



LITRA: Jurnal Hukum Lingkungan Tata Ruang dan Agraria
Departemen Hukum Lingkungan Tata Ruang dan Agraria, Fakultas Hukum Universitas Padjadjaran
P-ISSN: 2809-6983 E-ISSN: 2808-9804
Volume 3, Nomor 1, Oktober 2023
Artikel diterbitkan: 31 Oktober 2023 DOI: 10.23920/litra.v3i1.1496

**REGULASI INDONESIA DALAM MENGELOLA ENERGI NUKLIR SERTA DAMPAKNYA
TERHADAP LINGKUNGAN HIDUP**

**INDONESIAN REGULATIONS ON MANAGING NUCLEAR ENERGY AND ITS IMPACT ON
THE ENVIRONMENT**

Collin Adi Pratama^a, Maret Priyanta^b, Yulinda Adharani^c

^{abc}Fakultas Hukum Universitas Padjadjaran, Jalan Ir. Soekarno KM 21 Jatinangor, Kab. Sumedang,

^aemail: collin19001@maul.unpad.ac.id

ABSTRAK

Indonesia memiliki tujuan untuk mempromosikan perkembangan energi baru dan terbarukan melalui perancangan Rancangan Undang-Undang Energi Baru dan Energi Terbarukan (RUU EBET). Dalam konteks penggunaan nuklir sebagai sumber energi, perlu ada peraturan yang mengatur penggunaan energi nuklir secara khusus. Hal ini digunakan sebagai indikator kesiapan Indonesia dalam mengelola energi nuklir, dengan tetap memperhatikan kelestarian lingkungan hidup dan dampak yang mungkin timbul dari penggunaan energi nuklir untuk memenuhi kebutuhan energi nasional. Namun, dari hasil penelitian, terungkap bahwa penyertaan nuklir dalam RUU EBET tidak selaras dengan tujuan pembentukan RUU EBET itu sendiri, yang seharusnya bertujuan untuk meningkatkan penggunaan energi yang bersih dan terjangkau. Oleh karena itu, penting untuk menganalisis kesiapan Indonesia dalam mengadopsi penggunaan energi nuklir dengan cermat. Ini harus mempertimbangkan dampaknya terhadap lingkungan hidup, yang jika tidak diperhatikan dengan baik, dapat mengancam kehidupan masyarakat.

Kata kunci: energi; limbah; nuklir; regulasi.

ABSTRACT

Indonesia has a goal to promote the development of new and renewable energy through the drafting of the New and Renewable Energy draft Bill (RUU EBET). In the context of using nuclear energy as a source of power, there is a need for specific regulations to govern the use of nuclear energy. This is used as an indicator of Indonesia's readiness to manage nuclear energy while considering environmental sustainability and potential impacts from the use of nuclear energy to meet national energy needs. However, the results of the research have revealed that the inclusion of nuclear energy in the RUU EBET is not in line with the intended purpose of the RUU EBET itself, which should aim to enhance the use of clean and affordable energy. Therefore, it is important to carefully analyze Indonesia's readiness to adopt nuclear energy use. This analysis must take into account its environmental impact, which, if not carefully considered, could pose a threat to the lives of the population.

Keywords: energy; nuclear; waste; regulations.

PENDAHULUAN

Pembentukan Rancangan Undang-Undang mengenai Energi Baru dan Energi Terbarukan adalah salah satu upaya dari pemerintah untuk menciptakan ketentuan hukum yang jelas, terutama dalam penggunaan sumber energi. Dalam RUU ini, terdapat dua jenis energi yang diatur, yakni energi baru dan energi terbarukan. Energi baru dalam RUU EBET dijelaskan sebagai semua bentuk energi yang berasal dari teknologi baru dalam pengolahan sumber energi, termasuk sumber energi yang tidak terbarukan maupun yang terbarukan, seperti yang diuraikan dalam Pasal 1 RUU EBET. Sementara itu, energi terbarukan merujuk pada jenis energi yang dihasilkan dari sumber energi yang dapat diperbaharui atau yang mengikuti siklus reproduksi dan regenerasi alami sehingga ketersediaannya hampir tak terbatas.¹

Energi nuklir sebagai salah satu bentuk energi baru yang diatur dalam RUU ini, menjadi fokus utama dalam regulasi yang disusun oleh pemerintah. Penggunaan nuklir dalam kehidupan manusia memiliki sejarah yang panjang dalam perkembangan peradaban manusia. Tampilan bahwa peraturan energi nuklir lebih terperinci dibandingkan dengan energi lain dalam RUU ini mencerminkan usaha pemerintah untuk menekankan pentingnya energi nuklir dalam proses peralihan dari sumber energi berbasis bahan bakar fosil ke sumber-sumber energi yang ramah lingkungan dan tidak menghasilkan emisi karbon. Peralihan ini dipicu oleh dampak merusak lingkungan dari penggunaan energi fosil, seperti batu bara, yang mencakup perubahan dalam lanskap alam, penurunan kesuburan tanah, ancaman terhadap keragaman hayati, serta penurunan kualitas air, tanah, dan udara akibat pencemaran.² Atensi yang tinggi ini harus beriringan dengan kesiapan Indonesia dengan peraturan-peraturan yang mengatur tentang beberapa aspek penunjang pemanfaatan nuklir sebagaimana panduan *International Atomic Energy Agency* (IAEA) yang memuat aspek-aspek yang harus dipenuhi bagi negara yang ingin meratifikasinya aspek-aspek ini antara lain aspek keselamatan (*safety*), dimensi keamanan (*security*), tindak pengawasan (*safeguard*), tanggung jawab atas kerugian (*liability*).³

Energi nuklir sebelumnya sudah disebutkan dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) yang disahkan pada tahun 2017 dan berlaku hingga 2025. Dalam Peraturan Presiden (PERPRES) Nomor 22 Tahun 2017 mengenai Rencana Umum Energi Nasional, disebutkan bahwa pemanfaatan nuklir dapat dipertimbangkan dengan memperhatikan aspek keamanan pasokan energi nasional secara besar-besaran, pengurangan emisi karbon, serta prioritas terhadap potensi Energi Baru dan Energi Terbarukan (EBET). Selama ini, penggunaan energi nuklir terbatas pada keperluan kesehatan dengan tingkat penggunaan yang masih terbatas. Oleh karena itu, pengelolaan energi nuklir juga dapat dipertimbangkan karena menghasilkan emisi yang rendah dan memiliki potensi sebagai sumber energi baru, terutama karena keberlimpahan Sumber Daya Alam (SDA) yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan energi.⁴

Perencanaan ini, harus memenuhi beberapa aspek untuk mendukung pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), bila dibandingkan dengan tindakan yang diterapkan di negara lain.

¹ Draft Rancangan Undang-Undang Energi Baru dan Energi Terbarukan.

² Fitriyanti, Reno. 2016. "Pertambangan Batubara: Dampak Lingkungan, Sosial dan Ekonomi". *Jurnal Redoks* (1) 1: 36.

