

# Analisis Kesiapan Regulasi dan Kelembagaan Pembangunan PLTN di Indonesia dalam Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional 2025–2045

Hanan Nugroho<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kementerian Perencana Pembangunan Nasional/Bappenas

Korespondensi: \* [nugrohohn@bappenas.go.id](mailto:nugrohohn@bappenas.go.id)

---

 <https://doi.org/10.47266/bwp.v8i3.398> | halaman: 111 - 137

---

Dikirim: 27-03-2025 | Diterima: 27-03-2025 | Dipublikasikan: 31-03-2025

---

## Abstrak

Visi Indonesia Emas 2045 menargetkan Indonesia menjadi negara maju dengan fokus transisi energi, termasuk melalui pengembangan PLTN. Namun, Indonesia memiliki kendala pembangunan PLTN, termasuk dalam aspek regulasi dan kelembagaan. Pembangunan PLTN membutuhkan teknologi canggih, regulasi ketat, dan infrastruktur kompleks. Tantangan meliputi pengelolaan keselamatan dan keamanan, kesiapan sumber daya manusia (SDM), serta kemampuan jaringan listrik untuk menampung daya dari PLTN secara stabil. Dibandingkan negara maju seperti Prancis, Jepang, Korea Selatan, dan Amerika Serikat, Indonesia tertinggal jauh dalam aspek regulasi, kelembagaan, *operatorship*, penelitian dan manufaktur reaktor, UU No. 10 Tahun 1997 tentang ketenaganukliran sudah usang dan tidak sesuai dengan kebutuhan industri nuklir modern. Beberapa aspek penting yang perlu diperbarui meliputi standar keselamatan, pengelolaan limbah radioaktif, serta transparansi publik. Sebagai contoh, negara maju memiliki regulasi fleksibel dan lembaga pengawas independen seperti ASN (Prancis), NRA (Jepang), dan NRC (AS). Di sisi kelembagaan, Indonesia menghadapi kendala tidak adanya Badan Pelaksana khusus setelah BATAN dilebur ke BRIN, ketidakjelasan operator PLTN, dan peran Kementerian ESDM yang belum terdefinisi. Negara maju berhasil membangun industri PLTN yang kokoh berkat regulasi dan kelembagaan yang kuat. Untuk mempercepat kesiapan pembangunan PLTN, Indonesia perlu mengambil langkah strategis: (1) Membentuk Badan Pelaksana Tenaga Nuklir, sementara dapat melibatkan eks-BATAN di bawah BRIN, (2) Mempercepat revisi UU Ketenaganukliran sesuai standar IAEA, (3) Memperkuat peran BAPETEN sebagai regulator independen, (4) Membentuk Satgas Persiapan PLTN, (5) Menetapkan PLN sebagai operator utama PLTN, serta (6) mengikuti model negara maju. Meningkatkan kapasitas industri nasional melalui riset, pelatihan SDM, dan pengembangan manufaktur.

**Kata kunci:** RPJPN 2025-2045; PLTN; analisis kesiapan; regulasi; kelembagaan.

---

## I. Pendahuluan

Dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 59 Tahun 2024 tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) Tahun 2025-2045, Visi Indonesia Emas 2045 digambarkan sebagai sebuah cita-cita besar untuk menjadikan Indonesia sebagai negara maju dalam berbagai aspek. Salah satu sasaran utama visi ini adalah menurunkan intensitas emisi gas rumah kaca (GRK) menuju *net zero emissions*.<sup>1</sup>

Untuk mencapai sasaran tersebut, peran Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) sangat strategis. PLTN diharapkan menjadi tulang punggung transisi energi bersih di Indonesia, menurunkan peran pembangkit listrik berbasis fosil yang selama ini menjadi penyumbang utama emisi karbon.

Namun, jalan menuju pengoperasian PLTN komersial pertama di Indonesia masih panjang. Saat ini, meskipun Indonesia telah memiliki sejumlah reaktor nuklir untuk kebutuhan penelitian, belum ada PLTN yang beroperasi secara komersial. Masih ada sejumlah kendala yang harus diatasi.

Pembangunan PLTN bukan hal yang mudah. PLTN memiliki kompleksitas jauh lebih tinggi dibandingkan pembangkit listrik lainnya. Prosesnya melibatkan pengaturan yang sangat ketat untuk memastikan keselamatan dan keamanan, mulai dari penyiapan bahan bakar hingga penanganan limbah radioaktif sampai lama setelah operasi PLTN berakhir. Selain itu, diperlukan kesiapan sumber daya manusia yang mumpuni, dengan penguasaan teknologi tinggi serta terpatrynya kesadaran akan pentingnya keselamatan nuklir.

RPJPN 2025-2045 merinci tahapan transisi energi yang harus dilalui untuk membangun PLTN. Pada periode 2025-2029, fokus utama adalah menyiapkan regulasi dan kelembagaan pendukung pengembangan PLTN. Setelah itu, pada tahapan berikutnya (2030-2034), Indonesia diharapkan mampu melakukan *commissioning* dan mengoperasikan PLTN komersial pertamanya. Ekspansi PLTN komersial kemudian akan dilanjutkan hingga akhirnya, sebelum 2045, Indonesia mencapai kemandirian teknologi PLTN.<sup>2</sup>

Makalah ini mengkaji kesiapan Indonesia dalam membangun industri PLTN, dengan fokus pada aspek regulasi dan kelembagaan.<sup>3</sup> Tanpa fondasi regulasi dan kelembagaan yang kokoh, industri ketenaganukliran dan PLTN suatu negara tak akan dapat dibangun.

Analisis dimulai dengan meninjau praktik terbaik di beberapa negara yang telah memiliki PLTN maju, yaitu Prancis, Jepang, Korea Selatan, dan Amerika Serikat. Negara-negara ini tidak hanya unggul dalam pengoperasian PLTN, tetapi juga memiliki sistem regulasi dan kelembagaan yang kuat untuk mendukung keselamatan dan keberlanjutan industri nuklir mereka.

Setelah mempelajari praktik global, analisis dilanjutkan dengan memetakan kondisi regulasi dan kelembagaan tenaga nuklir di Indonesia sekarang. Meskipun Indonesia telah memiliki kerangka dasar untuk pengembangan teknologi nuklir, masih banyak tantangan yang harus dihadapi, baik dari segi kebijakan, regulasi maupun infrastruktur kelembagaan. Berdasarkan temuan pada bagian ini, makalah kemudian melakukan analisis kesenjangan antara kondisi ideal seperti yang ada dalam praktik oleh negara-negara maju dengan realitas di Indonesia.

---

<sup>1</sup> Undang-undang Republik Indonesia Nomor 59 Tahun 2024 Tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional Tahun 2025-2045, Lampiran, h. 66.

<sup>2</sup> *Ibid*, h. 102.

<sup>3</sup> Aspek lain yang lazim digunakan untuk menilai kesiapan adalah pembiayaan (*financing*) dan sumberdaya manusia, namun keduanya tidak dibahas dalam makalah ini.

Bagian akhir makalah ini menyampaikan rekomendasi untuk memperbaiki kesiapan Indonesia untuk membangun PLTN-nya yang pertama. Rekomendasi difokuskan pada aspek regulasi dan kelembagaan.

## II. Energi Nuklir: Solusi Strategis Untuk Masa Depan Berkelanjutan

Energi nuklir telah menjadi alternatif menonjol dalam pemenuhan kebutuhan listrik global. Dengan kemampuan menghasilkan energi dalam jumlah besar tanpa emisi karbon langsung, teknologi nuklir dipandang sebagai solusi strategis dalam menghadapi krisis energi dan perubahan iklim.

Penggunaan energi nuklir tidak terbatas pada pembangkitan listrik. Teknologi ini memiliki aplikasi luas di berbagai sektor. Dalam bidang kesehatan, energi nuklir dimanfaatkan untuk radioterapi dan pencitraan medis. Di sektor pertanian, digunakan untuk pemuliaan tanaman dan sterilisasi hama. Dalam industri, energi nuklir membantu dalam pengujian material serta manajemen sumber daya air melalui isotop radioaktif. Potensi multifungsi ini menjadikan energi nuklir sebagai salah satu teknologi penting pembangunan berkelanjutan.

Bagaimanapun, penggunaan energi nuklir secara global didominasi oleh sektor kelistrikan. Sekitar 90-95 persen dari total tenaga nuklir di dunia digunakan untuk memproduksi listrik melalui Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN).<sup>4</sup> Saat ini, sekitar 9 persen dari total produksi listrik dunia berasal dari PLTN.<sup>5</sup> Hal ini menunjukkan bahwa fokus utama pengembangan industri nuklir adalah pada PLTN. Oleh karena itu, perhatian besar terhadap pengembangan PLTN menjadi sangat penting dalam rangka memenuhi kebutuhan energi masa depan.

Namun, pembangunan industri nuklir tidak mudah. Industri ini memiliki kompleksitas tinggi dan memerlukan pengaturan sangat ketat untuk memastikan keselamatan, keamanan, serta keberlanjutan operasinya. Industri nuklir merupakan rantai nilai yang kompleks dengan berbagai tahapan, mulai dari eksplorasi uranium hingga pengelolaan limbah radioaktif.

Secara garis besar, komponen atau tahapan utama dalam industri nuklir, khususnya PLTN, meliputi:<sup>6</sup>

- **Eksplorasi dan Penambangan Uranium.** Proses ini mencakup eksplorasi sumber daya uranium, penambangan, hingga penggilingan untuk menghasilkan uranium berkualitas tinggi (*yellow cake*) yang siap untuk diproses lanjut.
- **Konversi dan Pengayaan Uranium.** Uranium hasil tambang dikonversi menjadi bentuk yang sesuai dan diperkaya agar dapat digunakan sebagai bahan bakar reaktor nuklir.
- **Fabrikasi Bahan Bakar.** Uranium yang telah diperkaya kemudian difabrikasi menjadi bahan bakar nuklir dalam bentuk batang-batang bahan bakar yang siap digunakan di reaktor.
- **Operasi Reaktor Nuklir.** Pada tahap ini, reaktor nuklir digunakan untuk menghasilkan listrik. Ada berbagai jenis reaktor yang digunakan, seperti PWR (*Pressurized Water Reactor*), BWR (*Boiling Water Reactor*), FBR (*Fast Breeder Reactor*), dan SMR (*Small Modular Reactor*).
- **Pengelolaan Bahan Bakar Bekas dan Limbah Radioaktif.** Setelah digunakan, bahan bakar nuklir harus disimpan sementara sebelum diproses lebih lanjut. Proses ini mencakup penyimpanan jangka pendek, penyimpanan jangka panjang, daur ulang (*reprocessing*), hingga pembuangan akhir.

<sup>4</sup> International Atomic Energy Agency (IAEA). (2023). Energy, Electricity, and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050. Dikutip dari <https://www.iaea.org>.

<sup>5</sup> World Nuclear Association (WNA). 2025. Dikutip dari <https://world-nuclear.org/nuclear-reactor-database/summary>

<sup>6</sup> Dikutip dan disederhanakan dari berbagai sumber, seperti IAEA, International Energy Agency (IEA), dan WNA.

- **Penghentian Operasi (*Decommissioning*)**. Ketika reaktor nuklir telah mencapai akhir masa pakainya, proses dekontaminasi, pembongkaran, dan pemulihan lokasi harus dilakukan dengan hati-hati untuk memastikan keamanan lingkungan.
- **Perlindungan Radiasi dan Keselamatan**. Keselamatan manusia dan lingkungan adalah prioritas utama dalam industri nuklir. Protokol perlindungan radiasi dan sistem keselamatan yang ketat harus diterapkan di setiap tahap operasi.
- **Non-Proliferasi dan Regulasi**. Untuk mencegah penyebaran senjata nuklir, industri nuklir diatur secara ketat oleh lembaga internasional *International Atomic Energy Agency* (IAEA). Regulasi ini memastikan bahwa teknologi nuklir hanya digunakan untuk tujuan damai.

Dengan kompleksitas yang tinggi dan dampak yang signifikan terhadap lingkungan serta masyarakat, pengembangan industri nuklir memerlukan pendekatan yang holistik dan berkelanjutan. Meskipun tantangan dalam pengelolaan keselamatan dan limbah radioaktif masih menjadi isu utama, potensi energi nuklir sebagai sumber energi bersih dan andal tidak dapat diabaikan. Dalam era transisi energi menuju masa depan yang lebih hijau, energi nuklir akan terus memainkan peran penting dalam mendukung pembangunan berkelanjutan dan ketahanan energi global.

