadi peradaban modern. Hampir seluruh aktivitas sosial, ekonomi, pendidikan, kesehatan, transportasi, industri, komunikasi digital, hingga pertahanan negara bergantung pada ketersediaan energi yang stabil, terjangkau, dan aman. Ketika listrik padam, bukan hanya lampu yang mati; sistem produksi terganggu, rumah sakit berisiko, jaringan komunikasi melemah, dan aktivitas ekonomi kehilangan ritmenya. Karena itu, krisis energi bukan semata-mata krisis teknis, melainkan krisis peradaban.

Pada abad ke-21, krisis energi memiliki wajah yang semakin kompleks. Pertama, kebutuhan energi terus meningkat akibat pertumbuhan penduduk, urbanisasi, industrialisasi, digitalisasi, kendaraan listrik, pusat data, dan kecerdasan buatan. IEA menekankan bahwa dunia sedang memasuki “Age of Electricity”, ketika permintaan listrik tumbuh lebih cepat daripada permintaan energi total, termasuk karena kendaraan listrik, pusat

data, dan AI. (IEA) Kedua, dunia menghadapi tekanan perubahan iklim. Sektor energi masih menjadi sumber utama emisi gas rumah kaca, sehingga transisi dari energi fosil menuju energi rendah karbon menjadi agenda global yang tidak dapat ditunda. IPCC menegaskan bahwa pembatasan pemanasan global menuntut penurunan emisi CO₂ dan gas rumah kaca secara cepat dan mendalam dalam sistem energi. (IPCC) Ketiga, geopolitik energi makin rentan. Perang, sanksi, gangguan jalur laut, konflik regional, dan ketergantungan pada impor bahan bakar fosil membuat energi menjadi instrumen kekuasaan sekaligus sumber kerentanan.

Dalam konteks seperti itu, energi nuklir kembali muncul sebagai pilihan strategis. Negara-negara yang sebelumnya ragu mulai membuka kembali diskusi tentang nuklir. Negara yang telah memiliki PLTN memperpanjang usia reaktornya, membangun reaktor baru, atau mengembangkan teknologi *small modular reactor* atau SMR. IEA menyatakan bahwa pembangkitan listrik nuklir diperkirakan mencapai rekor baru pada 2025, didorong oleh peningkatan operasi di Jepang dan Prancis serta masuknya reaktor baru di beberapa negara seperti China, India, Korea, dan negara-negara Eropa. (IEA) Namun, kembalinya minat terhadap nuklir juga memunculkan pertanyaan lama yang belum sepenuhnya selesai: apakah energi nuklir benar-benar solusi krisis energi, atau justru ancaman dunia?

Pertanyaan tersebut tidak dapat dijawab secara hitam-putih. Energi nuklir adalah teknologi dengan paradoks besar. Ia dapat menghasilkan listrik dalam jumlah sangat besar dengan emisi karbon rendah, tetapi juga memiliki potensi risiko yang sangat serius bila gagal dikelola. Ia dapat memperkuat ketahanan energi, tetapi juga dapat menimbulkan ketergantungan pada teknologi, bahan bakar, dan standar keselamatan global yang kompleks. Ia dapat menjadi simbol kemajuan ilmu pengetahuan, tetapi dalam sejarah dunia juga berkaitan dengan trauma bom atom, perang dingin, kecelakaan Chernobyl, Fukushima, dan kekhawatiran proliferasi senjata nuklir.

Makalah ini bertujuan membahas energi nuklir secara akademik, proporsional, dan kontekstual. Pembahasan tidak dimaksudkan untuk mempromosikan nuklir secara membabi buta, juga tidak untuk menolaknya secara emosional. Yang dibutuhkan adalah sikap ilmiah: memahami manfaat, risiko, prasyarat, dan konsekuensi kebijakan. Dengan demikian, pertanyaan "solusi atau ancaman?" akan dijawab melalui kerangka yang lebih matang: energi nuklir dapat menjadi solusi apabila dikelola dalam tata kelola yang kuat, tetapi dapat menjadi ancaman apabila diterapkan tanpa kesiapan institusional, transparansi, teknologi, pembiayaan, dan budaya keselamatan.

2. Sejarah Singkat Energi Nuklir: Dari Ketakutan Menuju Pemanfaatan Damai

Sejarah energi nuklir tidak dapat dilepaskan dari ambivalensi moral manusia modern. Di satu sisi, nuklir lahir dari kemajuan fisika abad ke-20: penemuan struktur atom, radioaktivitas, fisi nuklir, dan kemampuan manusia memahami energi yang tersimpan dalam inti atom. Di sisi lain, dunia pertama kali mengenal kekuatan nuklir secara traumatis melalui bom atom Hiroshima dan Nagasaki pada 1945. Sejak awal, nuklir hadir sebagai simbol ganda: kecerdasan manusia yang luar biasa sekaligus kemampuan destruktif yang mengerikan.

Setelah Perang Dunia II, muncul gagasan "Atoms for Peace", yakni penggunaan teknologi nuklir untuk tujuan damai: pembangkit listrik, kedokteran, pertanian, industri, dan penelitian. Pembangkit listrik tenaga nuklir komersial mulai beroperasi pada dekade 1950-an, dan sejak itu nuklir menjadi bagian dari bauran energi sejumlah negara industri. World Nuclear Association mencatat bahwa pembangkit nuklir komersial pertama mulai beroperasi pada 1950-an, dan kini nuklir menyediakan sekitar 9% listrik dunia dari ratusan reaktor di lebih dari 30 negara. ([World Nuclear Association](#))

Pada masa krisis minyak 1970-an, banyak negara memandang nuklir sebagai jalan menuju kemandirian energi. Prancis, misalnya, mengembangkan program nuklir besar-besaran untuk mengurangi ketergantungan pada impor minyak. Jepang, Korea Selatan, Amerika Serikat, Kanada, Rusia, dan negara-negara Eropa juga mengembangkan nuklir dalam berbagai skala. Namun, optimisme itu terganggu oleh sejumlah kecelakaan besar, terutama Three Mile Island pada 1979, Chernobyl pada 1986, dan Fukushima Daiichi pada 2011. Setiap kecelakaan mengubah persepsi publik, memperketat standar keselamatan, dan memunculkan tuntutan transparansi lebih besar.