³ Phispal, Roberto. 2013. "Pengaturan Hukum Internasional atas Pemanfaatan Tenaga Nuklir dan Dampak Lingkungan yang Mungkin Ditimbulkan". *Lex et Societatis* (1) 5: 123.

⁴ Perpres No 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional.

Misalnya, di Amerika Serikat, badan yang merencanakan PLTN harus memenuhi standar keamanan dan keselamatan yang telah disetujui oleh pemerintah federal. Selain itu, keterlibatan masyarakat dalam pembangunan PLTN harus sejalan dengan upaya penyuluhan dan sosialisasi mengenai PLTN itu sendiri.

Upaya memitigasi, Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) Jawa Tengah menunjukkan bahwa potensi terjadinya tsunami di pantai utara Jawa relatif rendah, dikarenakan berbagai faktor seperti angin, tinggi gelombang, dan aktivitas lempeng bumi di sekitar lokasi memiliki kemungkinan kecil untuk menyebabkan tsunami, sebagaimana terjadi di Fukushima. Untuk mencegah kejadian-kejadian yang tidak terkait dengan bencana alam (*force majeure*), *International Atomic Energy Agency* (IAEA) menetapkan sejumlah aspek yang harus dipenuhi oleh negara dalam pengelolaan energi nuklir. Selain itu, Pasal 10 Konvensi tentang Keselamatan Nuklir juga mengatur bahwa setiap pihak wajib mengambil langkah-langkah yang tepat untuk memastikan bahwa semua organisasi yang terlibat dalam kegiatan yang berkaitan dengan instalasi nuklir harus menetapkan kebijakan yang menempatkan keselamatan nuklir sebagai prioritas utama.⁵

Konvensi ini telah diratifikasi oleh Indonesia pada tanggal 20 September 1994 beriringan dengan berlakunya KEPPRES Nomor 106 Tahun 2001 tentang pengesahan konvensi keselamatan nuklir.⁶ Dalam konvensi tersebut dijelaskan bahwa tujuan utama pembuatan peraturan ini adalah untuk mencegah kejadian insiden dan mengurangi kemungkinan terjadinya insiden dalam pengelolaan energi nuklir.⁷

Dalam penelitian ini, penulis akan membahas secara lebih mendalam mengenai kesiapan Indonesia dalam mengatur penggunaan energi nuklir sebagai suatu negara dalam memitigasi dampak terhadap aspek-aspek lingkungan hidup dan bagaimana regulasi di Indonesia dapat mengatasi permasalahan hukum lingkungan yang timbul dari penggunaan energi nuklir.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penulisan skripsi ini bersifat yuridis normatif yang menginventarisir peraturan hukum positif yang berlaku di Indonesia dan teori serta asas yang dikemukakan oleh para ahli hukum yang diidentifikasi secara kritis-analitis yang selanjutnya akan diklasifikasikan secara logis-sistematis dan bertujuan untuk menemukan asas dan doktrin dari hukum positif yang berlaku.

PEMBAHASAN

Kesiapan Regulasi di Indonesia dalam Mengatur Teknis Pengelolaan Energi Nuklir

Dalam pengaturan pemanfaatan energi nuklir terdapat prinsip yang mendasari peraturan pemanfaatan energi nuklir. Hal-hal ini merupakan hal-hal teknis dan non teknis yang menunjang keberlangsungan pemanfaatan dan pengembangan energi nuklir. Secara umum prinsip-prinsip ini berkaitan dengan

⁵ Siregar, Naek. 2011. "Analisis Yuridis Tanggung Jawab Negara terhadap Dampak Radiasi Nuklir Menurut Hukum Internasional (Studi Kasus Radiasi Nuklir Jepang Pasca Gempa dan Tsunami)". *Fiat Justisia: Jurnal Ilmu Hukum* (5) 2: 4.

⁶ Keputusan Presiden Nomor 106 Tahun 2001 tentang Pengesahan Convention on Nuclear Safety (Konvensi tentang Keselamatan Nuklir).

⁷ *Convention on Nuclear Safety 1994*.

keselamatan dan keamanan nuklir, yang meliputi:⁸

Pertama, Prinsip Keselamatan (Safety Principle). Prinsip keselamatan adalah prinsip yang paling dasar, karena keselamatan selalu terkait dengan prinsip-prinsip lainnya. Dalam pembicaraan mengenai keselamatan nuklir, perhatian utama adalah pada risiko kemungkinan terjadinya kecelakaan nuklir. Ini dapat diatasi dengan mempertimbangkan lokasi situs PLTN yang berisiko terhadap bencana alam dan kemungkinan insiden lainnya.

Prinsip keselamatan dalam regulasi energi nuklir tidak hanya mencakup mitigasi risiko dan manajemen teknis situs PLTN. Hal ini juga mencakup lisensi dan persyaratan kualifikasi bagi sumber daya manusia yang dipekerjakan oleh pengelola situs, yang harus memenuhi standar tertentu untuk mencapai tujuan dari pengelolaan energi nuklir dan untuk mengurangi risiko terjadinya kecelakaan.⁹

Kedua, Prinsip Keamanan (Security Principle). Dalam menyusun rancangan peraturan mengenai pemanfaatan energi nuklir harus melibatkan prinsip keamanan pemanfaatan energi nuklir untuk tujuan perdamaian. Hal ini meliputi kapasitas kepemilikan material, pengangkutan material radioaktif, dan pengelolaan produk samping dari pengolahan uranium yang berupa plutonium diatur agar penggunaan plutonium ini bukan digunakan untuk keperluan senjata. Hal ini bisa berdampak pada perdamaian politik internasional jika suatu negara memiliki persenjataan nuklir.¹⁰

Indonesia sendiri yang batas wilayahnya berbatasan langsung dengan negara yang tidak memiliki alutsista nuklir dapat memantik konflik dari negara lain. Hal ini dapat terjadi apabila Indonesia benar-benar memiliki alutsista nuklir. Di lain sisi plutonium ini sendiri dapat dijadikan sebagai bahan bakar pesawat ruang angkasa yang bisa mendukung kemajuan teknologi di suatu negara.