Industri nuklir adalah salah satu sektor yang paling kompleks dan multidimensi dalam dunia teknologi modern. Untuk memastikan keselamatan, keamanan, dan keberlanjutan operasinya, industri ini tidak hanya melibatkan aspek teknis seperti pembangunan reaktor atau produksi listrik, tetapi juga mencakup berbagai fungsi kritis lainnya. Semua elemen ini harus bekerja secara sinergis agar pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) dapat berhasil dan beroperasi dengan aman.

**Badan Pengatur dan Regulasi** memainkan peran sentral dalam industri nuklir. Institusi Badan Pengatur bertugas merumuskan kebijakan, standar, dan aturan yang mengatur seluruh siklus nuklir, mulai dari eksplorasi uranium hingga pengelolaan limbah radioaktif. Badan ini juga bertanggung jawab memastikan bahwa setiap tahap operasi, termasuk konstruksi dan pengoperasian PLTN, mematuhi standar internasional yang ditetapkan IAEA. Tanpa adanya Badan Pengatur yang kuat dan independen, risiko pelanggaran keselamatan dan keamanan akan tinggi.

Elemen vital lainnya adalah **Pengawasan Keamanan**. Pengawasan ini mencakup pemantauan terhadap operasi reaktor nuklir, manajemen bahan bakar bekas, serta penanganan limbah radioaktif. Pengawasan keamanan juga melibatkan mitigasi risiko terhadap potensi ancaman eksternal, seperti bencana alam atau serangan siber. Dalam hal ini, lembaga-lembaga keamanan nuklir nasional harus bekerja sama dengan instansi terkait untuk memastikan bahwa semua aspek keamanan terpenuhi dengan baik.

Tak kalah pentingnya adalah fungsi **Penelitian dan Pengembangan (R&D)**. Riset/penelitian merupakan tulang punggung inovasi dalam industri nuklir. Melalui riset, teknologi nuklir terus diperbaiki untuk menjadi lebih efisien, aman, dan ramah lingkungan. Misalnya, pengembangan reaktor generasi baru seperti *Small Modular Reactors* (SMR) atau *Fast Breeder Reactors* (FBR) memerlukan investasi besar dalam penelitian ilmiah dan uji coba teknis. Selain itu, riset juga membantu dalam menemukan solusi baru untuk pengelolaan limbah nuklir dan optimalisasi penggunaan energi nuklir di berbagai sektor.

Fungsi lain yang tidak boleh diabaikan adalah **Informasi Publik dan Komunikasi**. Karena energi nuklir sering kali menimbulkan kekhawatiran di masyarakat terkait risiko radiasi dan limbah radioaktif, transparansi informasi menjadi kunci untuk membangun kepercayaan publik. Lembaga-lembaga yang bertanggung jawab atas komunikasi publik harus aktif memberikan

edukasi tentang manfaat dan risiko energi nuklir, serta menjelaskan langkah-langkah yang diambil untuk memastikan keselamatan dan keamanan. Dengan demikian, dukungan masyarakat terhadap pembangunan PLTN dapat diperoleh.

Di sisi teknis, **manufaktur reaktor dan konstruksi** PLTN adalah dua elemen utama yang membutuhkan kapasitas industri yang kuat. Manufaktur reaktor melibatkan produksi komponen-komponen teknis yang sangat presisi, sementara konstruksi PLTN memerlukan koordinasi antara berbagai pihak dan berbagai keahlian. Negara yang ingin membangun PLTN harus memiliki infrastruktur industri yang mampu mendukung proses ini, baik melalui kemampuan lokal maupun kerja sama internasional.

Setelah PLTN beroperasi, fungsi **penyaluran listrik** menjadi bagian penting dari rantai nilai industri nuklir. Energi listrik yang dihasilkan oleh PLTN harus didistribusikan secara efisien kepada konsumen melalui jaringan transmisi dan distribusi yang handal. Hal ini memerlukan integrasi yang baik antara operator PLTN dan perusahaan listrik nasional.

Semua fungsi —mulai dari regulasi, pengawasan keamanan, riset, informasi publik, manufaktur, konstruksi, hingga penyaluran listrik—harus bekerja secara harmonis dalam suatu sistem yang terorganisasi dengan baik. Oleh karena itu, **kelembagaan** industri nuklir yang kuat adalah prasyarat mutlak sebelum pembangunan fisik PLTN dimulai. Tanpa fondasi kelembagaan yang kokoh, risiko kegagalan proyek, pelanggaran keselamatan, atau bahkan dampak negatif terhadap lingkungan dan masyarakat akan semakin besar.

Dalam konteks ini, persiapan kelembagaan melibatkan pembentukan **Badan Pengatur** yang independen, pengembangan kapasitas riset dan teknologi, pelatihan tenaga ahli, serta penyusunan **regulasi** yang komprehensif. Proses ini lazimnya memerlukan waktu bertahun-tahun dan investasi besar, tetapi hasilnya akan memastikan bahwa pembangunan PLTN berjalan sesuai rencana dan memberikan manfaat maksimal bagi negara.

Pembangunan PLTN bukan hanya soal mendirikan fasilitas fisik, tetapi juga membangun **ekosistem industri nuklir** yang lengkap dan terintegrasi. Kelembagaan dan regulasi yang kuat adalah fondasi yang menopang keberhasilan proyek nuklir, sehingga negara dapat memanfaatkan energi nuklir secara aman, efisien, dan berkelanjutan.

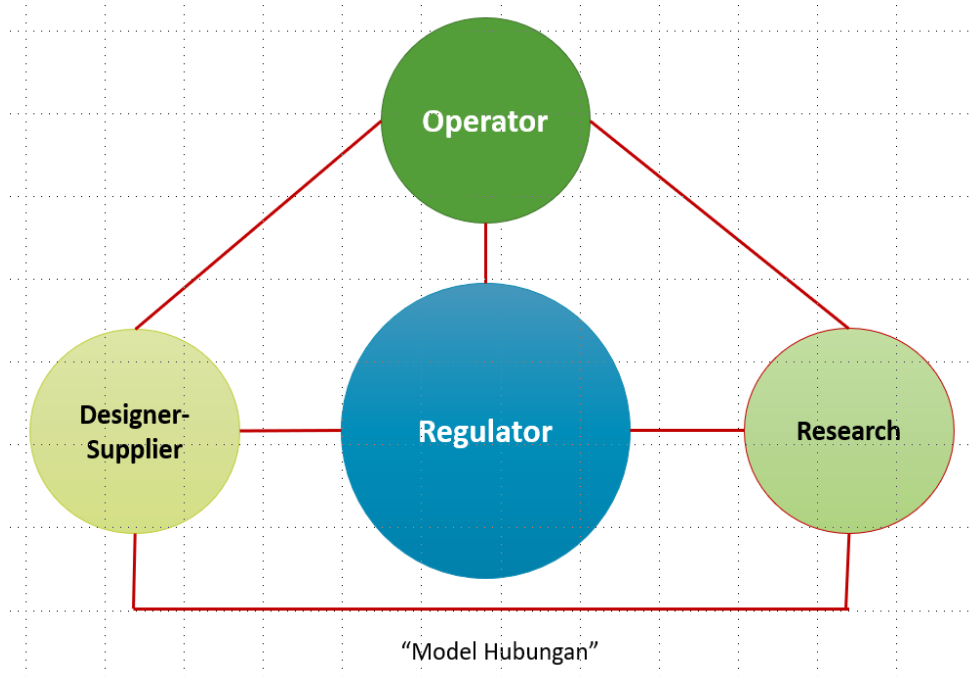
## 2.1. Pengelolaan dan Pemain Utama Industri Nuklir di Beberapa Negara

Untuk mendapatkan pelajaran, studi ini ini meninjau pengelolaan industri nuklir di beberapa negara terpilih, yaitu Prancis, Jepang, Korea Selatan dan Amerika Serikat.<sup>7</sup>

Sederhananya, hubungan antara antara aktor-aktor utama yang terlibat dalam pengelolaan industri nuklir (PLTN) di negara-negara tersebut kami gambarkan sebagai di bawah ini.

---

<sup>7</sup> Prancis dipilih karena memiliki pangsa nuklir dalam konsumsi listrik terbesar di dunia, yakni sekitar 70 persen, serta merupakan eksportir listrik terbesar secara global. Jepang, sebagai negara Asia, telah lama memiliki keunggulan dalam pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) dengan pengalaman yang cukup panjang. Korea Selatan juga dipilih berkat keberhasilannya mengembangkan industri nuklir dalam waktu relatif singkat. Mulai dari pembangunan PLTN pertamanya yang sangat bergantung pada teknologi dan sumber daya asing, hingga akhirnya mampu menjadi pengekspor teknologi nuklir dan memiliki pangsa tenaga nuklir yang signifikan dalam konsumsi listrik nasional negara itu. Sementara itu, Amerika Serikat dipilih karena sejarah panjangnya dalam pengembangan energi nuklir, posisinya sebagai pelopor dalam pembangunan PLTN, serta kapasitas PLTN-nya yang merupakan yang terbesar di dunia. Rujukan: <https://world-nuclear.org>.



**Gambar 1.** Model hubungan aktor industri nuklir suatu negara

Sumber: Analisis Penulis

Dengan mempelajari industri nuklir Prancis<sup>8</sup> sebagai kasus pertama, dapat diidentifikasi aktor-aktor utama dalam pengelolaan industri nuklir di negara tersebut serta hubungan antara mereka. Aktor-aktor ini mencakup pemerintah, badan regulator, perusahaan energi, serta lembaga penelitian yang bekerja sama dalam berbagai aspek, mulai dari kebijakan, regulasi, produksi energi, hingga riset dan pengembangan teknologi nuklir.

<sup>8</sup> Sumber rujukan, di antaranya: <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/france>, dan OECD. (2011). *Législation nucléaire des pays de l'OCDE et de l'AEN, Réglementation générale et cadre institutionnel des activités nucléaires*, France.

Tabel 1. Organisasi, peran, dan tanggungjawab utama dalam industri nuklir Prancis

| Organisasi  | Peranan                                | Tanggung Jawab Utama   |
|---|--|--|
| <b>Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN)</b>                                   | Otoritas pengawas independen           | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Mengatur keselamatan nuklir, keamanan, dan perlindungan radiasi.</li> <li>○ Memberikan lisensi untuk konstruksi, operasi, dan dekomisioning fasilitas nuklir.</li> <li>○ Melakukan inspeksi dan menegakkan standar keselamatan.</li> </ul>  |
| <b>Électricité de France (EDF)</b>  | Perusahaan listrik milik negara        | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Mengoperasikan pembangkit listrik tenaga nuklir di Prancis, yang menghasilkan sekitar <b>70%</b> listrik negara.</li> <li>○ Mengelola konstruksi reaktor baru, termasuk EPR (<i>European Pressurized Reactor</i>).</li> <li>○ Memimpin proyek nuklir internasional, seperti Pembangkit Listrik Hinkley Point C di Inggris.</li> </ul> |
| <b>Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN)</b>            | Organisasi dukungan teknis             | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Menyediakan keahlian teknis kepada ASN terkait keselamatan nuklir dan perlindungan radiasi.</li> <li>○ Melakukan penilaian keselamatan, penelitian, dan inspeksi.</li> <li>○ Memantau tingkat radiasi lingkungan dan memberikan saran tentang kesiapsiagaan darurat.</li> </ul>   |
| <b>Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA)</b> | Organisasi penelitian dan pengembangan | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Melakukan litbang di bidang energi nuklir, termasuk reaktor canggih dan energi fusi.</li> <li>○ Mengoperasikan reaktor penelitian seperti OSIRIS dan reaktor cepat Phénix.</li> <li>○ Mendukung pemerintah dalam perumusan kebijakan nuklir dan kerja sama internasional.</li> </ul>  |
| <b>FRAMATOME</b>  | Manufaktur reaktor nuklir              | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Desain dan konstruksi reaktor nuklir.</li> <li>○ Manufaktur dan pasokan bahan bakar.</li> <li>○ Pemeliharaan dan layanan teknis.</li> <li>○ Dekomisioning dan dukungan manajemen limbah. Proyek internasional.</li> </ul>   |
| <b>ORANO (dahulu AREVA)</b>   | Perusahaan siklus bahan bakar nuklir   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Menambang, memperkaya, dan memproses ulang uranium untuk bahan bakar nuklir.</li> <li>○ Mengelola limbah radioaktif dan aktivitas dekomisioning.</li> <li>○ Mengembangkan teknologi nuklir canggih, termasuk reaktor modular kecil (SMR).</li> </ul>  |

**Sumber:** Disarikan dari berbagai sumber seperti WNA, WNR, IAEA, IEA.

Dari hasil analisis, model pengelolaan industri nuklir di Prancis dapat digambarkan sebagai tampak pada bagian kiri atas Gambar 2. Model ini mencerminkan bagaimana kebijakan energi nasional, kepentingan ekonomi, serta faktor keamanan memainkan peran dalam membentuk lanskap industri nuklir di negara tersebut.