Fukushima menjadi titik balik penting pada abad ke-21. Gempa dan tsunami 2011 menyebabkan krisis di PLTN Fukushima Daiichi, memicu evakuasi, kerugian ekonomi besar, dan hilangnya kepercayaan publik terhadap nuklir di banyak negara. Jerman kemudian mempercepat kebijakan keluar dari nuklir, sementara Jepang menghentikan banyak reaktornya untuk evaluasi keselamatan. Namun, setelah krisis energi dan tekanan dekarbonisasi meningkat, sebagian negara mulai mempertimbangkan kembali nuklir sebagai bagian dari strategi rendah karbon.

Perjalanan sejarah ini menunjukkan bahwa energi nuklir bukan sekadar teknologi, tetapi juga memori kolektif. Setiap diskusi tentang nuklir selalu membawa bayang-bayang masa lalu: bom atom, Chernobyl, Fukushima, dan limbah radioaktif. Karena itu, kebijakan nuklir tidak dapat hanya dijelaskan melalui kalkulasi teknis, tetapi juga harus memperhatikan psikologi publik, etika antar-generasi, kepercayaan terhadap pemerintah, dan kualitas lembaga pengawas.

3. Cara Kerja Energi Nuklir secara Sederhana

Energi nuklir pada dasarnya berasal dari proses fisi, yaitu pembelahan inti atom berat—umumnya uranium-235 atau plutonium-239—menjadi inti

yang lebih ringan. Dalam proses pembelahan ini dilepaskan energi panas yang sangat besar. Panas tersebut digunakan untuk menghasilkan uap, uap memutar turbin, turbin menggerakkan generator, dan generator menghasilkan listrik. Secara prinsip, PLTN mirip dengan pembangkit listrik termal lain, seperti PLTU batu bara atau PLTG gas, karena sama-sama menghasilkan uap atau energi mekanis untuk memutar turbin. Perbedaannya terletak pada sumber panasnya: PLTU menggunakan pembakaran bahan bakar fosil, sedangkan PLTN menggunakan reaksi fisi nuklir.

Keunggulan utama reaksi nuklir adalah kepadatan energinya. Sejumlah kecil bahan bakar nuklir dapat menghasilkan energi yang sangat besar. Inilah alasan mengapa nuklir sering dianggap cocok untuk menghasilkan listrik dalam skala besar dan stabil. Reaktor nuklir modern dilengkapi dengan sistem kendali reaksi, sistem pendingin, batang kendali, pelindung radiasi, bejana reaktor, bangunan kontainmen, serta sistem keselamatan berlapis. Konsep keselamatan nuklir lazim dikenal sebagai *defence in depth*, yaitu perlindungan bertingkat agar kegagalan satu sistem tidak langsung menyebabkan bencana.

Namun, karena reaksi nuklir menghasilkan produk fisi radioaktif, pengelolaan bahan bakar bekas menjadi isu penting. Bahan bakar bekas masih mengandung radioaktivitas tinggi dan harus disimpan, didinginkan, diamankan, dan akhirnya dikelola dalam fasilitas penyimpanan jangka panjang. Limbah radioaktif bukan hanya persoalan teknis, melainkan juga persoalan etika: generasi sekarang menikmati listrik, tetapi generasi mendatang harus ikut menanggung kewajiban pengawasan limbah.

Teknologi reaktor juga berkembang. Reaktor generasi lama didominasi oleh reaktor air ringan, seperti PWR dan BWR. Kini muncul reaktor generasi III+ yang memiliki fitur keselamatan lebih maju, serta konsep generasi IV seperti reaktor garam cair, reaktor cepat, dan reaktor suhu tinggi. SMR juga menarik perhatian karena diklaim lebih modular, lebih fleksibel, dan dapat ditempatkan pada jaringan listrik yang lebih kecil. Namun, banyak

teknologi baru masih membutuhkan pembuktian komersial, regulasi, pembiayaan, rantai pasok, dan penerimaan publik.

4. Kondisi Global Energi Nuklir Saat Ini

Energi nuklir tetap menjadi komponen penting dalam sistem energi global, meskipun tidak dominan seperti batu bara, gas, atau energi terbarukan. Berdasarkan PRIS IAEA, per 10 Mei 2026 terdapat 415 reaktor nuklir beroperasi di dunia, 23 reaktor dalam status operasi tertunda, dan 72 reaktor sedang dibangun, dengan total kapasitas terpasang operasional sekitar 379 GW listrik. ([PRIS](#)) Data ini menunjukkan bahwa nuklir bukan teknologi masa lalu yang telah ditinggalkan, tetapi tetap menjadi bagian aktif dari infrastruktur energi dunia.

Dari sisi kontribusi listrik, nuklir menyumbang sekitar 9% pembangkitan listrik global pada 2024. IEA mencatat bahwa untuk pertama kalinya, energi terbarukan dan nuklir bersama-sama mencakup sekitar dua perlima pembangkitan listrik global pada 2024; energi terbarukan menyumbang sekitar sepertiga, sedangkan nuklir sekitar 9%. ([IEA](#)) World Nuclear Association juga menyebutkan nuklir menyediakan sekitar 9% listrik dunia dan lebih dari 20% listrik rendah karbon global. ([World Nuclear Association](#)) Dengan demikian, meskipun proporsinya tidak besar secara keseluruhan, nuklir memiliki arti strategis dalam kelompok energi rendah karbon.

Minat terhadap nuklir meningkat karena beberapa faktor. Pertama, banyak negara membutuhkan sumber listrik stabil yang dapat melengkapi energi terbarukan variabel seperti surya dan angin. Kedua, krisis energi dan gejolak harga gas setelah konflik geopolitik mendorong negara-negara mencari energi yang lebih aman secara pasokan. Ketiga, pertumbuhan pusat data dan AI meningkatkan kebutuhan listrik yang andal. IEA menyebut nuklir dapat membantu keamanan energi sebagai sumber listrik

rendah emisi yang dapat dikendalikan, meskipun tantangan biaya, keterlambatan proyek, dan pembiayaan harus diatasi. ([IEA](#))

Namun, tren global tidak seragam. Ada negara yang memperkuat nuklir, seperti China, India, Rusia, Korea Selatan, Prancis, dan beberapa negara Eropa Timur. Ada pula negara yang mengurangi atau keluar dari nuklir, seperti Jerman. Jepang melakukan restart secara bertahap setelah Fukushima, tetapi tetap menghadapi sensitivitas publik. Hal ini menunjukkan bahwa kebijakan nuklir sangat dipengaruhi oleh pengalaman sejarah, struktur industri, risiko geologi, kepercayaan publik, dan orientasi politik energi.