Ketiga, Prinsip Pertanggungjawaban (Responsibility Principle). Prinsip Pertanggungjawaban adalah prinsip yang menegaskan bahwa dalam pengembangan energi nuklir, konstruksi fasilitas, dan dampak negatif dari kejadian nuklir harus diberikan tanggung jawab kepada entitas yang diatur dalam penyusunan peraturan ini. Dampak negatif nuklir ini dapat memengaruhi baik lingkungan alam maupun masyarakat, karena melibatkan bahan radioaktif yang dapat menimbulkan kerusakan dan melampaui standar kualitas lingkungan hidup.¹¹

Keempat, Prinsip Perizinan (Permission Principle). Prinsip perizinan dalam penyusunan peraturan mengenai energi nuklir adalah prinsip yang digunakan untuk menentukan kemampuan dalam mengelola energi nuklir. Dalam peraturan ini, terdapat beberapa aspek izin yang harus dicakup, seperti izin untuk mendirikan fasilitas, sertifikasi, lisensi, dan persetujuan pemerintah terkait dampaknya pada lingkungan hidup.¹²

Kelima, Prinsip Pengendalian Berkelanjutan (Continuous control Principle). Prinsip ini adalah prinsip dalam suatu peraturan yang menetapkan bahwa pengembangan dan pengelolaan energi nuklir harus dipantau dan diatur oleh sebuah lembaga yang dibentuk sesuai dengan peraturan tersebut. Oleh karena itu,

⁸ Stoiber, Carlton, *et.al.* 2003. "Handbook on nuclear law", Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency. hlm 3-4.

⁹ *Ibid.* hlm 5-6.

¹⁰ *Ibid.* hlm 6.

¹¹ *Ibid.* hlm 7.

¹² *Ibid.* hlm 7-8.

dalam penyusunan peraturan ini, perlu mencakup ketentuan dan pembatasan terkait dengan wewenang lembaga tersebut untuk mencegah penyalahgunaan wewenang yang diberikan kepada lembaga terkait.¹³

Dalam prinsip ini, perlu memperhatikan regulasi yang mengatur kewenangan yang diberikan dan batasannya. Hal ini penting untuk mencegah potensi tindakan korupsi yang dapat dilakukan oleh mereka yang memegang wewenang. Selain itu, tindakan sewenang-wenang dapat berdampak pada faktor keselamatan yang sangat krusial dalam pengelolaan dan penggunaan energi nuklir.

Keenam, Prinsip Kompensasi (*Compensation Principle*). Dalam aspek teknis ketenaganukliran, terdapat faktor-faktor yang berpotensi menimbulkan risiko kerusakan signifikan terhadap individu, harta benda, dan lingkungan. Karena upaya pencegahan tidak selalu dapat sepenuhnya menghindari kemungkinan kerusakan tersebut, peraturan ketenaganukliran harus mencakup persyaratan bahwa negara-negara perlu mengambil tindakan atau langkah-langkah untuk memberikan kompensasi yang memadai dalam kasus terjadinya insiden atau kecelakaan nuklir.¹⁴

Ketujuh, Prinsip Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable development Principle*). Instrumen hukum di bidang lingkungan mengamanatkan setiap generasi untuk tidak memberikan beban kepada generasi berikutnya. Prinsip yang dimaksud adalah bahwa pertumbuhan ekonomi dan sosial hanya dapat berkelanjutan jika lingkungan dilindungi dari kerusakan. Dalam konteks nuklir, perlu ada pendekatan khusus karena beberapa materi fisik dan sumber radiasi pengion memiliki potensi risiko kesehatan, keselamatan, dan lingkungan yang berlangsung untuk jangka waktu yang sangat panjang.

Namun, sifat yang tahan lama dari materi-materi ini membuat sulit untuk menentukan langkah-langkah yang harus diambil saat ini untuk melindungi generasi di masa depan, terutama karena masa depan sulit diprediksi. Salah satu pendekatan dalam menerapkan prinsip pembangunan berkelanjutan di bidang nuklir adalah dengan mendorong generasi saat ini untuk melakukan segala yang mereka bisa untuk memastikan keselamatan jangka panjang, tetapi tanpa menutup kemungkinan untuk generasi mendatang.¹⁵

Kesembilan, Prinsip Kepatuhan (*Compliance Principle*). Energi nuklir membawa risiko khusus terkait kontaminasi radiologis yang dapat melintasi batas negara. Ini mendorong perkembangan instrumen hukum bilateral dan multilateral, baik dalam skala regional maupun global, untuk mengatur isu-isu yang berkaitan dengan energi nuklir. Sejauh mana suatu negara mematuhi hukum internasional yang relevan, hukum nuklir dalam negara tersebut harus mencerminkan kewajiban yang diatur dalam instrumen internasional.

Subjek hukum nuklir terus berkembang sebagai hasil dari berbagai instrumen internasional yang mengatur konsekuensi dan kewajiban terkait dengan penggunaan teknologi nuklir. Oleh karena itu, negara-negara yang merupakan pihak dalam instrumen-instrumen tersebut harus mencerminkan konsekuensi dan kewajiban tersebut dalam undang-undang mereka di bidang ketenaganukliran.¹⁶

¹³ *Ibid.* hlm 8.

¹⁴ *Ibid.*

¹⁵ *Ibid.*, hlm 8-9.

¹⁶ *Ibid.*, hlm 9.

Kesepuluh, Prinsip Independensi (*Independence Principle*). Undang-undang yang mengatur bidang ketenaganukliran harus memberikan perhatian khusus pada pendirian lembaga yang memiliki otoritas khusus. Keputusan yang berkaitan dengan masalah keselamatan harus dilakukan tanpa campur tangan dari pihak-pihak lain yang terlibat dalam pengembangan atau penyebaran energi nuklir. Hal ini sangat penting mengingat risiko besar yang terkait dengan energi nuklir.

Kepentingan lain di luar aspek keselamatan nuklir harus tunduk pada evaluasi independen dan penilaian oleh para ahli dari lembaga tersebut ketika menilai hal-hal yang berkaitan dengan keselamatan nuklir.¹⁷

Kesebelas, Prinsip Transparansi (*Transparency Principle*). Pada awalnya, penggunaan energi nuklir dimulai dalam konteks militer selama Perang Dunia II.¹⁸ Pada periode ini dan untuk beberapa waktu sesudahnya, informasi tentang bahan dan teknologi nuklir dianggap sangat rahasia dan dilarang diakses oleh publik, media, badan legislatif, dan pihak-pihak lainnya.

Namun, seiring perkembangan penggunaan energi nuklir untuk tujuan damai, pemahaman dan kepercayaan publik terhadap teknologi ini menuntut agar semua pihak, termasuk publik, media, badan legislatif, dan berbagai pemangku kepentingan, diberikan informasi yang komprehensif mengenai risiko dan manfaat dari berbagai aspek terkait energi nuklir. Ini mencakup aspek teknis ketenaganukliran serta dampaknya pada pembangunan ekonomi dan sosial. Prinsip transparansi mewajibkan bahwa badan-badan yang terlibat dalam pengembangan, penggunaan, dan pengaturan energi nuklir harus memberikan semua informasi yang relevan tentang bagaimana energi nuklir digunakan, terutama dalam hal insiden yang dapat memengaruhi kesehatan, keselamatan, dan lingkungan masyarakat.¹⁹