Dengan menerapkan pendekatan serupa, informasi mengenai pengelolaan industri nuklir di negara-negara lainnya tersebut dapat dikumpulkan dan diringkas. Hasil perbandingan disajikan dalam Tabel 2, yang memberikan gambaran menyeluruh mengenai variasi model pengelolaan industri nuklir di berbagai negara.

**Tabel 2.** Aktor industri nuklir dan hubungannya di beberapa negara nuklir

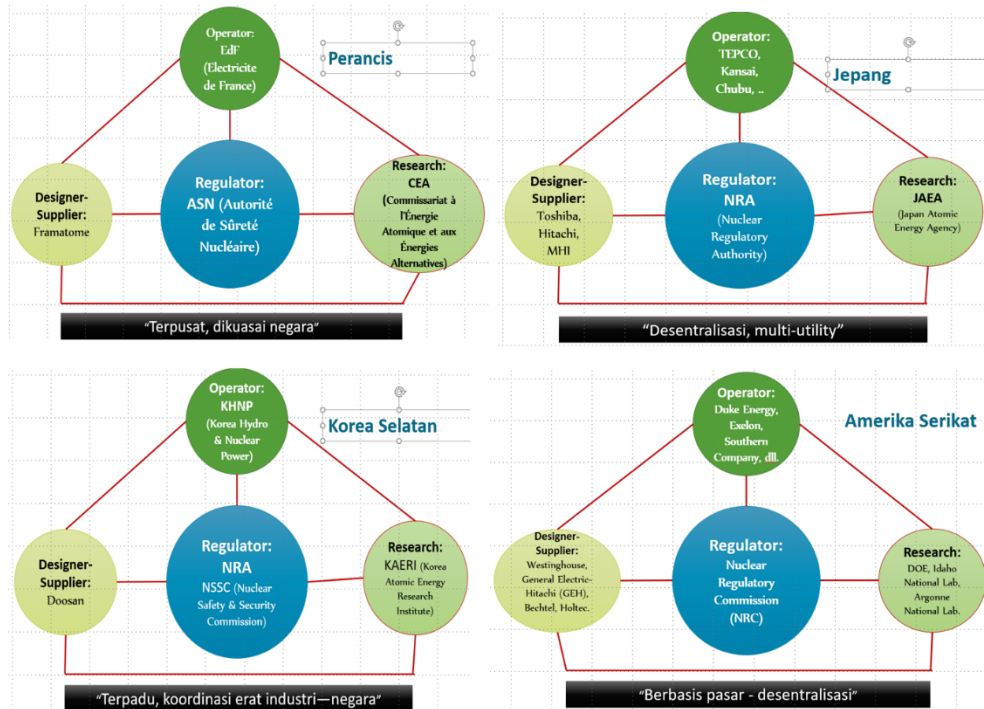
| Negara          | Operator Utama  | Regulator                                   | Desainer-Supplier  | Riset   | Model                                     |
|-----------------|---|---|--|---|---|
| Perancis        | EdF (Electricite de France- <b>BUMN</b> )                     | ASN (Autorité de Sûreté Nucléaire)          | Framatome  | CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives)                                | Terpusat, dikuasai negara                 |
| Jepang          | TEPCO, Kansai, Chubu ( <b>Swasta/Regional</b> )               | NRA (Nuclear Regulatory Authority)          | Toshiba, Hitachi, Mitsubishi Heavy Industry                                      | JAEA (Japan Atomic Energy Agency)   | Desentralisasi, multi-utility             |
| Korea Selatan   | Korea Hydro & Nuclear Power ( <b>BUMN</b> )                   | NSSC (Nuclear Safety & Security Commission) | KEPCO (Korea Electric Power Corporation), Doosan Heavy Industries & Construction | KAERI (Korea Atomic Energy Research Institute)  | Terpadu, koordinasi erat industri--negara |
| Amerika Serikat | Duke Energy, Exelon, Southern Company, dll. ( <b>Swasta</b> ) | Nuclear Regulatory Commission (NRC)         | Westinghouse, General Electric-Hitachi (GEH), Bechtel, Holtec, dll.              | U.S. Department of Energy (DOE), Idaho National Laboratory (INL), Argonne National Laboratory (ANL) | Berbasis pasar, desentralisasi            |

**Sumber:** Disarikan dari berbagai sumber seperti WNA, WNR, IAEA, IEA.

Sementara itu, model hubungan antara aktor dalam industri di masing-masing negara maju tersebut dapat disajikan dalam Gambar 2.

## 1.2. Badan Pengatur Industri Nuklir

Energi nuklir telah menjadi salah satu sumber energi yang sangat penting dalam era modern, memberikan kontribusi besar terhadap pembangkitan listrik dan berbagai aplikasi lainnya seperti kedokteran, industri, hingga penelitian ilmiah. Namun, penggunaan teknologi nuklir juga membawa risiko berkaitan dengan keselamatan manusia dan lingkungan, termasuk potensi kecelakaan radiasi, pencemaran lingkungan, serta penggunaan nuklir untuk tujuan non-damai. Oleh karena itu, diperlukan Badan Pengatur Nuklir yang bertugas mengawasi, mengatur, dan memastikan bahwa seluruh kegiatan yang melibatkan teknologi nuklir dilakukan secara aman, efisien, dan sesuai dengan standar internasional.



Gambar 2. Model hubungan antar aktor utama dalam industri nuklir dunia

Sumber: Analisis Penulis

Salah satu alasan utama mengapa Badan Pengatur diperlukan adalah untuk **menjaga keamanan industri nuklir**. Teknologi nuklir memiliki risiko tinggi yang dapat menimbulkan dampak serius jika tidak dikelola dengan baik. Kecelakaan nuklir, seperti yang pernah terjadi di Chernobyl (1986) dan Fukushima (2011) menjadi bukti nyata akan pentingnya regulasi yang ketat guna mencegah bencana serupa di masa depan. Selain itu, badan pengatur juga berperan dalam menjaga agar penggunaan teknologi nuklir tidak disalahgunakan untuk tujuan militer atau terorisme.

Tugas Badan Pengatur Nuklir mencakup beberapa aspek krusial, antara lain:<sup>9</sup>

- **Pengawasan Keselamatan:** Memastikan bahwa fasilitas nuklir, mulai dari reaktor hingga laboratorium penelitian, memenuhi standar keselamatan tertinggi.
- **Regulasi dan Perizinan:** Memberikan izin operasi kepada pihak-pihak yang ingin menggunakan teknologi nuklir setelah memverifikasi bahwa mereka mematuhi semua persyaratan keselamatan.
- **Inspeksi dan Audit Berkala:** Melakukan inspeksi rutin untuk memastikan bahwa fasilitas nuklir tetap mematuhi aturan yang berlaku.
- **Penanganan Limbah Radioaktif:** Mengatur cara pengelolaan limbah radioaktif agar tidak mencemari lingkungan.
- **Kesiapsiagaan Darurat:** Menyiapkan rencana tanggap darurat untuk mengantisipasi kemungkinan kecelakaan nuklir.

Makalah ini mempelajari Badan Pengatur Nuklir di empat negara yang memiliki peran penting dalam industri nuklir global, yaitu **Perancis, Korea Selatan, Jepang, dan Amerika Serikat**. Keempat negara tersebut dipilih karena mereka memiliki pengalaman panjang dalam pengembangan dan pengelolaan teknologi nuklir, serta memiliki sistem pengaturan nuklir yang

<sup>9</sup> Disarikan dari beberapa sumber, seperti publikasi dari IAEA, IEA, WNA, dan WNR.

diakui terdepan secara internasional. Dengan mempelajari model pengaturan di negara-negara tersebut, kita dapat memperoleh wawasan tentang praktik terbaik dalam menjaga keselamatan dan keamanan teknologi nuklir, serta tantangan yang dihadapi dalam implementasinya.

Ditemui, Badan Pengatur Tenaga Nuklir di beberapa negara terpilih tersebut memiliki tugas pokok dan fungsi yang hampir serupa, sebagaimana ditunjukkan pada tabel ringkasan di bawah ini.

**Tabel 3.** Badan Pengatur Nuklir dan fungsinya di beberapa negara

| Negara          | Badan Pengatur                                | Fungsi   |
|-----------------|---|--|
| Prancis         | Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN)            | <p><b>Perizinan dan Otorisasi:</b> Memberikan lisensi untuk pembangunan, pengoperasian, dan penonaktifan fasilitas nuklir.</p> <p><b>Pengawasan Keselamatan:</b> Menetapkan dan menegakkan peraturan keselamatan untuk pembangkit listrik tenaga nuklir, fasilitas siklus bahan bakar, dan instalasi lainnya.</p> <p><b>Inspeksi dan Penegakan Hukum:</b> Melakukan inspeksi untuk memastikan kepatuhan terhadap standar keselamatan dan mengambil tindakan penegakan hukum bila diperlukan.</p> <p><b>Kesiapsiagaan Darurat:</b> Mengoordinasikan rencana tanggap darurat jika terjadi kecelakaan nuklir.</p> <p><b>Informasi Publik:</b> Mempromosikan transparansi dengan menginformasikan kepada publik tentang masalah dan risiko keselamatan nuklir.</p> |
| Jepang          | Nuclear Regulation Authority (NRA)            | <p><b>Perizinan dan Otorisasi:</b> Memberikan lisensi untuk pembangunan, pengoperasian, dan penonaktifan fasilitas nuklir.</p> <p><b>Pengawasan Keselamatan:</b> Menegakkan standar keselamatan yang lebih ketat, terutama terkait kesiapsiagaan gempa bumi dan tsunami.</p> <p><b>Inspeksi dan Penegakan Hukum:</b> Melakukan inspeksi yang ketat dan mengambil tindakan penegakan hukum bila diperlukan.</p> <p><b>Kesiapsiagaan Darurat:</b> Mengoordinasikan rencana tanggap darurat, terutama sehubungan dengan bencana Fukushima.</p> <p><b>Informasi Publik:</b> Menempatkan penekanan kuat pada transparansi dan keterlibatan publik untuk membangun kembali kepercayaan setelah Fukushima.</p>  |
| Korea Selatan   | Nuclear Safety and Security Commission (NSSC) | <p><b>Perizinan dan Otorisasi:</b> Memberikan lisensi untuk pembangunan, pengoperasian, dan penonaktifan fasilitas nuklir.</p> <p><b>Pengawasan Keselamatan:</b> Menetapkan dan menegakkan peraturan keselamatan untuk pembangkit listrik tenaga nuklir, fasilitas siklus bahan bakar, dan instalasi lainnya.</p> <p><b>Inspeksi dan Penegakan Hukum:</b> Melakukan inspeksi rutin dan mengambil tindakan penegakan hukum bila diperlukan.</p> <p><b>Kesiapsiagaan Darurat:</b> Mengoordinasikan rencana tanggap darurat jika terjadi kecelakaan nuklir.</p> <p><b>Informasi Publik:</b> Mempromosikan transparansi dengan menginformasikan kepada publik tentang masalah dan risiko keselamatan nuklir.</p>   |
| Amerika Serikat | Nuclear Regulatory Commission (NRC)           | <p><b>Perizinan dan Otorisasi:</b> Memberikan lisensi untuk pembangunan, pengoperasian, dan penonaktifan fasilitas nuklir.</p> <p><b>Pengawasan Keselamatan:</b> Menetapkan dan menegakkan peraturan keselamatan untuk pembangkit listrik tenaga nuklir, fasilitas siklus bahan bakar, dan instalasi lainnya.</p>  |

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  | <p><b>Inspeksi dan Penegakan Hukum:</b> Melakukan inspeksi untuk memastikan kepatuhan terhadap standar keselamatan dan mengambil tindakan penegakan hukum bila diperlukan.</p> <p><b>Kesiapsiagaan Darurat:</b> Mengoordinasikan rencana tanggap darurat jika terjadi kecelakaan nuklir.</p> <p><b>Informasi Publik:</b> Mempromosikan transparansi dengan menginformasikan kepada publik tentang masalah dan risiko keselamatan nuklir.</p> |
|--|--|--|

**Sumber:** Disarikan dari berbagai sumber: WNA, WNR, IAEA, dan IEA

## 2.2 Undang-Undang Ketenaganukliran

Undang-undang ketenaganukliran memiliki peran sangat penting dalam mendukung pembangunan industri nuklir di suatu negara dengan menyediakan kerangka hukum yang jelas untuk keselamatan, keamanan, tanggung jawab, hingga pengelolaan limbah nuklir.