5. Argumen Pertama: Energi Nuklir sebagai Solusi Krisis Energi

Argumen paling kuat bagi pendukung nuklir adalah kemampuannya menyediakan listrik dalam jumlah besar, stabil, dan rendah karbon. Berbeda dengan pembangkit surya dan angin yang bergantung pada cuaca, PLTN dapat beroperasi terus-menerus dengan faktor kapasitas tinggi. Dalam sistem kelistrikan modern, kestabilan pasokan sangat penting. Rumah sakit, industri baja, pabrik pupuk, pusat data, transportasi listrik, dan jaringan komunikasi membutuhkan pasokan listrik yang tidak mudah terputus.

Dalam konteks krisis energi, stabilitas ini sangat penting. Banyak negara ingin mengurangi ketergantungan pada impor gas, minyak, dan batu bara. PLTN memerlukan bahan bakar uranium, tetapi volume bahan bakarnya relatif kecil dibandingkan kebutuhan batu bara atau gas. Secara logistik, bahan bakar nuklir dapat disimpan untuk periode operasi panjang, sehingga memberi cadangan strategis. Hal ini membuat nuklir menarik bagi negara yang khawatir terhadap volatilitas harga fosil dan gangguan geopolitik jalur pasokan.

Argumen kedua adalah emisi karbon yang rendah. IPCC telah lama menyatakan bahwa emisi gas rumah kaca daur hidup nuklir berada pada

tingkat rendah dan sebanding dengan banyak energi terbarukan. ([IPCC](#)) Dalam krisis iklim, kemampuan menghasilkan listrik rendah karbon dalam skala besar merupakan nilai strategis. Negara yang ingin mencapai net-zero emissions tidak cukup hanya mengganti kendaraan bensin menjadi kendaraan listrik; listriknya sendiri harus berasal dari sumber rendah karbon. Bila kendaraan listrik diisi oleh listrik berbasis batu bara, manfaat iklimnya berkurang.

Argumen ketiga adalah efisiensi lahan. PLTN membutuhkan lahan relatif kecil untuk kapasitas listrik besar dibandingkan beberapa bentuk energi terbarukan. Di negara padat penduduk atau wilayah dengan keterbatasan lahan, ini menjadi pertimbangan penting. Namun, efisiensi lahan tidak boleh dilihat terpisah dari kebutuhan zona keselamatan, akses air pendingin, keamanan fisik, dan lokasi penyimpanan limbah.

Argumen keempat adalah kontribusi teknologi dan industri. Program nuklir dapat mendorong peningkatan kapasitas SDM, riset material, teknik keselamatan, instrumentasi, regulasi, kedokteran nuklir, dan industri presisi. Negara yang serius membangun ekosistem nuklir harus mengembangkan universitas, lembaga riset, badan pengawas, operator, rantai pasok, dan budaya keselamatan. Dengan kata lain, nuklir bukan hanya proyek energi, tetapi proyek pembangunan kapasitas nasional.

6. Argumen Kedua: Energi Nuklir sebagai Ancaman Dunia

Meskipun memiliki manfaat besar, nuklir juga menyimpan risiko yang tidak dapat diremehkan. Risiko pertama adalah kecelakaan reaktor. Industri nuklir telah mengembangkan standar keselamatan yang ketat, tetapi sejarah menunjukkan bahwa kecelakaan berkonsekuensi tinggi tetap mungkin terjadi ketika desain, operasi, budaya keselamatan, bencana alam, atau tata kelola gagal. Chernobyl memperlihatkan bahaya desain reaktor yang bermasalah dan tata kelola tertutup; Fukushima memperlihatkan

risiko bencana alam ekstrem, kegagalan antisipasi, dan kompleksitas pemulihan setelah kecelakaan.

Risiko kedua adalah limbah radioaktif. Bahan bakar bekas PLTN mengandung radionuklida berumur panjang. Secara teknis, limbah dapat dikelola melalui penyimpanan basah, penyimpanan kering, pemrosesan ulang, dan fasilitas geologi dalam. Namun, secara politik dan sosial, menemukan lokasi penyimpanan akhir sering kali sulit. Masyarakat lokal cenderung menolak menjadi lokasi penyimpanan limbah karena kekhawatiran kesehatan, lingkungan, dan stigma. Ini dikenal sebagai masalah *NIMBY—not in my backyard*.

Risiko ketiga adalah proliferasi nuklir. Teknologi nuklir sipil berbeda dari senjata nuklir, tetapi ada keterkaitan pada bahan, pengetahuan, pengayaan uranium, dan pemrosesan plutonium. Karena itu, program nuklir harus berada di bawah sistem pengamanan internasional, termasuk pengawasan IAEA. Negara yang membangun nuklir tanpa transparansi dapat menimbulkan kekhawatiran geopolitik. Dalam dunia yang penuh rivalitas kekuatan besar, energi nuklir tidak pernah sepenuhnya bebas dari dimensi keamanan.

Risiko keempat adalah serangan militer, sabotase, dan terorisme. Situasi PLTN Zaporizhzhia di Ukraina memperlihatkan skenario yang dahulu dianggap ekstrem: fasilitas nuklir berada di tengah konflik bersenjata. IAEA melaporkan bahwa Zaporizhzhia pernah bergantung pada satu jalur listrik eksternal untuk mempertahankan sistem pendinginan, sementara aktivitas drone juga merusak peralatan pemantauan di sekitar fasilitas tersebut. ([Reuters](#)) Ini menunjukkan bahwa keselamatan nuklir bukan hanya soal desain teknis, tetapi juga stabilitas politik dan keamanan wilayah.