Keduabelas, Prinsip Kerja sama Internasional (*International co-operation Principle*) Prinsip ini berkaitan dengan kebutuhan dalam hal teknis dan pengawasan kegiatan ketenaganukliran untuk memelihara hubungan yang erat dengan Negara lain dan dalam organisasi internasional yang berkaitan dengan bidang energi nuklir. Dari kacamata hukum internasional energi nuklir didasarkan pada beberapa faktor, yaitu a) Pengaruh terhadap lingkungan, termasuk potensi dampak lintas batas, mengharuskan pemerintah untuk berkoordinasi dalam menyusun kebijakan dan program kerja sama untuk mengurangi risiko bagi warganegara dan wilayah. Oleh karena itu, kegiatan dalam bidang ketenaganukliran perlu disosialisasikan secara luas dalam masyarakat, terutama dalam konteks keselamatan; b) Penggunaan bahan nuklir dapat menimbulkan risiko keamanan yang melintasi batas negara. Ancaman teroris dan perdagangan gelap bahan nuklir merupakan masalah yang memerlukan perhatian khusus; c) Hukum internasional telah mengatur kewajiban negara-negara dalam bidang ketenaganukliran. Selain mematuhi kewajiban ini dengan itikad baik, pemerintah juga harus mematuhi ketentuan dalam berbagai peraturan hukum internasional yang relevan, sehingga peraturan nasional dapat disusun dengan berdasarkan landasan yang kuat; dan d) Industri ketenaganukliran melibatkan banyak negara, dengan pergerakan bahan dan peralatan nuklir yang melintasi

¹⁷ *Ibid.*, hlm 9-10.

¹⁸ Fautngiljanan, Johrdan. 2023. "Energi Nuklir dalam Net Zero Emission Indonesia: Tinjauan Terhadap Peraturan Perundang-Undangan Ketenaganukliran di Indonesia". *LITRA: Jurnal Hukum Lingkungan, Tata Ruang dan Agraria* (2) 2: 148.

¹⁹ *Ibid.*, hlm 10.

batas negara. Oleh karena itu, pengendalian yang efektif memerlukan pendekatan yang paralel dan kerja sama yang kuat dari semua pihak yang terlibat.²⁰

Pengaruh Limbah PLTN pada Kehidupan Manusia

Pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) menghasilkan paparan radiasi ke lingkungan sekitarnya, dan terdapat berbagai pandangan ilmuwan tentang dampaknya. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa ada peningkatan jumlah pasien kanker di daerah sekitar PLTN, dan paparan radiasi dalam jangka waktu panjang dapat merusak dan mengganggu DNA. Dampaknya terhadap tanaman, hewan liar, dan lapisan ozon masih belum pasti, dan penelitian sedang dilakukan untuk memahami besarnya dampak radiasi rendah terutama pada lingkungan.

Namun, pemendaman limbah ini masih menimbulkan beberapa masalah. Saat limbah diangkut oleh truk besar, ada potensi kecelakaan yang dapat menyebabkan tumpahan limbah radioaktif. Masalah lain adalah potensi kebocoran dari tong tempat limbah dikubur. Hingga saat ini, belum ada solusi yang nyata terkait dengan masalah limbah radioaktif ini, dan banyak ilmuwan merasa bahwa pembangunan dan perkembangan PLTN dapat memiliki dampak berbahaya jika masalah pembuangan limbah radioaktif tidak terselesaikan.

Dalam penggunaan tenaga nuklir, sistem kondensor digunakan untuk mengeluarkan energi panas. Jumlah energi panas yang dilepaskan bervariasi tergantung pada komponen yang digunakan dalam PLTN, tetapi secara umum, sekitar 60% hingga 70% dari energi panas ini dilepaskan dalam lingkungan. Terdapat dua jenis limbah yang dihasilkan dalam operasional PLTN, yaitu limbah aktivitas tinggi dan limbah aktivitas rendah, dengan bahan bakar bekas PLTN termasuk dalam kelompok limbah aktivitas tinggi.²¹

Beberapa pembangkit listrik nuklir menggunakan *cooling towers*, sementara yang lain menggunakan air dalam jumlah besar, seperti danau buatan atau danau dan sungai alami. Penggunaan danau dan sungai alami ini memiliki dampak langsung pada ekosistem air. Dalam beberapa kasus, energi panas yang dilepaskan ke dalam air dapat menyebabkan fluktuasi dalam sungai dan dampak lainnya.

Ilmuwan telah menghitung potensi dampak negatif yang akan terjadi dalam skenario perang atau ledakan yang melibatkan energi nuklir. Asap hitam yang dihasilkan oleh energi nuklir ini akan naik ke atmosfer dan dapat menghalangi sinar matahari mencapai permukaan bumi, menyebabkan kondisi gelap. Tanpa paparan sinar matahari, tumbuhan tidak dapat melakukan fotosintesis dan akan mati secara perlahan. Kematian tumbuhan ini akan mengganggu ekosistem manusia dan hewan, berpotensi menyebabkan kelaparan massal.

Bahkan ledakan nuklir dalam skala kecil telah dispekulasikan dapat merusak lapisan ozon, mempersingkat musim panas, meningkatkan suhu, dan berkontribusi pada pemanasan global. Asap hitam yang mencapai atmosfer atas akan menyerap cahaya matahari dan menyebabkan penurunan suhu global. Hal ini dapat menyebabkan periode iklim dingin yang panjang di seluruh dunia, dengan suhu rata-rata turun

²⁰ *Ibid.*, hlm 10-11.

²¹ Santoso, Gangsar. 2013. "Studi Pengelolaan Limbah Radioaktif Padat Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir". *Buletin Limbah* (8) 2: 13.

sekitar 1,25 derajat Celsius. Suhu ini lebih dingin daripada masa glasial dan akan menjadi salah satu perubahan iklim terbesar dalam sejarah manusia.²²

Sebelumnya, Indonesia telah memiliki peraturan dan regulasi yang berkaitan dengan penggunaan energi nuklir. Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang energi mencantumkan bahwa energi nuklir harus dimanfaatkan sebesar-besarnya untuk kemakmuran rakyat dalam pasal 4 ayat (1). Selanjutnya, peraturan yang lebih rinci diatur dalam Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran. Undang-undang ini mengatur lembaga yang terlibat, kebijakan pengelolaan, serta ketentuan sanksi atas pelanggaran.