Energi nuklir telah menjadi salah satu pilar penting dalam memenuhi kebutuhan energi global, terutama sebagai sumber daya yang rendah emisi karbon. Namun, pengembangannya tidak terlepas dari risiko kompleks, mulai dari kecelakaan reaktor hingga pengelolaan limbah radioaktif. Untuk mengatasi tantangan ini, undang-undang ketenaganukliran memainkan peran krusial sebagai kerangka hukum yang mengatur keselamatan, keamanan, tanggung jawab, dan kerja sama internasional.

Peran Undang-Undang Ketenaganukliran dalam menjamin keamanan dan keberlanjutan energi nuklir dapat diringkaskan ke dalam empat fungsi utama berikut:

### 1. Regulasi Keselamatan dan Keamanan: Pencegahan Risiko dan Perlindungan Publik

Undang-undang ketenaganukliran menetapkan standar teknis dan prosedur operasional yang wajib diikuti oleh operator fasilitas nuklir. Regulasi ini mencakup desain reaktor, pelatihan staf, pemantauan radiasi, serta protokol darurat untuk mengurangi risiko kecelakaan. Misalnya, di Prancis, *Autorité de Sûreté Nucléaire* (ASN) bertindak sebagai Badan Pengatur/Pengawas independen yang memastikan kepatuhan terhadap standar keselamatan tinggi, seperti inspeksi rutin dan simulasi bencana. Standar ini tidak hanya di tingkat nasional, tetapi juga merujuk pada pedoman internasional seperti *IAEA Safety Standards*. Pasca-bencana Fukushima (2011), banyak negara memperbarui regulasi nuklir mereka dengan menambahkan persyaratan ketahanan terhadap gempa bumi, banjir, dan ancaman eksternal lainnya. Dengan demikian, regulasi keselamatan menjadi garis pertahanan pertama untuk melindungi masyarakat dan lingkungan.

### 2. Pengelolaan Limbah Radioaktif: Menyelesaikan Tantangan Jangka Panjang

Limbah nuklir, terutama limbah tingkat tinggi (*high-level waste*), tetap menjadi isu krusial karena sifat radioaktifnya yang bertahan ribuan tahun. Undang-undang ketenaganukliran mengatur siklus hidup limbah, mulai dari penyimpanan sementara di lokasi PLTN hingga disposisi akhir. Contohnya, Prancis melalui *Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs* (ANDRA) mengembangkan proyek Cigéo, fasilitas penyimpanan geologis dalam di lapisan batuan stabil. Sementara itu di Amerika Serikat, *Nuclear Waste Policy Act* (1982) mengamankan pembangunan repositori geologis di Yucca Mountain —meski menuai kontroversi politik dan penolakan lokal. Regulasi juga mengatur transportasi limbah secara aman, termasuk penggunaan kontainer khusus dan rute minim risiko.

### 3. Tanggung Jawab Hukum dan Asuransi: Kompensasi dan Batasan Risiko

Undang-undang ketenaganukliran menjamin bahwa operator PLTN bertanggung jawab penuh secara finansial atas kerusakan akibat kecelakaan. Mekanisme ini dirancang untuk

melindungi masyarakat sekaligus mendorong operator memprioritaskan keselamatan.

Di banyak negara, tanggung jawab ini diatur melalui konvensi internasional seperti **Konvensi Paris** (1960) dan **Konvensi Wina** (1963). Misalnya, **Price-Anderson Act** di AS (1957) mewajibkan operator PLTN memiliki asuransi kolektif senilai miliaran dolar, sementara pemerintah menanggung risiko di luar batas tersebut. Regulasi ini memastikan korban kecelakaan mendapat kompensasi tanpa membebani negara secara berlebihan.

#### 4. Kerja Sama Internasional: Memperkuat Keamanan Global dan Transfer Teknologi

Energi nuklir tidak bisa dipisahkan dari konteks global, baik dalam hal keamanan, non-proliferasi, maupun pengembangan teknologi. Undang-undang ketenaganukliran di banyak negara mencerminkan komitmen terhadap kerja sama internasional. Contohnya, keanggotaan dalam IAEA memungkinkan transfer teknologi dan pelatihan tenaga ahli. Regulasi juga mendukung partisipasi dalam program non-proliferasi, seperti **Perjanjian Non-Proliferasi Nuklir** (NPT), yang membatasi penggunaan teknologi nuklir untuk tujuan damai. Selain itu, proyek kolaboratif seperti ITER (reaktor fusi eksperimental) di Prancis menunjukkan bagaimana kerja sama multinasional diperkuat melalui harmonisasi regulasi. Undang-undang ketenaganukliran bukan sekadar aturan teknis, melainkan fondasi yang menjamin keseimbangan antara manfaat energi nuklir dan mitigasi risikonya. Regulasi keselamatan mencegah bencana, pengelolaan limbah menyelesaikan tantangan jangka panjang, tanggung jawab hukum melindungi masyarakat, dan kerja sama internasional memperkuat tata kelola global. Tanpa kerangka hukum yang komprehensif, pengembangan energi nuklir berpotensi menimbulkan konsekuensi sosial, ekonomi, dan lingkungan yang tidak terkendali.

Undang-undang ketenaganukliran tidak hanya mengurangi risiko tetapi juga membangun kepercayaan publik dan menarik investasi. Oleh karena itu, regulasi yang adaptif dan berbasis sains tetap menjadi kunci keberhasilan industri nuklir di abad ke-21.

Di bawah ini diberikan contoh mengenai peran serta perkembangan Undang-undang Ketenaganukliran dari dua negara, yaitu Prancis dan Amerika Serikat.<sup>10</sup>

Pasca-kontroversi seputar rahasia informasi nuklir di era 1990-an, Prancis mengeluarkan **Undang-Undang Transparansi dan Keamanan Nuklir tahun 2006** sebagai respons terhadap tuntutan publik akan keterbukaan. Regulasi ini memiliki tiga fokus utama:

- **Pembentukan ASN (*Autorité de Sûreté Nucléaire*)**. ASN didirikan sebagai badan pengawas independen yang bertanggung jawab langsung kepada parlemen, bukan pemerintah. Kemandirian ini memastikan pengawasan teknis dan keputusan keselamatan tidak dipengaruhi kepentingan politik.
- **Transparansi Informasi**. Undang-undang mewajibkan operator PLTN (seperti *Électricité de France/EDF*) untuk mempublikasikan data terkait risiko operasional, tingkat radiasi, dan rencana darurat. Portal seperti "GSIEN" (Sistem Informasi Nuklir) menjadi sumber informasi *real-time* bagi masyarakat.
- **Intensifikasi Inspeksi**. ASN melakukan audit berkala dan simulasi kecelakaan (*stress test*) untuk memastikan fasilitas nuklir memenuhi standar IAEA. Pasca-Fukushima (2011), inspeksi diperketat dengan menambahkan kriteria ketahanan terhadap bencana alam ekstrem.

Prancis menangani limbah radioaktif melalui pendekatan berlapis yang diatur oleh Undang-Undang Pengelolaan Limbah Nuklir. Badan ANDRA (*Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs*) bertugas mengembangkan solusi penyimpanan geologis dalam proyek

<sup>10</sup> Sumber rujukan, antara lain: <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles> dan OECD. (2011). *Législation nucléaire des pays de l'OCDE et de l'AEN, Réglementation générale et cadre institutionnel des activités nucléaires*, France.

Cigéo di wilayah Bure, Prancis timur. Proyek ini dirancang untuk menyimpan limbah tingkat tinggi hingga 1 juta tahun melalui isolasi dalam lapisan tanah liat kedap air.

Meski teknisnya inovatif, proyek Cigéo menuai protes dari aktivis lingkungan yang khawatir tentang risiko kebocoran jangka panjang. Regulasi Prancis tetap konsisten dengan prinsip "polluter pays", di mana biaya pengelolaan limbah ditanggung sepenuhnya oleh operator PLTN.

Undang-undang Prancis menetapkan bahwa EDF sebagai operator PLTN bertanggung jawab penuh atas risiko kecelakaan, termasuk kompensasi korban. Untuk memitigasi risiko finansial, pemerintah mengatur asuransi kolektif melalui *Fonds d'Indemnisation des Victimes de l'Énergie Nucléaire* (FIVEN). Selain itu, Prancis meratifikasi Konvensi Paris (1960), yang membatasi tanggung jawab operator hingga €1,2 miliar. Jika kerugian melebihi batas ini, negara akan mengambil alih tanggung jawab.

Meski berkomitmen pada target iklim Uni Eropa (netral karbon 2050), Prancis tetap mempertahankan peran nuklir melalui *Programme Pluriannuel de l'Énergie* (PPE). Kebijakan ini menargetkan: (1) Perpanjangan masa operasi PLTN eksisting hingga 50–60 tahun, (2) Pengurangan bertahap kapasitas nuklir dari 70% ke 50% pada 2035, seiring dengan ekspansi energi terbarukan. Kebijakan ini mencerminkan strategi "nuklir-terbarukan hibrida", di mana nuklir tetap menjadi penyangga stabilitas pasokan listrik saat angin dan matahari belum sepenuhnya andal.

Regulasi ketenaganukliran Prancis tidak luput dari berbagai kritik. Isu utamanya adalah:

- **Kontroversi Fase-Out Nuklir.** Partai hijau dan aktivis menuntut percepatan penghapusan nuklir, menyoroti risiko kecelakaan dan biaya dekomisioning reaktor tua.
- **Ketergantungan pada EDF.** Monopoli EDF dalam operasi PLTN dinilai mengurangi inovasi dan kompetisi pasar.
- **Protes Proyek Cigéo.** Komunitas lokal menolak lokasi penyimpanan limbah karena khawatir dampak lingkungan.

Prancis membuktikan bahwa regulasi ketenaganukliran yang ketat dan transparan dapat mendukung industri nuklir sekaligus menjaga kepercayaan publik. Melalui ASN, ANDRA, dan kebijakan transisi energi yang jelas, negara ini menjadi rujukan global dalam tata kelola nuklir. Namun, tantangan ke depan—mulai dari dekomisioning reaktor hingga resistensi sosial—memaksa Prancis terus memperbarui regulasinya agar tetap relevan dengan dinamika teknologi, lingkungan, dan politik.

Contoh lainnya, **Amerika Serikat**, merupakan negara industri nuklir tertua, demikian pula Undang-undang mengenai Ketenaganukliran Amerika Serikat merupakan yang tertua dengan perkembangan dinamis, dari yang semua dimonopoli Pemerintah hingga kini dimana peran swasta cukup besar.

Sejak ledakan bom atom di Hiroshima dan Nagasaki pada 1945, Amerika Serikat berada di garis depan pengembangan teknologi nuklir. Namun, kekuatan ini tidak datang tanpa dilema. Pengaturan hukum yang mengelola energi nuklir di AS lahir dari tarik ulur antara ambisi teknologi, keamanan nasional, kekhawatiran lingkungan, dan dinamika politik. Perjalanan panjang ini mencerminkan upaya menyeimbangkan kepentingan yang seringkali bertolak belakang.

- **Awal Mula: Kontrol Penuh Pemerintah dan Bayang-Bayang Perang Dingin**

Pasca-Proyek Manhattan, AS memegang kendali ketat atas teknologi nuklir melalui *Atomic Energy Act of 1946* (McMahon Act). Undang-undang ini menciptakan Komisi Energi

Atom (AEC) yang memonopoli seluruh aspek nuklir, mulai dari penelitian hingga produksi senjata. Swasta dilarang memiliki bahan nuklir, dan teknologi dijaga sebagai rahasia negara.

Latar belakang Perang Dingin memperkuat pendekatan ini. AS khawatir Uni Soviet akan mengejar dominasi nuklir, sehingga memisahkan program militer dan sipil menjadi prioritas. Namun, ketegangan muncul di Kongres: sementara kubu konservatif ingin fokus pada senjata, kelompok lain mendesak pemanfaatan nuklir untuk energi sipil. Perdebatan ini menjadi bibit bagi perubahan besar di tahun 1950-an.

- **Membuka Pintu untuk Industri Swasta: "Atoms for Peace" dan Era Komersialisasi**

Pada 1953, Presiden **Dwight D. Eisenhower** meluncurkan program "Atoms for Peace", mengajak dunia menggunakan nuklir untuk tujuan damai. Respons domestiknya adalah *Atomic Energy Act of 1954*, yang mengizinkan partisipasi swasta dalam membangun pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN).