Risiko kelima adalah biaya dan keterlambatan proyek. PLTN membutuhkan investasi awal sangat besar, waktu konstruksi panjang, dan struktur pembiayaan kompleks. IEA mengakui bahwa momentum nuklir meningkat, tetapi biaya, keterlambatan proyek, dan pembiayaan tetap menjadi hambatan utama. ([IEA](#)) Contoh di Eropa menunjukkan masalah nyata: EDF

menaikkan estimasi biaya enam reaktor baru di Prancis menjadi €72,8 miliar dari estimasi awal €51,7 miliar, dengan keputusan investasi final masih terkait risiko pembiayaan dan jadwal. ([Reuters](#)) Dengan demikian, nuklir dapat menjadi mahal bukan hanya secara teknis, tetapi juga secara fiskal dan politik.

7. Perbandingan Nuklir dengan Energi Terbarukan dan Fosil

Dalam debat energi, nuklir sering dibandingkan dengan batu bara, gas, surya, angin, hidro, dan panas bumi. Perbandingan yang adil harus mempertimbangkan beberapa dimensi: emisi, biaya, stabilitas pasokan, risiko keselamatan, kebutuhan lahan, fleksibilitas sistem, dampak lingkungan, dan waktu pembangunan.

Dibandingkan batu bara, nuklir memiliki keunggulan besar dalam emisi karbon dan polusi udara. Batu bara menghasilkan emisi CO₂ tinggi serta polusi partikulat, sulfur, nitrogen oksida, dan merkuri. Dampak kesehatan masyarakat dari polusi batu bara sangat besar. Our World in Data menunjukkan bahwa jika dihitung berdasarkan kematian akibat kecelakaan dan polusi udara per TWh listrik, batu bara dan minyak jauh lebih mematikan daripada nuklir, sementara nuklir berada di antara sumber energi paling rendah kematian per unit listrik. ([Our World in Data](#)) Namun, batu bara unggul dalam aspek biaya historis, infrastruktur yang sudah tersedia, dan kemudahan operasi di negara yang memiliki cadangan besar.

Dibandingkan gas, nuklir memiliki emisi lebih rendah dan tidak bergantung pada harga gas global. Namun, pembangkit gas lebih cepat dibangun, lebih fleksibel mengikuti beban listrik, dan investasi awalnya lebih rendah. Karena itu, banyak sistem kelistrikan menggunakan gas sebagai penyeimbang energi terbarukan. Masalahnya, gas tetap bahan bakar fosil dan dapat menjadi sumber ketergantungan impor.

Dibandingkan surya dan angin, nuklir lebih stabil tetapi kurang modular dan lebih mahal pada tahap awal. Surya dan angin kini berkembang pesat

karena biaya menurun dan waktu pembangunan relatif cepat. Namun, karena sifatnya variabel, sistem dengan penetrasi surya-angin tinggi membutuhkan jaringan listrik kuat, penyimpanan energi, manajemen permintaan, interkoneksi, dan pembangkit fleksibel. Nuklir dapat melengkapi energi terbarukan sebagai sumber stabil rendah karbon, tetapi juga dapat bersaing dengan energi terbarukan dalam pembiayaan publik jika anggaran terbatas.

Dibandingkan hidro dan panas bumi, nuklir memiliki kapasitas besar dan tidak tergantung pada lokasi sumber daya alam tertentu seperti sungai besar atau reservoir panas bumi. Namun, nuklir tetap membutuhkan lokasi aman, akses air pendingin, dan persyaratan keselamatan tinggi. Hidro memiliki risiko ekologis dan sosial terkait bendungan, sedangkan panas bumi memiliki keterbatasan lokasi dan risiko eksplorasi.

Dengan demikian, tidak ada sumber energi yang sempurna. Pertanyaan kebijakan bukan “nuklir atau terbarukan”, melainkan “kombinasi energi apa yang paling aman, bersih, andal, terjangkau, dan sesuai dengan kondisi nasional?” Dalam sistem energi masa depan, nuklir dapat berperan sebagai pelengkap, bukan pengganti tunggal energi terbarukan.

8. Energi Nuklir dan Krisis Iklim

Krisis iklim memberi tekanan baru pada kebijakan energi. Dunia harus menurunkan emisi, tetapi pada saat yang sama tetap menyediakan listrik untuk pembangunan ekonomi. Negara berkembang menghadapi dilema berat: mereka membutuhkan energi untuk mengurangi kemiskinan, membangun industri, memperluas pendidikan, dan meningkatkan kualitas hidup, tetapi tidak dapat lagi mengikuti jalur industrialisasi berbasis fosil seperti negara maju pada masa lalu.

Dalam konteks ini, nuklir dipandang sebagai salah satu teknologi rendah karbon yang dapat membantu dekarbonisasi. IEA menempatkan nuklir sebagai sumber listrik rendah emisi yang dapat melengkapi energi

terbarukan dan mendukung keamanan listrik. ([IEA](#)) Jika sistem listrik ingin bebas emisi, maka diperlukan sumber rendah karbon yang dapat bekerja siang malam. Energi terbarukan variabel membutuhkan penyimpanan dan jaringan, sementara nuklir menawarkan suplai stabil.

Namun, nuklir bukan solusi cepat untuk krisis iklim jangka pendek. Pembangunan PLTN besar dapat memakan waktu bertahun-tahun hingga lebih dari satu dekade, terutama bagi negara pendatang baru yang harus membangun regulasi, SDM, rantai pasok, dan lembaga keselamatan. Karena itu, nuklir lebih tepat dilihat sebagai strategi jangka menengah-panjang. Untuk target penurunan emisi 2030, energi terbarukan, efisiensi energi, elektrifikasi, pengurangan batu bara, dan reformasi jaringan mungkin memberi dampak lebih cepat. Untuk target 2040–2060, nuklir dapat menjadi opsi bila disiapkan sejak dini.

Tantangan lain adalah biaya peluang. Jika dana publik sangat terbatas, pemerintah harus memilih apakah investasi besar pada nuklir akan mengurangi alokasi untuk jaringan transmisi, penyimpanan energi, surya, angin, panas bumi, efisiensi energi, atau pensiun dini PLTU batu bara. Karena itu, keputusan nuklir harus didasarkan pada analisis sistem energi, bukan sekadar kebanggaan teknologi.