Namun, dalam praktiknya, penggunaan nuklir di Indonesia baru diterapkan dengan skala kecil untuk kepentingan kesehatan, terutama di rumah sakit. Nuklir digunakan untuk keperluan praktik medis dan penelitian dalam ilmu kedokteran nuklir.²³

RUU EBET yang merupakan Program Legislasi Nasional Prioritas (Prolegnas) 2023 diharapkan menjadi peraturan yang dapat menjadi peraturan payung mengenai energi baru dan energi terbarukan. Hal ini dikarenakan urgensi untuk mendorong pembangunan berkelanjutan terutama di bidang energi. Pembentukan peraturan ini juga harus memperhatikan asas-asas yang harus diperhatikan dalam membentuk peraturan yang baik pada Undang-Undang Nomor 12 Tahun 2011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-Undangan yaitu a) Kejelasan Tujuan; b) Kelembagaan atau Pejabat Pembentuk yang Tepat; c) Kesesuaian antara Jenis, Hierarki, dan Materi Muatan; d) Kedayagunaan dan Kehasilgunaan; e) Kejelasan Rumusan; dan f) Keterbukaan

Indonesia memiliki cadangan bahan baku tenaga nuklir yang cukup besar dan telah dinilai siap oleh IAEA untuk menggunakan nuklir sebagai sumber energi. Sebuah survei pendapat masyarakat mengenai penggunaan energi nuklir dilakukan antara tahun 2010 hingga 2016. Survei ini melibatkan sekitar 3.000-4.000 responden yang tersebar di berbagai provinsi, dengan *margin of error* sekitar +/- 1,8% pada tingkat kepercayaan sebesar 95,0%. Metode pengambilan sampel yang digunakan adalah kombinasi *multistage random sampling* dan *simple random sampling*. Hasil survei menunjukkan bahwa tingkat dukungan masyarakat secara nasional terhadap penggunaan energi nuklir selama tiga tahun terakhir berada di atas 70%, meskipun terdapat fenomena tertentu yang terjadi di Bangka-Belitung.²⁴

Hasil survei pendapat masyarakat ini menekankan perlunya Indonesia menyusun peraturan yang khusus mengatur penggunaan energi baru dan energi terbarukan, terutama energi nuklir. Oleh karena itu, pembentukan peraturan tersebut harus melibatkan berbagai pihak yang memiliki kewenangan dalam menyusun dan merumuskan peraturan yang mendukung perkembangan energi nuklir sesuai dengan RUU EBET. Lebih lanjut, aspek kelembagaan perlu diatur secara rinci, termasuk tugas dan wewenangnya dalam pengembangan energi nuklir.

²²Hukamnas. *Dampak Nuklir Terhadap Lingkungan Hidup*. Accessed September 26, 2022, <https://hukamnas.com/dampak-nuklir-terhadap-lingkungan>.

²³Hanafiah, Aang. 2013. "Perkembangan IPTEK Nuklir Bidang Kesehatan di Indonesia". *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi* (4) 2: 120.

²⁴Wisnubroto, D. S. et. al. 2019. "Public opinion survei on nuclear energy in Indonesia: Understanding public perception on nuclear power plant program", *In AIP Conference Proceedings*, (2180) 1: 3.

PLN memiliki peran sentral dalam distribusi listrik, terlepas dari sumber energi yang digunakan. Peran PLN tidak hanya sebatas mendistribusikan listrik secara merata di seluruh Indonesia, tetapi juga dalam menentukan tarif listrik yang harus dibayarkan oleh masyarakat. Energi nuklir dianggap memiliki potensi untuk menekan tarif listrik karena secara matematis menghasilkan jumlah energi listrik yang jauh lebih besar daripada energi fosil. Hal ini dijelaskan oleh Direktur Jenderal BATAN dalam upacara pembukaan loka karya reaktor dan juga dalam upaya untuk meningkatkan pemahaman publik tentang energi nuklir.²⁵

Dalam rangka mengatur penggunaan energi nuklir, perlu dibentuk Majelis Tenaga Nuklir yang memiliki tanggung jawab merancang, merumuskan, menetapkan, dan mengelola program tenaga nuklir nasional. Komposisi dari Majelis Tenaga Nuklir ini harus mencakup seluruh aspek yang berkaitan dengan ketenaganukliran, seperti akademisi, ahli ketenaganukliran, dan perwakilan masyarakat, dengan perbandingan yang sesuai.

Selanjutnya, untuk mengawasi berbagai aspek ketenaganukliran, perlu ada pembentukan Badan Pengawas Tenaga Nuklir. Badan ini memiliki tugas mengawasi segala kegiatan yang terkait dengan ketenaganukliran. Badan Pengawas Tenaga Nuklir memiliki wewenang untuk membentuk skema dan memberikan izin pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) serta penambangan bahan baku tenaga nuklir. Selain itu, Badan Pengawas Tenaga Nuklir juga harus secara berkala mengawasi kegiatan ketenaganukliran dari semua pihak yang terlibat.

Penting untuk dicatat bahwa Undang-Undang Ketenaganukliran juga mensyaratkan pemisahan antara badan pengawas (BAPETEN) dan badan pelaksana (BRIN). Dalam UU Ketenaganukliran, BRIN berfungsi sebagai pelaksana, sedangkan BAPETEN berfungsi sebagai pengawas. Dasar hukum dari pembentukan BAPETEN ini diatur dalam Keputusan Presiden Republik Indonesia No. 76 Tahun 1998 yang diterbitkan pada tanggal 19 Mei 1998. Dalam menjalankan fungsinya, BAPETEN melaksanakan berbagai tugas, termasuk perumusan kebijakan nasional dalam bidang pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir, penyusunan peraturan, pengkajian terkait keselamatan nuklir, keselamatan radiasi, dan pengamanan bahan nuklir, serta perizinan dan inspeksi terhadap reaktor nuklir, instalasi nuklir, fasilitas bahan nuklir, dan sumber radiasi. BAPETEN juga bertanggung jawab untuk membina sumber daya manusia di bidang ketenaganukliran serta menjalankan beberapa fungsi lainnya yang diberikan oleh Presiden diantaranya a) Perumusan Kebijaksanaan Nasional di bidang pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir, penyusunan rencana dan program nasional di bidang pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir; b) Pembinaan dan penyusunan peraturan serta pelaksanaan pengkajian keselamatan nuklir, keselamatan radiasi, dan pengamanan bahan nuklir; c) Pelaksanaan perizinan dan inspeksi terhadap pembangunan dan pengoperasian reactor nuklir, instalasi nuklir, fasilitas bahan nuklir, dan sumber radiasi serta pengembangan kesiapsiagaan nuklir; d) Pelaksanaan kerja sama di bidang pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir dengan instansi Pemerintah atau organisasi lainnya baik di dalam maupun di luar wilayah Indonesia; e) Pelaksanaan pengawasan dan

²⁵Budi, Sudarsono. 1976. "Kecenderungan Ongkos Pembangkitan Listrik PLTN Serta Pembangkit Lainnya". In: *Proceeding Lokakarya Keselamatan Reaktor dan Segi Humasnya*, hlm. 11-21.

pengendalian bahan nuklir; f) Pelaksanaan bimbingan dan penyuluhan terhadap upaya yang menyangkut keselamatan dan kesehatan pekerja, anggota masyarakat dan perlindungan terhadap lingkungan hidup; g) Pelaksanaan pembinaan sumber daya manusia di lingkungan BAPETEN; h) Pelaksanaan pembinaan administrasi, pengendalian dan pengawasan di lingkungan BAPETEN; dan i) Pelaksanaan tugas lain yang diberikan oleh Presiden.