Undang-undang ini menciptakan sistem lisensi untuk reaktor komersial dan melahirkan *Price-Anderson Act (1957)*, yang mengatur tanggung jawab finansial operator jika terjadi kecelakaan. Meski demikian, kontroversi meletup. Partai Demokrat memperingatkan risiko kecelakaan dan limbah, sementara Republikan menekankan perlunya deregulasi untuk memacu pertumbuhan industri. Aktivis seperti *Federation of American Scientists* juga mengkritik pelibatan swasta, khawatir teknologi sipil bisa disalahgunakan untuk senjata.

- **Era Ketatnya Regulasi: Three Mile Island dan Bayang-Bayang Krisis**

Kecelakaan *Three Mile Island (1979)* menjadi titik balik. Meski tidak menelan korban jiwa, insiden ini memicu kepanikan publik dan tuntutan untuk memperketat regulasi. Pemerintah membubarkan AEC dan membentuk *Nuclear Regulatory Commission (NRC)* pada 1974, badan independen yang fokus pada keselamatan publik.

Di era 1980-an, *Nuclear Waste Policy Act (1982)* mengamanatkan pembangunan repositori limbah geologis, dengan Yucca Mountain di Nevada sebagai lokasi utama. Namun, penolakan dari warga Nevada dan ketidakpastian teknis membuat proyek ini terkatung-katung hingga kini. Kongres juga terbelah: di satu sisi, subsidi untuk industri nuklir dianggap penting; di sisi lain, tekanan untuk beralih ke energi terbarukan semakin kuat.

- **Pasca-Fukushima: Antara Inovasi dan Keraguan Publik**

Bencana Fukushima 2011 memaksa AS merevisi pedoman keselamatan. NRC mewajibkan reaktor untuk memasang sistem pendingin darurat dan memperkuat ketahanan terhadap bencana alam. Debat tentang nasib reaktor tua—yang dibangun pada 1970–1980-an—pun mencuat. Sementara industri berargumen bahwa perpanjangan masa operasi aman, aktivis lingkungan mendesak penghapusan bertahap.

Di era modern, isu krusial adalah peran nuklir dalam transisi energi. Meski nuklir adalah sumber rendah karbon, popularitas energi terbarukan menantang relevansinya. Regulasi pun beradaptasi dengan teknologi baru seperti Small Modular Reactors (SMR) dan reaktor Generasi IV, meski proses lisensi masih terhambat oleh ketidakpastian politik dan keuangan.

- **Faktor Pendorong Perubahan: Dari Kecelakaan hingga Tekanan Global**

Perubahan undang-undang ketenaganukliran AS dipengaruhi oleh empat faktor utama: (i) Kecelakaan besar (Three Mile Island, Chernobyl, Fukushima) yang memicu reformasi keselamatan, (ii) Aktivismen publik tahun 1970–1980-an yang menolak risiko nuklir, (iii) Perang Dingin dan kekhawatiran proliferasi senjata, (iv) Inovasi teknologi, seperti SMR, yang memaksa regulasi untuk lebih fleksibel.

Sejarah undang-undang ketenaganukliran AS adalah cerminan dari pergulatan antara ambisi teknologi dan tanggung jawab sosial. Dari monopoli pemerintah hingga liberalisasi pasar, dari rahasia negara hingga transparansi, regulasi ini terus beradaptasi dengan perubahan zaman. Namun, tantangan tetap ada: limbah radioaktif yang belum terpecahkan, biaya tinggi, dan kompetisi dengan energi terbarukan. Ke depan, AS harus menjawab pertanyaan mendasar apakah nuklir tetap menjadi pilar energi bersih, atau hanya menjadi jembatan menuju masa depan yang sepenuhnya terbarukan?

Undang-undang Ketenaganukliran di berbagai negara mengalami perkembangan sesuai tantangan yang mereka hadapi masing. Undang-undang Ketenaganukliran versi akhir beserta isi pokoknya untuk empat negara yang dipelajari ditunjukkan dalam Tabel berikut:

**Tabel 4.** Undang-undang Ketenaganukliran dan Isi Pokoknya di Beberapa Negara

| Negara        | Undang-Undang   | Isi Pokok  |
|---------------|---|--|
| Perancis      | Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 (Energy Policy Law)                                     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menetapkan kebijakan energi nasional dengan fokus pengembangan energi nuklir sebagai sumber utama listrik.</li> <li>2. Mengatur transisi menuju energi rendah karbon, termasuk diversifikasi sumber energi</li> <li>3. Memperkenalkan target pengurangan emisi gas rumah kaca dan peningkatan efisiensi energi.</li> <li>4. Mengatur kerangka hukum untuk keselamatan nuklir dan pengelolaan limbah radioaktif.</li> </ol> |
|               | Loi n° 2015-992 (Energy Transition for Green Growth)                                    | <ol style="list-style-type: none"> <li>5. <b>Menargetkan pengurangan kontribusi</b> energi nuklir terhadap produksi listrik dari 75% menjadi 50% pada tahun 2025.</li> <li>6. Memperkuat regulasi tentang pengelolaan limbah radioaktif dan penyimpanan jangka panjang.</li> <li>7. Mendorong investasi dalam energi terbarukan untuk mengimbangi penggunaan energi nuklir.</li> <li>8. Mengatur prosedur dekomisioning reaktor nuklir tua.</li> </ol>               |
| Jepang        | Atomic Energy Basic Law (1955)  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menetapkan prinsip dasar bahwa tenaga nuklir harus digunakan hanya untuk tujuan damai (non-militer).</li> <li>2. Menekankan pentingnya keselamatan, perlindungan lingkungan, dan manfaat bagi masyarakat.</li> <li>3. Mewajibkan pemerintah untuk mempromosikan penelitian dan pengembangan teknologi nuklir.</li> </ol>   |
|               | Act on Regulation of Nuclear Source Material, Nuclear Fuel Material and Reactors (1957) | <ol style="list-style-type: none"> <li>4. <b>Mengatur lisensi</b> dan pengawasan terhadap bahan nuklir, termasuk uranium dan plutonium.</li> <li>5. Menetapkan standar keselamatan operasional untuk reaktor nuklir.</li> <li>6. Mengatur pengelolaan limbah radioaktif dan tanggung jawab operator reaktor atas insiden atau kecelakaan.</li> </ol>   |
| Korea Selatan | Atomic Energy Act (1958, direvisi berkali-kali)   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menetapkan kerangka hukum untuk pengembangan teknologi nuklir, termasuk pembangunan reaktor nuklir.</li> <li>2. Mengatur penggunaan tenaga nuklir untuk tujuan damai, seperti pembangkit listrik dan penelitian ilmiah.</li> <li>3. Mewajibkan pengawasan ketat terhadap keselamatan nuklir dan pengelolaan limbah radioaktif.</li> </ol>  |

|                        |  |  |
|------------------------|--|--|
|                        | <b>Nuclear Safety Act (2014)</b>               | <ol style="list-style-type: none"> <li>4. <b>Memperkenalkan standar</b> keselamatan internasional untuk reaktor nuklir.</li> <li>5. Mengatur tanggung jawab operator reaktor dalam hal insiden atau kecelakaan.</li> <li>6. Mewajibkan pelaporan rutin kepada badan pengawas tentang kondisi operasional reaktor.</li> <li>7. Fokus pada pengelolaan limbah radioaktif dan penyimpanan jangka panjang.</li> </ol>  |
| <b>Amerika Serikat</b> | <b>Atomic Energy Act (1946, direvisi 1954)</b> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Awalnya dibuat untuk mengatur penggunaan tenaga nuklir untuk tujuan militer selama Perang Dingin.</li> <li>2. Revisi 1954 memperkenalkan penggunaan tenaga nuklir untuk tujuan damai, seperti pembangkit listrik.</li> <li>3. Mengatur lisensi untuk penggunaan bahan nuklir, termasuk uranium dan plutonium.</li> <li>4. Menetapkan tanggung jawab pemerintah federal dalam pengawasan industri nuklir.</li> </ol>  |
|                        | <b>Energy Reorganization Act (1974)</b>        | <ol style="list-style-type: none"> <li>5. <b>Membentuk</b> Nuclear Regulatory Commission (NRC) sebagai badan independen untuk mengawasi keselamatan dan regulasi industri nuklir.</li> <li>6. Memisahkan fungsi pengawasan keselamatan dari fungsi promosi teknologi nuklir.</li> <li>7. Mengatur prosedur dekomisioning reaktor nuklir dan pengelolaan limbah radioaktif.</li> <li>8. Menetapkan standar keselamatan yang ketat untuk melindungi pekerja dan masyarakat dari risiko radiasi.</li> </ol> |

**Sumber:** Disarikan dari berbagai sumber: WNA, WNR, IAEA, dan IEA.

### III. Industri Tenaga Nuklir Indonesia

Industri tenaga nuklir Indonesia merupakan salah satu sektor strategis yang sering menjadi perdebatan antara peluang kemajuan teknologi serta keunggulannya dibandingkan dengan kekhawatiran akan risiko keselamatan. Meski merupakan pendukung awal dan memiliki sejarah panjang dalam penelitian nuklir, Indonesia kini tertinggal jauh dalam pengembangan industri nuklir komersial.

Indonesia memulai eksplorasi terhadap teknologi tenaga nuklir pada era 1950-an melalui Lembaga Tenaga Atom (LTA), cikal bakal Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Pada 1960-an, Indonesia membangun reaktor penelitian pertamanya, Reaktor TRIGA Mark II di Bandung, yang difokuskan untuk riset dan produksi isotop medis. Pada 1970–1980-an, rencana membangun Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) mulai digagas, terutama setelah krisis minyak global. Namun, proyek ini terhambat oleh tekanan kekhawatiran publik, dan perubahan prioritas pemerintah yang masih melihat Indonesia memiliki kekayaan sumber daya energi, khususnya fosil, cukup besar. Pasca-kecelakaan Fukushima 2011, rencana PLTN semakin tersendat karena meningkatnya resistensi masyarakat.

Indonesia kini memiliki tiga reaktor penelitian: Reaktor TRIGA 2000 di Bandung (kapasitas 2 MW), beroperasi sejak 1965; Reaktor Kartini di Yogyakarta (100 kW), berfungsi untuk pendidikan dan pelatihan; Reaktor Serba Guna (RSG-GAS) di Serpong (30 MW), digunakan untuk produksi radioisotop dan uji material. Ketiganya dipakai hanya untuk tujuan non-komersial atau komersial secara sangat terbatas, namun tidak termasuk listrik. Semuanya dioperasikan oleh BATAN, sebelum BATAN dilebur ke dalam Badan Riset dan Inovasi Nasional

(2021).

Beberapa perguruan tinggi, seperti Universitas Gadjah Mada (UGM) dan Institut Teknologi Bandung (ITB) memiliki program studi teknik nuklir. BATAN juga rutin menyelenggarakan pelatihan bagi insinyur dan teknisi. Namun, jumlah ahli nuklir yang kompeten masih terbatas, terutama dalam desain reaktor dan manajemen limbah radioaktif.

Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), yang bertugas mengawasi keselamatan nuklir, sering dikritik karena minimnya anggaran, SDM ahli, dan kewenangan dalam penegakan regulasi. Lemahnya pengawasan ini berpotensi menimbulkan risiko keselamatan dan keamanan, terutama jika Indonesia memutuskan membangun PLTN.

Indonesia belum memiliki kemampuan mendesain atau memproduksi reaktor nuklir secara mandiri. Proyek-proyek potensial, seperti beberapa rencana PLTN masih akan bergantung pada transfer teknologi dari negara maju yang Indonesia harus memilihnya nanti.

Perusahaan Listrik Negara (PLN), sebagai operator infrastruktur energi listrik terbesar di Indonesia, sebagai contoh, memiliki potensi kuat untuk mengelola PLTN sebagai operator. Sebagai BUMN yang mendominasi industri kelistrikan Indonesia, PLN memiliki pengalaman dalam mengoperasikan pembangkit listrik skala besar dan memiliki jaringan distribusi yang luas. Namun, tantangannya adalah kesiapan PLN mengadopsi standar keselamatan nuklir yang ketat, kebutuhan pelatihan khusus bagi staf operasional, dan terutama adalah peraturan perundangan yang melibatkan PLN secara langsung.

Indonesia memiliki sejumlah tantangan dalam upayanya membangun PLTN berskala komersial pertama. Tantangan tersebut termasuk: (i) Trauma global pasca-Fukushima dan letak geografis Indonesia yang rawan gempa serta tsunami membuat masyarakat skeptis terhadap PLTN, (ii) Keterbatasan Regulasi dan Kelembagaan, khususnya bila dibandingkan dengan negara-negara industri nuklir maju, serta (iii) Kesiapan Industri Dalam Negeri. Indonesia belum memiliki industri pendukung nuklir yang lengkap, seperti pabrikasi komponen reaktor atau fasilitas pengolahan limbah.