9. Energi Nuklir dalam Perspektif Geopolitik

Energi selalu berkaitan dengan kekuasaan. Minyak membentuk geopolitik abad ke-20; gas membentuk ketergantungan Eropa terhadap Rusia; batu bara membentuk industrialisasi banyak negara; dan kini mineral kritis membentuk persaingan teknologi energi bersih. Nuklir juga memiliki dimensi geopolitik yang kuat.

Pertama, pasokan uranium dan layanan siklus bahan bakar tidak tersebar merata. Negara yang membangun PLTN harus mempertimbangkan sumber uranium, pengayaan, fabrikasi bahan bakar, pengangkutan, penyimpanan, dan kemungkinan pemrosesan ulang. Ketergantungan pada pemasok

tertentu dapat menjadi risiko strategis. Kedua, teknologi reaktor dikendalikan oleh negara dan perusahaan besar. Pemilihan teknologi berarti juga memilih hubungan jangka panjang dengan pemasok, regulator, standar keselamatan, pelatihan, suku cadang, dan kontrak bahan bakar.

Ketiga, nuklir memiliki hubungan erat dengan diplomasi internasional. Negara pendatang baru harus membangun kerja sama dengan IAEA, menandatangani perjanjian pengamanan, memperkuat regulasi, dan menunjukkan komitmen non-proliferasi. Keempat, konflik bersenjata dapat membuat fasilitas nuklir menjadi titik rawan. Kasus Zaporizhzhia memperlihatkan bahwa PLTN dalam zona perang menciptakan ketidakpastian keselamatan yang serius, bahkan ketika reaktor tidak sedang menghasilkan listrik. ([Reuters](#))

Bagi negara berkembang, geopolitik nuklir menimbulkan pertanyaan strategis: apakah nuklir memperkuat kedaulatan energi atau justru menciptakan ketergantungan teknologi baru? Jawabannya bergantung pada desain kebijakan. Jika negara hanya membeli teknologi tanpa membangun kapasitas SDM, regulator independen, industri pendukung, dan manajemen risiko, nuklir dapat menjadi ketergantungan baru. Namun, jika dikembangkan dengan transfer pengetahuan, pendidikan tinggi, riset, dan tata kelola kuat, nuklir dapat meningkatkan kapasitas nasional.

10. Konteks Indonesia: Kebutuhan Energi, Transisi, dan Wacana PLTN

Indonesia memiliki tantangan energi yang khas. Sebagai negara kepulauan besar dengan penduduk besar, pertumbuhan ekonomi, urbanisasi, digitalisasi, industrialisasi hilirisasi, dan kebutuhan pemerataan wilayah, permintaan listrik Indonesia akan terus meningkat. Namun, sistem energi Indonesia masih sangat bergantung pada batu bara. Pada saat yang sama, Indonesia memiliki komitmen transisi energi dan target net-zero emissions.

Dilema Indonesia adalah bagaimana menyediakan energi murah dan andal tanpa mengunci diri pada emisi tinggi.

Dalam beberapa tahun terakhir, wacana PLTN di Indonesia menguat kembali. Pemerintah dan lembaga terkait mulai membahas peran nuklir dalam bauran energi jangka panjang. BAPETEN menyebut bahwa PLTN diproyeksikan dapat mulai beroperasi dengan kapasitas sekitar 250–500 MW pada 2032 dan meningkat secara bertahap hingga 35–60 GW pada 2060, dengan prinsip kehati-hatian, pertimbangan teknis sistem kelistrikan, geopolitik, dan penerimaan publik. ([Bapeten](#)) Selain itu, pemberitaan BAPETEN pada 2026 menyebut pembahasan ekosistem energi nuklir dan rencana 500 MW PLTN dalam 10 tahun ke depan dalam konteks RUPTL. ([Bapeten](#))

Reuters juga melaporkan pada 2025 bahwa Indonesia merencanakan PLTN baru dengan kapasitas sekitar 4,3 GW sebagai bagian dari upaya energi bersih, meskipun Indonesia belum memiliki kapasitas nuklir komersial dan isu nuklir tetap sensitif karena kerentanan terhadap gempa. ([Reuters](#)) Ini menunjukkan bahwa Indonesia berada pada tahap penting: bukan lagi sekadar diskusi akademik, tetapi mulai masuk ke arena kebijakan, investasi, dan regulasi.

Namun, Indonesia perlu sangat hati-hati. Secara geografis, Indonesia berada di Cincin Api Pasifik, memiliki risiko gempa, tsunami, letusan gunung api, banjir, dan perubahan iklim pesisir. Karena itu, pemilihan tapak PLTN harus berbasis kajian geologi, seismik, hidrologi, sosial, dan keamanan yang sangat ketat. Secara kelembagaan, Indonesia harus memastikan pemisahan jelas antara promotor teknologi, operator, regulator, lembaga riset, dan pengambil kebijakan. Regulasi nuklir tidak boleh tunduk pada tekanan proyek.

Dari sisi sosial, penerimaan publik merupakan prasyarat. PLTN tidak dapat dibangun hanya dengan keputusan teknokratis dari pusat. Masyarakat lokal harus memperoleh informasi yang jujur, dapat mengajukan pertanyaan, memahami risiko dan manfaat, serta dilibatkan dalam proses

konsultasi. Kepercayaan publik adalah aset keselamatan. Tanpa kepercayaan, proyek nuklir mudah menjadi konflik sosial.

11. Small Modular Reactor: Harapan Baru atau Hype Teknologi?

SMR sering dipresentasikan sebagai masa depan nuklir: lebih kecil, modular, fleksibel, aman, dan cocok untuk negara kepulauan atau jaringan listrik yang belum terlalu besar. SMR dapat dibangun dalam unit lebih kecil, misalnya puluhan hingga ratusan MW, sehingga lebih mudah disesuaikan dengan kebutuhan wilayah. Dalam teori, fabrikasi modular di pabrik dapat menurunkan biaya dan mempercepat konstruksi.

Bagi Indonesia, SMR menarik karena sistem kelistrikan nasional tidak sepenuhnya terintegrasi seperti negara benua. Wilayah kepulauan, kawasan industri, pertambangan, data center, dan daerah terpencil dapat menjadi pasar potensial. Namun, kehati-hatian tetap diperlukan. Banyak desain SMR belum terbukti secara komersial dalam skala luas. Biaya aktual, regulasi, rantai pasok, pengelolaan limbah, model bisnis, dan keselamatan operasi masih harus dibuktikan.