Mengatasi Permasalahan Hukum Lingkungan yang Timbul dari Penggunaan Energi Nuklir

Dalam melakukan pengembangan dan pengelolaan energi selalu berkaitan dengan hal-hal mengenai mitigasi akan adanya insiden yang terjadi maupun kemungkinan akan terjadinya kerusakan yang ditimbulkan akibat kegiatan pengembangan dan pengelolaan energi nuklir. Masalah lingkungan dapat disebabkan dari berbagai macam sumber, yaitu *pertama*, faktor alam. Penggunaan energi nuklir memang memiliki risiko terkait dengan faktor alam, terutama di wilayah yang rawan bencana alam seperti Indonesia. Kejadian di Jepang, pada 11 Maret 2011 adalah contoh nyata bagaimana gempa bumi dan tsunami dapat menyebabkan kecelakaan nuklir serius.

Kecelakaan nuklir Fukushima Daiichi terjadi setelah gempa bumi Tōhoku yang kuat (magnitudo 9,0 skala Richter) disusul oleh gelombang tsunami yang menghantam pembangkit listrik tenaga nuklir Fukushima. Serangkaian kegagalan peralatan di beberapa unit pembangkit nuklir Fukushima menyebabkan pelepasan bahan radioaktif ke atmosfer dan laut. Dampak dari pelepasan radioaktif tersebut mencemari lingkungan dan berdampak sangat serius.²⁶

Kecelakaan ini diklasifikasikan sebagai level 7 (kecelakaan besar) dalam *International Nuclear and Radiological Event Scale* (INES), yang menunjukkan tingkat kecelakaan nuklir paling serius. Radiasi dan konsentrasi isotop yang signifikan dilepaskan ke lingkungan selama kecelakaan tersebut, yang berdampak pada kesehatan masyarakat dan lingkungan hidup. Contoh bagaimana faktor alam, seperti gempa bumi dan tsunami, dapat menjadi risiko besar dalam pengoperasian pembangkit nuklir, terutama di wilayah-wilayah yang rawan terhadap bencana alam. Oleh karena itu, peraturan dan tindakan pencegahan yang ketat diperlukan untuk mengurangi risiko.²⁷

Kedua, faktor manusia. Anda benar, pengelolaan energi nuklir dapat menyebabkan pencemaran lingkungan akibat pelepasan limbah radioaktif. Pada dasarnya, pembangkit nuklir menghasilkan limbah radioaktif yang harus dikelola dengan sangat hati-hati. Kecelakaan nuklir, seperti yang terjadi di Fukushima, dapat menyebabkan pelepasan limbah radioaktif yang berdampak pada lingkungan. Kasus di Fukushima menunjukkan bahwa pelepasan limbah radioaktif ke laut dapat mencemari perairan dan berdampak melintasi batas perairan negara lainnya, termasuk Indonesia. Oleh karena itu, pengelolaan limbah radioaktif harus diatur dengan ketat, dan tindakan pencegahan harus diambil untuk mengurangi dampak yang mungkin terjadi pada lingkungan dan masyarakat.

Setelah kecelakaan Fukushima Daiichi, pemerintah Jepang telah mengembangkan kembali skema

²⁶Hajriyanti. 2022. "Analisis Mengenai Keputusan Pemerintah Jepang Dalam Pembuangan Air Radioaktif Fukushima terhadap Hukum Lingkungan Internasional", *LITRA: Jurnal Hukum Lingkungan, Tata Ruang dan Agraria* (1) 2: 272.

²⁷Thielen, Harald. 2012. "The Fukushima Daiichi nuclear accident-an overview". *Health physics* (103) 2: 169.

pengelolaan energi nuklir dengan mengoperasikan robot untuk menghindari paparan radiasi kepada manusia. Penggunaan robot jarak jauh bertujuan untuk mengurangi risiko kontaminasi radioaktif dan melindungi nyawa manusia dalam keadaan darurat nuklir di masa depan. Pengembangan teknologi dan metode yang lebih aman dalam pengelolaan dan dekomisioning pembangkit nuklir adalah langkah yang sangat penting dalam menjaga keselamatan dan lingkungan.²⁸

Pelepasan limbah dari proses dekomisioning reaktor nuklir Fukushima yang mencakup zat berbahaya seperti kadmium, timbal, merkuri, seng, dan berilium, serta kandungan radioaktif adalah masalah serius. Pencemaran ini dapat memiliki dampak signifikan pada lingkungan laut, organisme laut, dan masyarakat yang bergantung pada sumber daya laut. Pelepasan zat berbahaya seperti kadmium, timbal, merkuri, seng, berilium, dan kandungan radioaktif dapat mencemari air laut dan ekosistem laut, dengan potensi kerusakan pada organisme laut dan rantai makanan laut. Selain itu, dampaknya juga dapat melintasi batas perairan ke negara lain yang berbatasan dengan Laut Jepang, termasuk negara-negara di kawasan Asia Timur.

Ketika menghadapi limbah radioaktif dari proses dekomisioning reaktor nuklir, penting untuk menerapkan protokol pengelolaan limbah yang ketat, mengikuti standar internasional, dan bekerja sama dengan komunitas internasional untuk mengurangi dampak yang merugikan bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Hal ini menunjukkan perlunya perhatian serius terhadap pengelolaan limbah nuklir dan perlindungan lingkungan laut secara global.²⁹

Dampak dari dekomisioning ini bukan hanya merusak lingkungan sekitar laut Jepang saja namun hingga lintas batas negara mencakup laut China selatan bahkan hingga wilayah perairan Indonesia di bagian selatan dan wilayah perairan Rusia di bagian utara.³⁰

Dalam pengelolaan energi erat kaitannya dengan permasalahan lingkungan hidup. Dari proses perencanaan hingga konversi energi menjadi listrik yang didistribusikan ke masyarakat selalu memiliki dampak terhadap lingkungan hidup. Oleh karena itu melakukan mitigasi permasalahan hukum yang dapat ditimbulkan dalam pengembangan energi nuklir perlu dilakukan sehingga dapat menciptakan kepastian hukum jika dalam proses pengembangan energi nuklir dihadapkan pada permasalahan hukum lingkungan. Hal yang harus dilakukan adalah menyusun regulasi dalam setiap sektoral kegiatan ketenaganukliran. Penulis membagi kegiatan ketenaganukliran menjadi beberapa tahap yaitu :

Ketiga, perencanaan tapak. Dalam perencanaan tapak PLTN harus dilakukan evaluasi wilayah tapak dari berbagai macam hal seperti kegempaan, kegunungapian, geoteknik, meteorologi, hidrologi, ulah manusia, dan dispersi zat radioaktif.³¹ Regulasi yang disusun harus berdasarkan hasil dari evaluasi setiap faktor ini.

²⁸ Kawabata, Kuniaki. 2020. "Toward technological contributions to remote operations in the decommissioning of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station". *Japanese Journal of Applied Physics* (59) 5: 1.

²⁹ Paluszkiwicz, T., et. al. 1998. *Radionuclide and other marine pollution in the Sea of Japan*. No. IAEA-SM., hlm. 354.