### 3.1. Undang-undang Tenaga Nuklir

Undang-undang Tenaga Nuklir yang sekarang berlaku di Indonesia adalah Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 mengenai Tenaga Nuklir.<sup>11</sup> Undang-undang ini dahulu disusun dengan tujuan memastikan bahwa penggunaan tenaga nuklir di Indonesia dilakukan dengan aman, selamat, dan bertanggung jawab, serta untuk mencegah dampak negatif yang dapat timbul dari penggunaannya. Selain itu, undang-undang ini juga mengatur kelembagaan yang bertugas dalam pengelolaan dan pengawasan tenaga nuklir di Indonesia.

UU No. 10 Tahun 1997 membahas berbagai aspek terkait tenaga nuklir, mulai dari pemanfaatan, keselamatan, keamanan, hingga kelembagaan yang berwenang. Beberapa isi pokok dari undang-undang ini meliputi:

- **Pemanfaatan Tenaga Nuklir.** Tenaga nuklir dapat dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan damai, termasuk dalam bidang energi, kesehatan, pertanian, industri, dan penelitian. Pengelolaan tenaga nuklir harus memperhatikan aspek keselamatan kerja, perlindungan terhadap radiasi, dan perlindungan lingkungan.
- **Keselamatan dan Keamanan Nuklir.** Setiap kegiatan yang berkaitan dengan tenaga nuklir wajib menerapkan standar keselamatan yang ketat untuk melindungi manusia dan

<sup>11</sup> Naskah lengkap dapat dilihat, misalnya di <https://jdih.bapeten.go.id/unggah/dokumen/peraturan/377-full.pdf>

lingkungan dari bahaya radiasi. Terdapat ketentuan mengenai izin dan persyaratan teknis dalam penggunaan tenaga nuklir guna memastikan keamanan operasional.

- **Limbah Radioaktif.** Pengelolaan limbah radioaktif harus dilakukan secara hati-hati dan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan agar tidak menimbulkan dampak negatif bagi masyarakat dan lingkungan. Undang-undang ini juga mengatur kewajiban setiap pengguna tenaga nuklir untuk mengelola limbah yang dihasilkan.

UU No. 10 Tahun 1997 juga menetapkan dua lembaga utama yang bertanggung jawab dalam pengelolaan dan pengawasan tenaga nuklir, yaitu: (i) **Badan Pelaksana** yang bertugas melaksanakan penelitian, pengembangan, dan penerapan teknologi nuklir di Indonesia, serta berperan dalam pengelolaan bahan nuklir dan pengembangan reaktor nuklir untuk kepentingan damai, dan (ii) Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) yang bertugas mengawasi seluruh aspek penggunaan tenaga nuklir di Indonesia agar sesuai dengan peraturan yang berlaku. Fungsi utama BAPETEN meliputi perizinan, inspeksi, serta penegakan regulasi terkait keamanan dan keselamatan nuklir.

Selain mengenai Badan Pelaksana dan BAPETEN, UU No. 10 Tahun 1997 juga mengatur mengenai **Majelis Pertimbangan Tenaga Nuklir**, yang berfungsi sebagai badan penasihat bagi pemerintah dalam perumusan kebijakan tenaga nuklir. Tugas utama majelis ini adalah memberikan rekomendasi strategis mengenai pengembangan dan pemanfaatan tenaga nuklir secara aman dan berkelanjutan.

Undang-Undang No. 10 Tahun 1997 merupakan instrumen hukum yang penting dalam mengatur penggunaan tenaga nuklir di Indonesia. Namun, Undang-undang No. 10/1997 ini dianggap masih terbatas dalam pengaturan aspek-aspek industri nuklir yang harus dikelola, tidak sesuai lagi dengan perkembangan tantangan zaman, dan oleh karena itu telah diupayakan perubahan dan perbaikannya.

Upaya penyusunan Undang-undang Ketenaganukliran yang baru telah dimulai pada tahun 2018 dengan penyusunan Naskah Akademik, dan saat ini statusnya adalah dalam persiapan Prolegnas Prioritas 2025, untuk dibahas bersama Dewan Perwakilan Rakyat.<sup>12</sup> BAPETEN mengambil peran dominan mewakili pihak Pemerintah sebagai inisiator Rancangan Undang-undang Nuklir yang baru ini, termasuk menjaring masukan dari Kementerian/ Lembaga lainnya dan masyarakat.

Secara garis besar, apa yang menjadi perbedaan antara Undang-undang No. 10 Tahun 1997 dengan *draft* Rancangan Undang-undang Ketenaganukliran yang baru ditunjukkan dalam Tabel di halaman selanjutnya.<sup>13</sup> Terlihat bahwa perubahan tersebut cukup besar. Sementara juga dapat disimpulkan bahwa Undang-undang mengenai Ketenaganukliran yang ada di Indonesia sekarang ini masih belum sempurna dan masih harus diperbaiki untuk dapat menjadi pijakan bagi pembangunan industri ketenaganukliran yang modern.

### 3.2. Kelembagaan Tenaga Nuklir

Kelembagaan tenaga nuklir di Indonesia tumbuh dari (dahulu) BATAN, sebuah LPNK (Lembaga Pemerintahan Non-Kementerian) yang secara garis besar dapat digambarkan bertindak sebagai “regulator, pengawas, operator, lembaga litbang”, dsb. Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran menata kelembagaan tenaga nuklir, di antaranya dengan amanat membentuk Badan Pelaksana Tenaga Nuklir dan Badan Pengawas

<sup>12</sup> Berita dalam situs Badan Pembinaan Hukum Nasional. <https://bphn.go.id/berita-kegiatan/kesiapan-ruuk-ketenaganukliran-menuju-prolegnas-prioritas-2025>

<sup>13</sup> Lebih lengkap dapat dilihat dalam situs BAPETEN <https://bapeten.go.id/upload/52/a92da4fd30-ruuk-kp-jakarta-8-maret-2023-rev-1.pdf>

Tenaga Nuklir (BAPETEN). Pada 1998 BAPETEN telah dibentuk, namun Badan Pelaksana belum didefinisikan secara tegas/jelas hingga sekarang, apalagi ---melalui Perpres No. 78 Tahun 2021, BATAN telah dilebur menjadi bagian dari BRIN.

Pasal 3 Ayat 1 Undang-undang No. 10 Tahun 1997 menyebutkan bahwa "Pemerintah membentuk Badan Pelaksana yang berada di bawah dan bertanggung jawab langsung kepada Presiden, yang bertugas melaksanakan pemanfaatan tenaga nuklir." Namun, implementasi dari ketentuan ini masih menyisakan pertanyaan. Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) yang sebelumnya menjadi institusi utama dalam pengembangan teknologi nuklir telah dilebur ke dalam Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Dengan demikian, masih perlu diperjelas apakah BRIN kini juga berperan sebagai Badan Pelaksana yang dimaksud dalam Undang-Undang, ataukah diperlukan pembentukan badan baru yang khusus menangani pemanfaatan tenaga nuklir.

Selain Badan Pelaksana, Undang-undang No. 10 Tahun 1997 menyebut pula kewajiban untuk membentuk Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). Hal ini telah dilakukan dengan Keputusan Presiden Nomor 76 Tahun 1998. BAPETEN bertanggung jawab atas pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia, guna memastikan bahwa penggunaannya sesuai dengan regulasi dan standar keselamatan yang berlaku. Menjadi pertanyaan pula kewenangan BAPETEN dalam pemberian izin (*license*) untuk pembangunan PLTN baru serta tidak disebutkannya fungsi informasi publik serta komunikasi seperti yang lazimnya dimiliki oleh Badan Pengatur nuklir di negara-negara maju.

Di samping itu, terdapat Majelis Pertimbangan Tenaga Nuklir (MPTN) yang bertugas memberikan saran dan pertimbangan terkait pemanfaatan tenaga nuklir. Meskipun Majelis ini telah pernah disiapkan dengan Peraturan Presiden Nomor 83 Tahun 2014, namun belum efektif dalam memberikan masukan strategis terhadap kebijakan nuklir nasional.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) sesungguhnya juga memiliki peran dalam kebijakan energi nasional, termasuk dalam sektor tenaga nuklir terutama dalam RPJPN 2025-2045, dimana peran PLTN akan dikembangkan. Kementerian ini berfungsi sebagai perumus kebijakan dan pengawas dalam berbagai aspek pemanfaatan sumber daya energi, termasuk energi nuklir. Kementerian ini juga secara teknis membawahi PT Perusahaan Listrik Negara (PLN) yang merupakan BUMN di bidang kelistrikan yang mendominasi pelayanan kelistrikan di Indonesia.

Sementara itu, Dewan Energi Nasional (DEN) merupakan lembaga yang bertanggung jawab dalam penyusunan kebijakan energi nasional secara keseluruhan. DEN memiliki peran dalam menentukan strategi energi nasional, termasuk kebijakan terkait pengembangan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN).

Namun, peranan Kementerian ESDM maupun Dewan Energi Nasional tidak disebutkan secara langsung dalam Undang-undang Ketenaganukliran, baik yang masih berlaku (UU 10/1997) maupun yang sedang dirancang untuk menggantikan.

Pasal 13 Ayat 4 Undang-Undang Ketenaganukliran, yang menyatakan bahwa pembangunan PLTN harus ditetapkan oleh Pemerintah setelah berkonsultasi dengan Dewan Perwakilan Rakyat Republik Indonesia (DPR RI).

Dapat disimpulkan sementara bahwa lembaga-lembaga mengenai industri tenaga nuklir di Indonesia belum sempurna dan belum efektif.

**Tabel 5.** Hal-hal yang diatur dalam Undang-undang No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran dan *draft* RUU Penggantinya

| UU NO. 10 TAHUN 1997<br>KETENAGANUKLIRAN |              | RUU PENGGANTI                           |
|--|--------------|---|
| HAL YANG DIATUR                          | BAB          | HAL YANG DIATUR                         |
| KETENTUAN UMUM                           | <b>I</b>     | RENCANA UMUM                            |
| KELEMBAGAAN                              | <b>II</b>    | RENCANA INDUK<br>KETENAGALISTRIKAN      |
| PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN              | <b>III</b>   | PENYELENGGARAAN IPTEK NUKLIR            |
| PENGUSAHAAN                              | <b>IV</b>    | PERTAMBANGAN BAHAN NUKLIR               |
| PENGAWASAN                               | <b>V</b>     | INSTALLASI NUKLIR                       |
| PENGELOLAAN LIMBAH<br>RADIOAKTIF         | <b>VI</b>    | FASILITAS RADIASI                       |
| PERTANGGUNGJAWABAN<br>KERUGIAN NUKLIR    | <b>VII</b>   | EKSPOR DAN IMPOR                        |
| KETENTUAN PIDANA                         | <b>VII</b>   | PENGANGKUTAN                            |
| KETENTUAN PERALIHAN                      | <b>IX</b>    | PENGELOLAAN BAHAN BAKAR<br>NUKLIR BEKAS |
| KETENTUAN PENUTUP                        | <b>X</b>     | PENGELOLAAN LIMBAH RADIOAKTIF           |
|  | <b>XI</b>    | SISTEM KEAMANAN NUKLIR<br>NASIONAL      |
|  | <b>XII</b>   | SISTEM GARDA AMAN NASIONAL              |
|  | <b>XIII</b>  | SISTEM KESIAPSIAGAAN NUKLIR<br>NASIONAL |
|  | <b>XIV</b>   | PERTANGGUNGJAWABAN KERUGIAN<br>NUKLIR   |
|  | <b>XV</b>    | PENGAWASAN KETENAGANUKLIRAN             |
|  | <b>XVI</b>   | PERAN SERTA MASYARAKAT                  |
|  | <b>XVII</b>  | KERJA SAMA INTERNASIONAL                |
|  | <b>XVIII</b> | SANKSI ADMINISTRATIF                    |
|  | <b>XIX</b>   | PENYIDIKAN DAN PEMBUKTIAN               |
|  | <b>XX</b>    | KETENTUAN PIDANA                        |
|  | <b>XXI</b>   | KETENTUAN PERALIHAN                     |
|  | <b>XXII</b>  | KETENTUAN PENUTUP                       |

Sumber: UU No. 10 Tahun 1997 dan RUU Penggantinya

### 3.3. Penilaian International Atomic Energy Agency (IAEA) terhadap kesiapan pembangunan PLTN Pertama Indonesia

*International Atomic Energy Agency* (IAEA) merupakan organisasi antarpemerintah yang independen, berbasis ilmu pengetahuan dan teknologi. Pada tahun 2024, jumlah negara anggota IAEA mencapai 180, termasuk Indonesia.