SMR juga tidak otomatis menyelesaikan masalah sosial. Reaktor kecil tetap reaktor nuklir. Ia tetap membutuhkan regulasi, pengamanan bahan nuklir, pengelolaan limbah, operator terlatih, kesiapsiagaan darurat, dan persetujuan publik. Bahkan, jika jumlah unit SMR tersebar luas, tantangan pengawasan dapat menjadi lebih kompleks. Karena itu, SMR harus dilihat sebagai opsi yang menjanjikan, bukan solusi instan.

12. Etika Energi Nuklir: Keadilan Antar-Generasi dan Hak Publik

Energi nuklir menuntut refleksi etis yang mendalam. Pertanyaan utamanya bukan hanya "berapa biaya listrik per kWh?", tetapi "siapa yang menanggung risiko?" dan "bagaimana kewajiban kita terhadap generasi mendatang?" Limbah radioaktif dapat bertahan jauh melampaui umur

politik suatu pemerintahan. Reaktor dibangun oleh satu generasi, tetapi limbahnya harus dikelola oleh generasi berikutnya. Ini menuntut prinsip keadilan antar-generasi.

Ada pula isu keadilan spasial. PLTN mungkin memasok listrik untuk kota besar dan kawasan industri, tetapi tapaknya berada di daerah tertentu. Masyarakat sekitar lokasi menanggung persepsi risiko, pembatasan ruang, dan kemungkinan dampak sosial. Karena itu, pembagian manfaat harus adil: pembangunan daerah, infrastruktur, pendidikan, kesehatan, kesempatan kerja, dan kompensasi sosial harus dirancang secara transparan.

Etika nuklir juga menuntut hak publik atas informasi. Karena nuklir berisiko tinggi, pemerintah tidak boleh menggunakan pendekatan komunikasi satu arah. Publik berhak mengetahui jenis teknologi, risiko kecelakaan, skenario evakuasi, sistem pemantauan radiasi, rencana limbah, pembiayaan, kontraktor, dan tanggung jawab hukum bila terjadi kegagalan. Transparansi bukan hambatan pembangunan; transparansi adalah syarat legitimasi.

Dalam perspektif manajemen risiko modern, kepercayaan publik tidak dibangun melalui slogan "aman", tetapi melalui bukti, keterbukaan, audit independen, latihan darurat, regulasi kredibel, dan rekam jejak. Negara yang ingin membangun nuklir harus lebih dahulu membangun budaya kebenaran. Dalam sektor nuklir, menutupi kesalahan kecil dapat membuka jalan bagi bencana besar.

13. Syarat Agar Nuklir Menjadi Solusi, Bukan Ancaman

Agar energi nuklir menjadi solusi, ada beberapa syarat utama. Pertama, harus ada regulator yang independen, kuat, kompeten, dan bebas intervensi politik jangka pendek. Regulator nuklir harus memiliki kewenangan menghentikan proyek bila standar keselamatan tidak dipenuhi. Dalam nuklir, keselamatan tidak boleh dinegosiasikan demi target investasi.

Kedua, harus ada budaya keselamatan. Budaya keselamatan berarti setiap orang, dari operator hingga pejabat tertinggi, memahami bahwa keselamatan adalah prioritas utama. Kesalahan harus dilaporkan, bukan disembunyikan. Audit harus diterima, bukan dianggap ancaman. Karyawan harus dapat menyampaikan kekhawatiran tanpa takut dihukum.

Ketiga, harus ada kesiapan SDM. Nuklir membutuhkan insinyur, fisikawan, ahli material, operator reaktor, ahli radiasi, ahli keamanan siber, ahli hukum nuklir, ahli komunikasi risiko, dokter kedaruratan radiasi, dan manajer proyek besar. Pendidikan dan pelatihan tidak dapat dilakukan mendadak setelah proyek dimulai. Negara harus menyiapkan ekosistem talenta sejak awal.

Keempat, harus ada rencana limbah yang jelas sebelum PLTN beroperasi. Menunda isu limbah sampai reaktor berjalan adalah kesalahan besar. Publik harus mengetahui bagaimana bahan bakar bekas disimpan, siapa yang bertanggung jawab, berapa biayanya, di mana lokasinya, dan bagaimana pengawasan dilakukan.

Kelima, harus ada pembiayaan transparan. PLTN dapat menjadi beban fiskal jika biaya membengkak. Kontrak harus jelas: siapa menanggung risiko keterlambatan, siapa menanggung dekomisioning, bagaimana tarif listrik ditentukan, dan bagaimana tanggung jawab kecelakaan diatur. Tanpa transparansi, proyek nuklir dapat berubah menjadi beban negara.

Keenam, nuklir harus diintegrasikan dengan strategi energi nasional, bukan berdiri sendiri. Jika nuklir hanya menjadi proyek simbolik, manfaatnya terbatas. Ia harus dikaitkan dengan pengurangan batu bara, pembangunan jaringan transmisi, penyimpanan energi, energi terbarukan, efisiensi energi, dan transformasi industri.

14. Narasi Kasus: Sebuah Negara Kepulauan yang Mempertimbangkan PLTN

Bayangkan sebuah negara kepulauan besar bernama Nusantara Energi. Negara ini memiliki pertumbuhan ekonomi tinggi, kebutuhan listrik meningkat, dan ketergantungan pada batu bara. Pemerintah ingin mencapai net-zero emissions pada pertengahan abad. Energi surya tumbuh cepat, panas bumi berkembang, hidro terbatas oleh isu lingkungan, dan angin hanya ekonomis di wilayah tertentu. Pusat data, kawasan industri hijau, dan kendaraan listrik membuat permintaan listrik semakin besar.

Di tengah situasi itu, pemerintah mempertimbangkan PLTN pertama. Para teknokrat mengatakan nuklir diperlukan untuk menjaga kestabilan sistem. Aktivis lingkungan terbelah: sebagian mendukung karena nuklir rendah karbon, sebagian menolak karena risiko limbah dan kecelakaan. Masyarakat lokal di calon tapak khawatir terhadap gempa dan tsunami. Investor bertanya tentang kepastian regulasi. Perguruan tinggi bertanya tentang kesiapan SDM. Regulator meminta waktu memperkuat kapasitas.