³⁰ Champ, Michael A., et. al. 1997. "Assessment of the impact of nuclear wastes in the Russian Arctic". *Marine pollution bulletin* (35) 7-12: 203.

³¹ Pelatihan Peraturan Perundang-Undangan Bidang Instalasi Tenaga Nuklir, Bandung, 21 Juni 2023.

Keempat, Penambangan bahan baku. Dalam pengelolaan energi nuklir membutuhkan bahan baku tambang berupa uranium dan torium.³² Kedua hasil tambang ini harus diatur oleh suatu regulasi yang mengatur berkaitan dengan masa penambangan serta kapasitas penambangan dengan tujuan kelestarian lingkungan hidup.

Kelima, Transportasi dan pengangkutan bahan baku. Perpindahan bahan baku tambang yang memiliki kandungan radioaktif harus diatur dalam suatu regulasi yang memayungi penggunaan tenaga nuklir.³³ Hal ini dikarenakan perpindahan bahan baku radioaktif rawan terjadi kecelakaan sehingga perlu adanya peraturan serta standarisasi sarana dan prasarana yang dapat menjamin keselamatan nuklir;

Keenam, Komisioning. Komisioning atau pengoperasian PLTN merupakan tanggung utama dalam pengelolaan nuklir sebagai energi yang membutuhkan porsi lebih besar mengenai peraturan dan ketentuan yang mengatur pengoperasian PLTN. Hal ini dikarenakan intensitas kegiatan ketenaganukliran yang tinggi dalam proses komisioning dapat menyebabkan potensi terancamnya keselamatan nuklir di PLTN. Di samping itu zat yang dilepaskan ke udara juga perlu diatur mengenai kandungannya sehingga lingkungan hidup dapat terjaga dikarenakan zat lepasan udara yang dilepaskan ke udara dengan intensitas yang tinggi;

Ketujuh, dekomisioning. Dekomisioning merupakan kegiatan berkala yang dilakukan dalam jangka waktu tertentu untuk melepaskan limbah radioaktif padat tingkat rendah.³⁴ Dengan dilepaskannya limbah padat ini batas pencemaran dari dekomisioning harus diatur mengenai pengelolaan yang harus dilalui serta ketentuan hukum mengenai pelanggaran jika terjadi terlampauinya baku mutu lingkungan hidup.

Pentingnya pengaturan aspek non-teknis dalam keselamatan nuklir, termasuk tindakan manusia dan potensi tindak korupsi yang dapat mengancam keselamatan nuklir. Ini adalah pandangan yang sangat relevan dan penting dalam pengelolaan energi nuklir. Keselamatan nuklir melibatkan peraturan yang komprehensif yang mencakup aspek teknis dan non-teknis, serta mengingatkan pentingnya kepatuhan terhadap peraturan dan standar yang ada. Pengaturan dan hukum yang kuat terkait dengan energi nuklir sangat penting untuk menjaga keselamatan dan mencegah penyalahgunaan. Selain itu, mengatur ketentuan pidana yang jelas dalam RUU EBET (Rancangan Undang-Undang Energi Baru dan Terbarukan) adalah langkah penting untuk mencegah tindakan kriminal yang dapat mengancam keselamatan nuklir dan keberlanjutan energi.

Selain energi nuklir, sumber energi terbarukan seperti energi angin, air, panas bumi, dan tenaga surya memainkan peran penting dalam upaya untuk mencapai sumber energi bersih dan berkelanjutan. Pengembangan dan implementasi teknologi energi terbarukan adalah langkah positif menuju pemenuhan tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs) dan mengurangi ketergantungan pada sumber daya energi fosil yang tidak berkelanjutan. Hal ini menunjukkan pentingnya peraturan dan undang-undang yang kuat untuk mengelola berbagai jenis energi dan menjaga keselamatan serta keberlanjutan dalam memenuhi kebutuhan

³²Ngadenin, Ngadenin, *et.al.* 2014. "Potensi Thorium dan Uranium di Kabupaten Bangka Barat". *Eksplorium* (35) 2: 69.

³³Barnett, M. O., *et.al.* 2000. "Adsorption and transport of uranium (VI) in subsurface media". *Soil Science Society of America Journal* (64) 3: 910.

³⁴Tomo, Bung, dan Irwan Santoso. 2013. "Pengolahan Limbah Radioaktif Padat Hasil Dekomisioning Fasilitas Instalasi Pemurnian Asam Fosfat Petrokimia Gresik". *Buletin Limbah* (13) 1: 17.

energi masyarakat.³⁵

Sektor energi dunia memberdayakan konsumsi energi, memunculkan pilihan-pilihan baru dalam mengonsumsi dan mengelola penggunaan energi mereka. Dari banyaknya pilihan ini menciptakan suatu teori untuk mengukur tingkatan energi di suatu negara yaitu *Energy trilemma* yang membagi 3 (tiga) faktor penilaian sebagai berikut:³⁶ a) *Energy Security*, merupakan upaya untuk mencapai keamanan energi melibatkan perencanaan dan kebijakan yang komprehensif, serta kerja sama internasional dalam beberapa kasus, untuk mengatasi risiko dan tantangan dalam memenuhi kebutuhan energi. Pencapaian keamanan energi berkontribusi pada stabilitas sosial dan ekonomi suatu negara dan dapat membantu mengurangi risiko ketegangan geopolitik yang berkaitan dengan sumber daya energi; b) *Energy Equity* atau Keadilan energi adalah konsep penting dalam pengembangan berkelanjutan dan merupakan bagian dari upaya untuk mengatasi masalah ketidaksetaraan sosial dan ekonomi. Keadilan energi mendukung hak setiap individu untuk memiliki akses terhadap sumber energi yang diperlukan untuk hidup yang layak, tanpa diskriminasi dan dengan pertimbangan lingkungan yang baik. Upaya ini sering melibatkan kebijakan publik dan investasi dalam infrastruktur energi yang inklusif; c) *Environmental Sustainability* atau Kelestarian lingkungan dari sistem energi merupakan representasi transisi sistem energi suatu negara untuk mitigasi dan menghindari potensi kerusakan lingkungan dan dampak perubahan iklim. Dimensi ini berfokus pada produktivitas dan efisiensi pembangkitan, transmisi dan distribusi, dekarbonisasi, dan kualitas udara. Dari teori ini dapat menjadi tolak ukur penggunaan energi dan mitigasi langkah suatu negara kedepannya untuk mencapai energi bersih dan terjangkau. *Energy Trilemma Index* dari Indonesia yang dikeluarkan oleh *World Energy Council*.³⁷

PENUTUP

Kesimpulan

Penggunaan energi nuklir dalam skala besar belum memiliki payung hukum yang sah selama RUU EBET belum diundangkan dan berlaku. Dengan demikian peraturan berkaitan dengan ketenaganukliran yang masih berlaku hanya UU Nomor 10 Tahun 1997 yang sudah tidak relevan jika diberlakukan dalam proyek Rencana Umum Energi Nasional 2017 yang berlaku hingga 2025 yang menyatakan bahwa rencana penggunaan energi nuklir dalam skala besar di Indonesia. Dengan masih berlakunya UU Nomor 10 tahun 1997 ini menimbulkan ketidaksiapan peraturan yang sudah ada dalam pengaturan terhadap ketenaganukliran dalam skala besar terutama dalam hal pengelolaan limbah yang tidak diatur secara terperinci dalam RUU EBET sedangkan dalam UU Nomor 10 Tahun 1997 hanya diatur mengenai pengelolaan limbah terkait kerja sama, pembiayaan, dan penyimpanan. Namun berkaitan dengan teknis pengelolaan limbah serta ketentuan terkait sanksi atas pencemaran lingkungan hidup belum diatur dalam

³⁵Tauhid, D. 2018. "Energi Bersih Dan Terjangkau Berdasarkan Sustainable Development Goals (SDGS)". *Artikel Energi Bersih Dan Terjangkau*: 2.