IAEA memiliki tugas memfasilitasi alih teknologi dan pengetahuan nuklir kepada negara-negara berkembang serta mendorong kerja sama internasional dalam penggunaan teknologi nuklir untuk tujuan damai. Salah satu fasilitas yang disediakan oleh IAEA untuk membantu negara anggota dalam mempersiapkan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) adalah *Integrated Nuclear Infrastructure Review* (INIR),<sup>14</sup> yaitu penilaian

<sup>14</sup> Lihat, <https://www.iaea.org/services/review-missions/integrated-nuclear-infrastructure-review-inir>

kesiapan pembangunan PLTN berdasarkan 19 faktor berikut:

1. Posisi Nasional
2. Keselamatan nuklir
3. Manajemen
4. Pendanaan dan pembiayaan
5. Kerangka hukum
6. *Safeguards*
7. Perlindungan radiasi
8. Kerangka regulasi
9. Jaringan listrik
10. Pengembangan sumber daya manusia
11. Keterlibatan pemangku kepentingan
12. Lokasi dan fasilitas pendukung
13. Perlindungan lingkungan
14. Perencanaan darurat
15. Keamanan nuklir
16. Siklus bahan bakar nuklir
17. Pengelolaan limbah radioaktif
18. Keterlibatan industri
19. Pengadaan

Pada tahun 2009, IAEA melakukan reviu kesiapan Indonesia dalam membangun PLTN. Hasilnya menunjukkan bahwa Indonesia masih memiliki kelemahan dalam tiga faktor utama, yaitu (i) Posisi nasional, (ii) Kesiapan organisasi, dan (iii) Pemetaan pemangku kepentingan.

Posisi nasional yang dimaksud adalah pernyataan politik, misalnya melalui Peraturan Presiden, yang menegaskan komitmen Indonesia dalam membangun PLTN. Pernyataan politik ini berfungsi sebagai dasar untuk membuka kerja sama dan bantuan internasional yang difasilitasi oleh IAEA.

Selain ketiga faktor tersebut, Indonesia juga perlu memperbaiki empat faktor lain, yaitu:

1. Pendanaan dan pembiayaan,
2. Kerangka hukum,
3. Lokasi dan fasilitas pendukung, serta
4. Keterlibatan industri.

Sebagai langkah strategis, IAEA menyarankan Indonesia membentuk *Nuclear Energy Program Implementing Organization* (NEPIO), yakni organisasi yang bertugas mempersiapkan pembangunan PLTN pertama di suatu negara, yang lazim disarankan pembentukannya oleh IAEA.

Dengan adanya berbagai institusi nasional dan dukungan dari organisasi internasional seperti IAEA, pengelolaan tenaga nuklir di Indonesia memerlukan koordinasi yang kuat agar pengembangan PLTN dapat berjalan secara efektif dan sesuai kepentingan nasional.

#### **IV. Analisis: Kesenjangan Industri Nuklir Indonesia Dibandingkan Negara Maju**

Pembangunan industri nuklir Indonesia masih jauh tertinggal dibandingkan dengan Prancis, Jepang, Korea Selatan, dan Amerika Serikat. Kesenjangan ini terlihat dari berbagai aspek, termasuk kapabilitas operator, perancang dan manufaktur teknologi nuklir, penelitian dan pengembangan (litbang), serta regulasi dan kelembagaan.

Selain menilai kesenjangan antara industri nuklir Indonesia dengan beberapa negara maju, Bab ini mulai mengusulkan beberapa saran perbaikan, khususnya untuk aspek regulasi dan kelembagaan.

Untuk **Operator dan Infrastruktur Nuklir**, negara-negara maju telah memiliki operator nuklir dengan pengalaman panjang dalam mengelola PLTN, sementara Indonesia masih dalam tahap perencanaan awal. Di negara maju, operator seperti *Électricité de France* (EDF), Kansai Electric Power (Jepang), Korea Hydro & Nuclear Power (KHNP), dan Tennessee Valley Authority (AS) memiliki kemampuan canggih dalam mengoperasikan reaktor nuklir dengan standar keselamatan dan efisiensi tinggi.

Di Indonesia, Perusahaan Listrik Negara (PLN) memiliki pengalaman cukup banyak dalam pengelolaan kelistrikan nasional, namun belum punya pengalaman untuk PLTN. Sementara BATAN (sebelum digabung menjadi BRIN) memiliki pengalaman terbatas dalam mengelola reaktor riset, seperti reaktor serbaguna G. A. Siwabessy. Namun, pengalaman ini masih jauh dari cukup untuk mengelola PLTN skala komersial. Selain itu, pelatihan tenaga kerja operator nuklir juga masih terbatas.

Kesenjangan antara Indonesia dengan negara-negara maju tersebut adalah tidak dipunyainya pengalaman dalam mengelola dan mengoperasikan PLTN skala besar. Selain itu, infrastruktur pendukung, termasuk sistem kelistrikan yang mampu menyerap daya PLTN secara stabil belum disiapkan. Demikian pula, program pelatihan dan sertifikasi operator nuklir yang setara dengan standar internasional hampir tidak ada.

Untuk **Desain dan Manufaktur Teknologi Nuklir**, Prancis, Jepang, Korea Selatan, dan AS memiliki perusahaan dengan kemampuan desain dan manufaktur reaktor nuklir yang canggih, seperti Framatome (Prancis), Mitsubishi Heavy Industries (Jepang), KEPCO E&C (Korea Selatan), dan Westinghouse (AS). Indonesia belum memiliki industri manufaktur nasional yang mampu memproduksi komponen utama reaktor nuklir. Saat ini dan nanti ketika pembangunan PLTN pertama dilakukan, sebagian besar teknologi reaktor harus diimpor. Sementara itu, kemampuan desain teknologi nuklir dalam negeri masih terbatas pada skala riset.

Untuk **Penelitian dan Pengembangan (Litbang)**, negara-negara maju memiliki pusat litbang nuklir yang kuat dan berorientasi pada inovasi, seperti *Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives* (CEA) di Prancis, Japan Atomic Energy Agency (JAEA), Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI), dan Los Alamos National Laboratory (AS). Mereka memiliki peran penting dalam pengembangan teknologi reaktor baru, material bahan bakar, serta manajemen limbah nuklir.

Di Indonesia, BRIN (dengan mantan BATAN di dalamnya) memiliki program penelitian nuklir, tetapi masih menghadapi tantangan dalam pendanaan, fasilitas uji coba, serta keterlibatan industri dalam komersialisasi teknologi nuklir. Kerja sama antara akademisi, lembaga riset, dan industri untuk pengembangan teknologi nuklir sangat terbatas, sementara inovasi dalam teknologi bahan bakar dan limbah nuklir sangat kurang.

#### 4.1. Aspek Regulasi

Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran merupakan landasan hukum utama yang mengatur pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia. Namun, seiring perkembangan teknologi dan kebutuhan energi, evaluasi terhadap kecukupan undang-undang ini menjadi penting, terutama jika dibandingkan dengan regulasi nuklir di Prancis, Jepang, Korea Selatan, dan Amerika Serikat.

UU No. 10 Tahun 1997 menekankan bahwa ketenaganukliran harus dikuasai oleh

negara dan dimanfaatkan untuk pembangunan nasional demi kesejahteraan masyarakat. Undang-undang ini mengatur aspek-aspek seperti penguasaan tenaga nuklir oleh negara, pembinaan, pengawasan, perizinan, dan ketentuan pidana. Namun, dengan perkembangan teknologi dan dinamika global, terdapat beberapa area yang memerlukan pembaruan, termasuk:

- **Perkembangan Teknologi dan Keselamatan.** Sejak 1997, teknologi nuklir telah berkembang pesat, termasuk munculnya reaktor generasi baru dengan fitur keselamatan yang lebih baik. UU saat ini belum mengakomodasi perkembangan tersebut.
- **Kesiapsiagaan dan Tanggap Darurat.** Isu terkait manajemen limbah radioaktif, kesiapsiagaan terhadap bencana nuklir, dan tanggap darurat memerlukan perhatian khusus dalam regulasi modern.
- **Keterlibatan Publik dan Transparansi.** Di era informasi, keterlibatan masyarakat dan transparansi dalam pengambilan keputusan terkait proyek nuklir menjadi krusial untuk meningkatkan kepercayaan publik.

Negara-negara seperti Prancis, Jepang, Korea Selatan, dan Amerika Serikat memiliki regulasi nuklir yang komprehensif dan terus diperbarui sesuai perkembangan zaman. Prancis memiliki *Code de l'environnement* yang mengatur aspek lingkungan termasuk nuklir serta **Autorité de sûreté nucléaire** (ASN) sebagai badan pengawas independen dengan otoritas kuat. Jepang memperkuat regulasi melalui pembentukan **Nuclear Regulation Authority** (NRA) yang independen dan pengetatan standar keselamatan. Korea Selatan menerapkan *Nuclear Safety Act* yang komprehensif, dengan **Nuclear Safety and Security Commission** (NSSC) sebagai pengawas independen yang memastikan kepatuhan terhadap standar keselamatan internasional. Sementara Amerika Serikat mengandalkan *Atomic Energy Act* dan **Nuclear Regulatory Commission** (NRC) yang memiliki wewenang luas dalam pengawasan dan penegakan regulasi nuklir.

Ciri khas regulasi di negara-negara tersebut adalah fleksibilitas dalam menyesuaikan dengan perkembangan teknologi dan penekanan pada independensi badan pengawas untuk memastikan objektivitas dan integritas dalam pengawasan.

Meskipun UU No. 10 Tahun 1997 telah menjadi landasan penting, terdapat kebutuhan untuk memperbaruinya agar sejalan dengan standar internasional dan perkembangan teknologi. Beberapa area yang memerlukan perhatian:

- **Penguatan Independensi Pengawas.** Memastikan BAPETEN memiliki otonomi penuh dalam pengambilan keputusan tanpa intervensi eksternal.
- **Pengaturan Teknologi Baru.** Mengakomodasi perkembangan teknologi seperti reaktor modular kecil (SMR) dan teknologi fusi nuklir.
- **Manajemen Limbah.** Menyusun regulasi spesifik terkait pengelolaan limbah radioaktif jangka panjang.
- **Keterlibatan Publik.** Mekanisme untuk melibatkan masyarakat dalam proses perizinan dan pengambilan keputusan terkait proyek nuklir.

BAPETEN sedang mempersiapkan Rancangan Undang-Undang (RUU) Ketenaganukliran untuk menggantikan UU No. 10 Tahun 1997. Beberapa poin penting dalam RUU pengganti tersebut adalah:

- **Perluasan Cakupan:** RUU ini memperkenalkan lebih dari 100 pasal baru yang mencakup instalasi nuklir, fasilitas radiasi, dan keamanan pengangkutan.
- **Penguatan Pengawasan:** Memperjelas peran dan wewenang BAPETEN dalam pengawasan dan penegakan regulasi.
- **Keterlibatan Publik:** RUU ini menekankan pentingnya konsultasi publik dalam proses penyusunan regulasi.

Namun, masih ada beberapa hal yang harus diperhatikan:

- BAPETEN perlu menyiapkan regulasi yang lebih detail mengenai desain, konstruksi, operasi, dan dekomisioning PLTN.
- Perlu harmonisasi regulasi dengan standar internasional, seperti yang ditetapkan oleh IAEA dan WENRA.
- Regulasi yang lebih komprehensif untuk PLTN.
- Harmonisasi Regulasi: Upaya untuk mengharmonisasikan UU Ketenaganukliran dengan UU Energi Baru dan Terbarukan serta revisi UU No. 30 Tahun 2007 tentang Energi, untuk mengakomodasi isu transisi energi dan komitmen internasional terkait emisi karbon.

Penting pula menekankan bahwa bukanlah hanya BAPETEN yang harus memegang inisiatif utama dalam pekerjaan menyusun RUU Pengganti UU No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, namun juga Kementerian Energi dan Sumber Daya Alam serta Dewan Energi Nasional dikaitkan dengan PLTN yang rencananya akan dibangun.

#### 4.2. Kelembagaan Nuklir

UU No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran membagi peran antara BAPETEN (Badan Pengawas Tenaga Nuklir) sebagai regulator dan **Badan Pelaksana**, yang sebelumnya dianggap adalah BATAN (Badan Tenaga Nuklir Nasional) yang kini telah dilebur ke dalam BRIN (Badan Riset dan Inovasi Nasional). Dalam struktur ini, BAPETEN bertanggung jawab atas pengawasan dan perizinan, sedangkan Badan Pelaksana mengelola riset, pengembangan, serta potensi pemanfaatan nuklir di Indonesia.