Jika pemerintah tergesa-gesa, proyek ini dapat menjadi bencana sosial-politik. Masyarakat merasa dipaksa, rumor menyebar, oposisi mengeras, dan kepercayaan runtuh. Tetapi jika pemerintah sabar, membuka data, melibatkan universitas, mengundang audit internasional, membangun regulator independen, melakukan kajian tapak transparan, dan menjelaskan rencana limbah, maka diskusi publik menjadi lebih rasional. Nuklir mungkin tetap kontroversial, tetapi kontroversi dapat dikelola secara demokratis.

Kasus hipotetis ini menggambarkan pelajaran penting: keberhasilan nuklir bukan hanya ditentukan oleh reaktor, tetapi oleh institusi. Teknologi tinggi membutuhkan tata kelola tinggi. Negara dengan budaya keselamatan lemah, korupsi tinggi, koordinasi buruk, dan komunikasi publik tertutup sebaiknya tidak terburu-buru membangun nuklir. Sebaliknya, negara yang mampu membangun lembaga kredibel dapat menjadikan nuklir sebagai bagian dari strategi energi jangka panjang.

15. Diskusi: Solusi atau Ancaman?

Setelah meninjau berbagai aspek, jawaban atas pertanyaan “energi nuklir, solusi krisis energi atau ancaman dunia?” adalah: keduanya mungkin. Nuklir adalah solusi apabila digunakan secara bertanggung jawab, dengan regulasi kuat, keselamatan tinggi, transparansi, dan integrasi dalam transisi energi rendah karbon. Nuklir adalah ancaman apabila digunakan secara ceroboh, tertutup, politis, tidak siap secara kelembagaan, atau berada dalam konteks konflik dan tata kelola lemah.

Sebagai solusi, nuklir memiliki empat kekuatan utama: rendah karbon, stabil, berkapasitas besar, dan dapat memperkuat keamanan energi. Dalam dunia yang membutuhkan listrik bersih untuk industri, kendaraan listrik, AI, dan pembangunan manusia, kekuatan ini tidak dapat diabaikan. Menolak nuklir secara mutlak dapat membuat sebagian negara lebih lama bergantung pada batu bara dan gas.

Sebagai ancaman, nuklir memiliki empat risiko utama: kecelakaan berkonsekuensi tinggi, limbah jangka panjang, biaya besar, dan dimensi keamanan-proliferasi. Risiko ini juga tidak dapat diabaikan. Mendukung nuklir secara membabi buta dapat membuat negara mengabaikan energi terbarukan yang lebih cepat, lebih murah, dan lebih mudah diterima publik.

Karena itu, pendekatan yang paling bijaksana adalah *conditional acceptance*: nuklir dapat diterima dengan syarat sangat ketat. Bukan “nuklir ya” atau “nuklir tidak”, melainkan “nuklir hanya jika”. Hanya jika regulator independen. Hanya jika tapak aman. Hanya jika pembiayaan transparan. Hanya jika limbah direncanakan. Hanya jika publik dilibatkan. Hanya jika teknologi terbukti. Hanya jika ia mempercepat dekarbonisasi, bukan menghambat energi terbarukan.

16. Implikasi Kebijakan untuk Indonesia

Untuk Indonesia, energi nuklir perlu ditempatkan dalam kerangka kebijakan yang hati-hati dan bertahap. Pertama, Indonesia harus menyusun peta jalan nuklir nasional yang realistis, bukan sekadar target kapasitas. Peta jalan harus mencakup regulasi, SDM, tapak, teknologi, limbah, pembiayaan, komunikasi publik, dan kesiapsiagaan darurat.

Kedua, Indonesia perlu memperkuat BAPETEN sebagai regulator yang benar-benar independen dan berkapasitas tinggi. Jika PLTN dibangun, regulator harus memiliki sumber daya manusia, laboratorium, sistem inspeksi, kapasitas audit, dan kewenangan hukum yang memadai. BAPETEN sendiri telah menekankan pentingnya keselamatan, keamanan, dan safeguards dalam konteks regulasi nuklir. ([Bapeten](#))

Ketiga, Indonesia harus menghindari ketergesa-gesaan memilih teknologi karena promosi vendor. Setiap teknologi—PLTN besar, SMR, reaktor terapung, atau reaktor generasi baru—harus dievaluasi berdasarkan bukti operasi, keselamatan, biaya, rantai pasok, dan kecocokan dengan sistem kelistrikan Indonesia. Teknologi yang terdengar futuristik belum tentu siap secara komersial.

Keempat, keterlibatan publik harus dimulai sejak awal. Masyarakat tidak boleh hanya diberi informasi setelah keputusan dibuat. Pemerintah harus membuka ruang diskusi dengan akademisi, masyarakat sipil, pemuka daerah, organisasi lingkungan, industri, dan komunitas lokal. Ketidakpercayaan publik sering kali muncul bukan karena masyarakat anti-sains, tetapi karena proses kebijakan dianggap tertutup.

Kelima, nuklir tidak boleh mengurangi ambisi energi terbarukan. Indonesia memiliki potensi besar dalam panas bumi, surya, hidro, bioenergi, angin tertentu, efisiensi energi, dan jaringan pintar. Nuklir harus menjadi bagian dari portofolio, bukan alasan menunda reformasi energi fosil.

17. Kesimpulan

Energi nuklir adalah salah satu teknologi paling kontroversial dalam sejarah modern. Ia lahir dari ilmu pengetahuan tinggi, tetapi membawa memori kehancuran. Ia mampu menghasilkan listrik rendah karbon dalam skala besar, tetapi juga menuntut pengelolaan risiko jangka panjang. Ia dapat memperkuat ketahanan energi, tetapi juga membuka persoalan geopolitik, biaya, limbah, dan keamanan.

Makalah ini menyimpulkan bahwa energi nuklir bukan jawaban tunggal atas krisis energi, tetapi dapat menjadi bagian dari solusi apabila memenuhi prasyarat ketat. Dalam era krisis iklim dan kebutuhan listrik yang meningkat, menolak nuklir secara total dapat menutup salah satu opsi rendah karbon. Namun, menerima nuklir tanpa kesiapan dapat menciptakan risiko besar bagi masyarakat dan generasi mendatang.