³⁶Khan, Irfan, *et.al.* 2022. "A study of trilemma energy balance, clean energy transitions, and economic expansion in the midst of environmental sustainability: New insights from three trilemma leadership". *Energy* 248: 2.

³⁷Shirazi, Masoud. 2022. "Assessing energy trilemma-related policies: The world's large energy user evidence". *Energy Policy* (167): 2.

peraturan perundang-undangan yang membahas perihal terkait ketenaganukliran. Berkaitan dengan mengatasi permasalahan lingkungan hidup dalam penggunaan energi nuklir berdasarkan peraturan yang berlaku belum memperhatikan kelestarian lingkungan hidup dengan baik. Sehingga dalam memitigasi permasalahan lingkungan hidup ini harus diatur secara terperinci dalam peraturan perundang-undangan di Indonesia dengan memperhatikan aspek teknis yang berpotensi menimbulkan ancaman terhadap lingkungan hidup.

DAFTAR PUSTAKA

Sumber Buku

Paluszkiwicz, T., et. al. 1998. *Radionuclide and other marine pollution in the Sea of Japan*. No. IAEA-SM.

Stoiber, Carlton, et.al. 2003. "*Handbook on nuclear law*", Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency.

Sumber Peraturan Perundang-undangan

Convention of Nuclear Safety.

UU Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

Perpres Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional.

Peraturan Menteri LHK Nomor 6 Tahun 2021 Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.

Keputusan Presiden Nomor 106 Tahun 2001 tentang Pengesahan Convention on Nuclear Safety (Konvensi tentang Keselamatan Nuklir).

Rancangan Undang-Undang Energi Baru/Energi Baru Terbarukan.

Sumber Jurnal/Artikel

Barnett, M. O., et.al. 2000. "Adsorption and transport of uranium (VI) in subsurface media". *Soil Science Society of America Journal* (64) 3: 910.

Budi, Sudarsono. 1976. "Kecenderungan Ongkos Pembangunan Listrik PLTN Serta Pembangkit Lainnya". In: *Proceeding Lokakarya Keselamatan Reaktor dan Segi Humasnya*, hlm. 11-21.

Champ, Michael A., et. al. 1997. "Assessment of the impact of nuclear wastes in the Russian Arctic". *Marine pollution bulletin* (35) 7-12: 203.

Fitriyanti, Reno. 2016. "Pertambangan Batubara: Dampak Lingkungan, Sosial dan Ekonomi". *Jurnal Redoks* (1) 1: 36.

Hajriyanti. 2022. "Analisis Mengenai Keputusan Pemerintah Jepang Dalam Pembuangan Air Radioaktif Fukushima terhadap Hukum Lingkungan Internasional", *LITRA: Jurnal Hukum Lingkungan, Tata Ruang dan Agraria* (1) 2: 272.

Hanafiah, Aang. 2013. "Perkembangan IPTEK Nuklir Bidang Kesehatan di Indonesia". *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi* (4) 2: 120.

- Fautngiljanan, Johrdan. 2023. "Energi Nuklir dalam Net Zero Emission Indonesia: Tinjauan Terhadap Peraturan Perundang-Undangan Ketenaganukliran di Indonesia". *LITRA: Jurnal Hukum Lingkungan, Tata Ruang dan Agraria* (2) 2: 148.
- Kawabata, Kuniaki. 2020. "Toward technological contributions to remote operations in the decommissioning of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station". *Japanese Journal of Applied Physics* (59) 5: 1.
- Khan, Irfan, et.al. 2022. "A study of trilemma energy balance, clean energy transitions, and economic expansion in the midst of environmental sustainability: New insights from three trilemma leadership". *Energy* 248: 2.
- Ngadenin, Ngadenin, et.al. 2014. "Potensi Thorium dan Uranium di Kabupaten Bangka Barat". *Eksplorium* (35) 2: 69.
- Phispal, Roberto. 2013. "Pengaturan Hukum Internasional atas Pemanfaatan Tenaga Nuklir dan Dampak Lingkungan yang Mungkin Ditimbulkan". *Lex et Societatis* (1) 5: 123.
- Santoso, Gangsar. 2013. "Studi Pengelolaan Limbah Radioaktif Padat Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir". *Buletin Limbah* (8) 2: 13.
- Shirazi, Masoud. 2022. "Assessing energy trilemma-related policies: The world's large energy user evidence". *Energy Policy* (167): 2.
- Siregar, Naek. 2011. "Analisis Yuridis Tanggung Jawab Negara terhadap Dampak Radiasi Nuklir Menurut Hukum Internasional (Studi Kasus Radiasi Nuklir Jepang Pasca Gempa dan Tsunami)". *Fiat Justisia: Jurnal Ilmu Hukum* (5) 2: 4.
- Tauhid, D. 2018. "Energi Bersih Dan Terjangkau Berdasarkan Sustainable Development Goals (SDGS)". *Artikel Energi Bersih dan Terjangkau*: 2.
- Thielen, Harald. 2012. "The Fukushima Daiichi nuclear accident-an overview". *Health physics* (103) 2: 169.
- Tomo, Bung, dan Irwan Santoso. 2013. "Pengolahan Limbah Radioaktif Padat Hasil Dekomisioning Fasilitas Instalasi Pemurnian Asam Fosfat Petrokimia Gresik". *Buletin Limbah* (13) 1: 17.
- Wisnubroto, D. S. et. al. 2019. "Public opinion survei on nuclear energy in Indonesia: Understanding public perception on nuclear power plant program", *In AIP Conference Proceedings*, (2180) 1: 3.

Sumber Lainnya

- Hukamnas. Dampak Nuklir Terhadap Lingkungan Hidup. Accessed September 26, 2022, <https://hukamnas.com/dampak-nuklir-terhadap-lingkungan>.
- Pelatihan Peraturan Perundang-Undangan Bidang Instalasi Tenaga Nuklir, Bandung, 21 Juni 2023.