Namun, dalam menghadapi era baru industri nuklir nasional, terutama jika Indonesia benar-benar ingin membangun PLTN komersial, muncul pertanyaan: apakah pembagian peran ini sudah cukup memadai? Apakah seluruh aspek pekerjaan bidang tenaga nuklir, khususnya PLTN telah dibagi habis?

UU No. 10 Tahun 1997 menugaskan BAPETEN untuk:

- Mengatur dan mengawasi keselamatan dan keamanan nuklir serta pengendalian bahan nuklir,
- Mengeluarkan izin bagi kegiatan yang berkaitan dengan tenaga nuklir,
- Melakukan inspeksi dan memastikan kepatuhan terhadap standar keselamatan.

Secara umum, BAPETEN bertindak sebagai regulator yang bertanggung jawab atas aspek keselamatan, keamanan, dan pengawasan. Model ini mengikuti praktik terbaik global di mana regulator harus independen dari operator dan pelaksana proyek nuklir untuk mencegah konflik kepentingan. Penting dipertegas tugas untuk informasi publik, misalnya, dimana dalam berbagai negara menjadi tugas Badan Pengatur, namun dalam kasus Indonesia hal itu menjadi Tugas Badan Pelaksana. Apakah ini tidak sebaiknya juga menjadi tugas BAPETEN?

BAPETEN berperan sebagai pengawas keselamatan nuklir, tetapi masih menghadapi tantangan besar, terutama dalam menghadapi kemungkinan pengembangan PLTN. Kemampuan yang perlu ditingkatkan oleh BAPETEN meliputi: (i) Peningkatan Kapasitas Inspektur Nuklir, (ii) Penguatan independensi dan otoritas pengawasan, (iii) Peningkatan kapasitas dalam manajemen risiko dan penanganan kedaruratan nuklir, dan (iv) Pengembangan sistem pemantauan radiasi dan kesiapsiagaan bencana nuklir perlu diperkuat.

**Bagaimana dengan Badan Pelaksana?** Sebelum dilebur ke dalam BRIN, BATAN bertanggung jawab atas riset dan pengembangan (litbang) nuklir, termasuk pengelolaan reaktor riset dan pengembangan sumber daya manusia. Setelah dilebur ke BRIN, fungsi ini tetap ada tetapi kini berada dalam sistem kelembagaan yang lebih luas.

Masalah utama dari perubahan ini adalah hilangnya **entitas khusus** yang berfokus pada pengembangan industri nuklir nasional, sementara BRIN memiliki agenda riset yang sangat luas dan tidak hanya berfokus pada nuklir.

Dibandingkan dengan negara-negara maju seperti Prancis, Jepang, Korea Selatan, dan AS, pembagian peran antara regulator dan operator di Indonesia masih memiliki beberapa tantangan, terutama jika Indonesia ingin mengembangkan PLTN komersial. Hal-hal tersebut meliputi:

- **Ketidajelasan Fungsi Badan Pelaksana Pasca Penghapusan BATAN.** Di negara maju, badan pelaksana PLTN biasanya berbentuk perusahaan khusus atau BUMN, seperti *Électricité de France* (EDF) di Prancis, KEPCO di Korea Selatan, atau Tepco di Jepang. Dengan penghapusan BATAN, Indonesia tidak memiliki badan khusus yang bertanggung jawab atas pengembangan teknologi nuklir untuk pembangkitan listrik secara komersial. BRIN bukan entitas operasional untuk PLTN, melainkan lembaga riset yang cakupannya sangat luas.

- **Tidak Ada Entitas Operator PLTN yang Jelas.** Dalam sistem saat ini, tidak ada badan yang ditugaskan secara eksplisit sebagai operator PLTN di masa depan. Apakah ini akan menjadi tugas PLN, investor asing, atau entitas baru masih belum jelas. Negara maju biasanya memiliki operator yang jelas, seperti EDF di Prancis atau KHNP di Korea Selatan.

- Peran Kementerian lain atau Dewan Energi Nasional, sebagai penyusun Kebijakan Energi Nasional (termasuk PLTN) tidak jelas.

Untuk “langkah cepat”, unsur (dahulu) BATAN<sup>15</sup> yang kini berada dalam BRIN dapat ditarik dan melakukan fungsi sebagai Badan Pelaksana sebagaimana disebutkan dalam UU No. 10 Tahun 1997 atau penggantinya, terutama untuk mendukung unsur riset dan pembinaan industri nuklir di luar PLTN. Demikian pula dapat menetapkan PLN sebagai operator utama PLTN di Indonesia.

## V. Kesimpulan dan Rekomendasi

### 5.1. Kesimpulan

Industri nuklir Indonesia tertinggal jauh dibandingkan dengan negara-negara maju seperti Prancis, Jepang, Korea Selatan, dan Amerika Serikat. Keterbelakangan ini terlihat dalam berbagai aspek, termasuk operasional dan infrastruktur, penguasaan teknologi, penelitian dan pengembangan, serta **regulasi dan kelembagaan**.

Negara-negara maju memiliki operator nuklir dengan pengalaman panjang, seperti *Électricité de France* (EDF), Kansai Electric Power (Jepang), Korea Hydro & Nuclear Power (KHNP), dan Tennessee Valley Authority (AS). Sementara itu, Indonesia masih dalam tahap awal perencanaan PLTN. PLN sebagai perusahaan listrik nasional belum memiliki pengalaman mengoperasikan PLTN, sedangkan BATAN (sebelum digabung ke BRIN) hanya mengelola reaktor riset skala kecil. Selain itu, kesiapan infrastruktur, termasuk jaringan listrik yang dapat menampung daya dari PLTN secara stabil, serta program pelatihan operator yang sesuai standar internasional, masih minim.

Negara maju memiliki industri yang mampu merancang dan memproduksi komponen reaktor nuklir, seperti Framatome di Prancis, Mitsubishi Heavy Industries di Jepang, KEPCO E&C di Korea Selatan, dan Westinghouse di AS. Sebaliknya, Indonesia belum memiliki kapasitas industri dalam negeri untuk memproduksi teknologi nuklir, sehingga komponen-komponen

---

<sup>15</sup> Fungsi Badan Pelaksana sangat penting dan dalam UU No. 10 Tahun 1997 secara tidak langsung bahwa fungsi itu dilakukan oleh BATAN. Kelemahannya ketika itu adalah Badan Pelaksana tidak langsung ditetapkan. Sementara di sisi lain, melalui Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 78 Tahun 2021 tentang Badan Riset dan Inovasi Nasional, BRIN telah ditetapkan dan BATAN dilebur ke dalamnya. Kekosongan entitas seperti yang pernah diperankan oleh BATAN sebelumnya dalam sebuah industri nuklir tidak dapat dibenarkan.

reaktor untuk PLTN Pertamanya nanti harus diimpor.

Litbang nuklir di negara maju didukung oleh lembaga riset yang kuat, seperti CEA (Prancis), JAEA (Jepang), KAERI (Korea Selatan), dan Los Alamos National Laboratory (AS). Di Indonesia, riset nuklir berada di bawah BRIN, tetapi menghadapi kendala besar dalam pendanaan, fasilitas pengujian, serta keterlibatan sektor industri untuk mengembangkan dan mengkomersialkan teknologi nuklir. Tantangannya bahkan dalam fokus penelitian atau pekerjaan yang harus dilakukan oleh (sebelumnya) BATAN dalam instansi BRIN.

Dengan struktur industri nuklir yang masih amat lemah sekarang, terutama dengan belum terbangunnya fondasi industri berupa regulasi dan institusi/kelembagaan yang kokoh, amat sulit bagi Indonesia untuk dapat membangun PLTN skala komersial pertamanya, sebagaimana yang diamanatkan RPJPN 2025-2045.

UU No. 10 Tahun 1997 menjadi dasar hukum ketenaganukliran di Indonesia, namun regulasi ini sudah ketinggalan zaman serta belum mencakup banyak aspek dalam pengelolaan industri nuklir modern yang memerlukan pengaturan rinci/jelas. Beberapa aspek yang perlu diperhatikan dalam revisi regulasi antara lain: (i) Standar keselamatan yang harus mengakomodasi teknologi reaktor terbaru dengan fitur keamanan yang lebih baik, (ii) Kesiapsiagaan terhadap bencana dan pengelolaan limbah radioaktif yang memerlukan peraturan lebih detail, (iii) Transparansi dan keterlibatan publik dalam proses pengambilan keputusan terkait proyek nuklir. Pembagian tugas antara aktor-aktor utama dalam industri nuklir, termasuk penguatan fungsi BAPETEN serta peran Badan Pelaksana juga harus diperjelas.

Sebagai perbandingan, negara-negara seperti Prancis, Jepang, Korea Selatan, dan AS memiliki regulasi yang lebih fleksibel dan diperbarui secara berkala, dengan lembaga pengawas independen seperti ASN (Prancis), NRA (Jepang), NSSC (Korea Selatan), dan NRC (AS).

BAPETEN sedang menyusun RUU Ketenaganukliran untuk menggantikan UU No. 10 Tahun 1997 dengan penguatan aspek pengawasan, perlindungan lingkungan, serta partisipasi publik. Pekerjaan BAPETEN ini perlu didukung oleh *stakeholders* industri nuklir secara luas, termasuk Kementerian Energi & Sumber Daya Mineral dan Dewan Energi Nasional, karena unsur PLTN yang akan merupakan bagian terbesar dari industri nuklir Indonesia nantinya.

Di Indonesia, peran regulator dan pelaksana nuklir sebelumnya terbagi antara BAPETEN dan BATAN, tetapi setelah BATAN dilebur ke dalam BRIN, tidak ada lembaga khusus yang menangani pengembangan teknologi nuklir untuk pembangkitan listrik. Beberapa tantangan utama dalam kelembagaan nuklir saat ini meliputi: (i) Tidak adanya Badan Pelaksana khusus setelah BATAN diintegrasikan ke dalam BRIN, (ii) Belum jelasnya pihak yang akan menjadi operator PLTN di masa depan, apakah PLN, investor asing, atau entitas baru, (iii) Peran kementerian dan Dewan Energi Nasional dalam menyusun kebijakan PLTN belum terdefinisi jelas.

## 5.2. Rekomendasi

1. Segera membentuk Badan Pelaksana Tenaga Nuklir sesuai amanat Undang-undang No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran. Sebagai solusi jangka pendek, eks-BATAN yang kini berada di BRIN ditugaskan kembali untuk menjalankan peran **Badan Pelaksana**.
2. Percepat penyelesaian RUU Ketenaganukliran Pengganti UU No. 10 Tahun 1997. Tambahkan dukungan dari unsur Kementerian Energi & Sumber Daya Mineral dan Dewan Energi Nasional. Harmonikan regulasi dengan standar global/rekomendasi IAEA.

3. Perkokoh peran BAPETEN untuk dapat menjalankan fungsinya sesuai dengan peran Badan Pengatur sesuai standar global.
4. Secara paralel membentuk Satgas Persiapan & Percepatan Pembangunan PLTN Pertama Indonesia untuk mempersiapkan hal-hal lainnya yang dibutuhkan.
5. Persiapkan PLN sebagai operator utama PLTN Indonesia (mengikuti model EdF Prancis atau KHNP Korea Selatan).
6. Meningkatkan kesiapan industri nasional dalam mendukung pembangunan PLTN dengan investasi pada riset, manufaktur komponen, dan pelatihan tenaga kerja yang sesuai standar internasional.

## Daftar Pustaka

- Badan Pembinaan Hukum Nasional. <https://bphn.go.id/berita-kegiatan/kesiapan-ruuk-ketenaganukliran-menuju-prolegnas-prioritas-2025>
- BAPETEN <https://bapeten.go.id/upload/52/a32da4fd30-ruuk-kp-jakarta-8-maret-2023-rev-1.pdf>
- BAPETEN, <https://jdih.bapeten.go.id/unggah/dokumen/peraturan/377-full.pdf>  
<https://world-nuclear.org>.
- Législation nucléaire des pays de l'OCDE et de l'AEN, Réglementation générale et cadre institutionnel des activités nucléaires, France. <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles> dan OECD. (2011)
- Législation nucléaire des pays de l'OCDE et de l'AEN, Réglementation générale et cadre institutionnel des activités nucléaires, France. <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/france>, dan OECD. (2011).
- <https://www.iaea.org/services/review-missions/integrated-nuclear-infrastructure-review-inir>
- International Atomic Energy Agency (IAEA). (2023). Energy, Electricity, and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050. Dikutip dari <https://www.iaea.org>
- Publikasi dari IAEA, IEA, WNA, dan WNR
- Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran merupakan landasan hukum utama yang mengatur pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 59 Tahun 2024 Tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional Tahun 2025-2045
- World Nuclear Association (WNA). 2025. <https://world-nuclear.org/nuclear-reactor-database/summary>