Bagi Indonesia, nuklir perlu dibahas secara rasional, terbuka, dan berbasis bukti. Indonesia tidak boleh hanya terpesona oleh narasi teknologi, tetapi juga tidak boleh terjebak pada ketakutan yang menutup diskusi ilmiah. Yang diperlukan adalah jalan tengah strategis: memperkuat energi terbarukan, membangun jaringan listrik modern, meningkatkan efisiensi energi, mengurangi ketergantungan batu bara, dan pada saat yang sama mempersiapkan opsi nuklir secara hati-hati untuk jangka panjang.

Dengan demikian, jawaban akhir atas judul makalah ini adalah: energi nuklir dapat menjadi solusi krisis energi, tetapi hanya bila dunia dan setiap negara memperlakukannya dengan kerendahan hati teknologi, disiplin keselamatan, transparansi etis, dan tanggung jawab antar-generasi. Tanpa itu, nuklir bukan solusi, melainkan ancaman yang dibangun oleh kesombongan manusia sendiri.

Glosarium

Baseload

Beban listrik dasar yang dibutuhkan secara terus-menerus oleh sistem kelistrikan.

BAPETEN

Badan Pengawas Tenaga Nuklir Indonesia, lembaga yang bertugas mengawasi pemanfaatan tenaga nuklir agar aman dan sesuai regulasi.

Bahan bakar bekas

Bahan bakar nuklir yang telah digunakan di reaktor dan masih mengandung radioaktivitas tinggi.

Chernobyl

Kecelakaan nuklir besar di Ukraina pada 1986, saat masih bagian dari Uni Soviet.

Dekarbonisasi

Proses pengurangan emisi karbon dalam sistem ekonomi dan energi.

Defence in depth

Prinsip keselamatan nuklir berupa perlindungan berlapis untuk mencegah dan mengendalikan kecelakaan.

Fisi nuklir

Proses pembelahan inti atom berat yang menghasilkan energi panas besar.

Fukushima Daiichi

PLTN di Jepang yang mengalami kecelakaan besar akibat gempa dan tsunami pada 2011.

IAEA

International Atomic Energy Agency, badan internasional di bawah PBB yang berperan dalam kerja sama nuklir damai, keselamatan, keamanan, dan safeguards.

Limbah radioaktif

Material sisa yang memancarkan radiasi dan membutuhkan pengelolaan khusus.

Net-zero emissions

Kondisi ketika emisi gas rumah kaca yang dilepaskan seimbang dengan emisi yang diserap atau dikompensasi.

PLTN

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir.

Proliferasi nuklir

Penyebaran teknologi, bahan, atau kemampuan nuklir yang dapat digunakan untuk senjata nuklir.

Reaktor nuklir

Fasilitas tempat berlangsungnya reaksi fisi terkendali untuk menghasilkan panas.

Safeguards

Sistem pengawasan internasional untuk memastikan bahan nuklir tidak dialihkan ke tujuan militer.

Small Modular Reactor atau SMR

Reaktor nuklir berukuran lebih kecil dan modular yang dirancang untuk fleksibilitas pembangunan dan operasi.

Transisi energi

Perubahan sistem energi dari dominasi bahan bakar fosil menuju energi rendah karbon dan berkelanjutan.

Zaporizhzhia

PLTN terbesar di Eropa yang berada di Ukraina dan menjadi perhatian internasional karena berada dalam konteks konflik bersenjata.

Daftar Pustaka (APA 7)

Badan Pengawas Tenaga Nuklir. (2026). *BAPETEN hadir rapat DEN bahas Kebijakan Energi Nasional dan peran PLTN dalam bauran energi*. BAPETEN. ([Bapeten](#))

Badan Pengawas Tenaga Nuklir. (2026). *Guidance on Government Regulation No. 45 of 2023*. BAPETEN. ([Bapeten](#))

Badan Pengawas Tenaga Nuklir. (2026). *BAPETEN's role in creating a nuclear energy ecosystem at the hearing*. BAPETEN. ([Bapeten](#))

International Atomic Energy Agency. (2026). *Power Reactor Information System: Current status*. IAEA PRIS. ([PRIS](#))

International Atomic Energy Agency. (2025). *Nuclear Power Reactors in the World*. IAEA. ([IAEA](#))

International Energy Agency. (2025). *Electricity 2025: Supply*. IEA. ([IEA](#))

International Energy Agency. (2025). *Global Energy Review 2025: Electricity*. IEA. ([IEA](#))

International Energy Agency. (2025). *Nuclear power*. IEA. ([IEA](#))

International Energy Agency. (2025). *The path to a new era for nuclear energy*. IEA. ([IEA](#))

International Energy Agency. (2025). *A new era for nuclear energy beckons as projects, policies and investments increase*. IEA. ([IEA](#))

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change, Chapter 6: Energy systems*. IPCC. ([IPCC](#))

Reuters. (2025). *Indonesia plans new nuclear power plants with 4.3 GW capacity in bid for cleaner energy*. Reuters. ([Reuters](#))

Reuters. (2026). *IAEA: Ukraine's Zaporizhzhia nuclear power plant operating on sole remaining main power line*. Reuters. ([Reuters](#))

Reuters. (2026). *IAEA says drone damaged equipment at Zaporizhzhia nuclear plant in Ukraine*. Reuters. ([Reuters](#))

Reuters. (2025). *France's EDF raises cost estimate for six reactors to 72.8 billion euros*. Reuters. ([Reuters](#))

Ritchie, H. (2020). *Nuclear energy*. Our World in Data. ([Our World in Data](#))

Ritchie, H. (2020). *What are the safest and cleanest sources of energy?* Our World in Data. ([Our World in Data](#))

World Nuclear Association. (2026). *Nuclear power in the world today*. World Nuclear Association. ([World Nuclear Association](#))

World Nuclear Association. (2026). *Nuclear power in Indonesia*. World Nuclear Association. ([World Nuclear Association](#))

Copilot for this article: ChatGPT, Access date: 11 Mei 2026. Author's account ([Rudy C Tarumingkeng](#)). <https://chatgpt.com/c/6a01b106-7ac8-83ec-b1ae-beacaa883475>