



JURNAL PENGABDIAN HUKUM "BESA OH"
Volume 02, Nomor 01, Mei 2022, hlm. 20-38

SOSIALISASI TRANSISI ENERGI DAN PEMANFAATAN NUKLIR DALAM BAURAN ENERGI INDONESIA DI POLITEKNIK MANUFAKTUR BANGKA BELITUNG

Andri Yanto

Fakultas Hukum Universitas Bangka Belitung

Koresponden: andriandrian.2427@gmail.com

Info Artikel

Masuk: 18 Oktober 2022

Diterima: 30 November 2022

Terbit: 14 Desember 2022

Keywords:

Energy Transition, Nuclear, SDGS, NZE

Kata Kunci:

Transisi Energi, Nuklir, SDGS, NZE

ABSTRACT

The pragmatic needs of the Indonesian nation for the energy transition and the use of nuclear in the energy mix have become important elements that need to be immediately actualized as a form of contingency of the SDGS 2030 and NZE 2060 visions. Indonesia's interest in meeting national energy needs in an effort to support industrialization and development in tandem with the need to utilize green, clean, and environmentally friendly energy sources. In this effort, nuclear utilization becomes a realistic option. However, the government's efforts in the use of nuclear as a resource still have various challenges that are very prominent, one of which is political will and public acceptance. For this reason, socialization of public knowledge related to energy transition and nuclear potentiality is very necessary. With this socialization, it is hoped that it can grow awareness in the younger generation and support efforts to accelerate the energy transition in Indonesia.

INTISARI

Kebutuhan pragmatis bangsa Indonesia terhadap transisi energi dan pemanfaatan nuklir dalam bauran energi telah menjadi elemen penting yang perlu segera diaktualisasikan sebagai wujud konkretisasi visi SDGS 2030 dan NZE 2060. Kepentingan Indonesia guna memenuhi kebutuhan energi nasional dalam upaya mendukung industrialisasi dan pembangunan secara beriringan bersamaan dengan kebutuhan untuk memanfaatkan sumber energi hijau, bersih, dan ramah lingkungan. Dalam upaya tersebut, pemanfaatan nuklir menjadi pilihan yang realistis. Namun, upaya pemerintah dalam pemanfaatan nuklir sebagai sumber daya masih memiliki berbagai tantangan yang sangat mengemuka, salah satunya ialah *political will* dan akseptasi masyarakat. Untuk itu, sosialisasi pengetahuan masyarakat terkait transisi energi dan potensialitas nuklir menjadi hal yang sangat perlu dilakukan. Dengan sosialisasi ini, diharapkan dapat menumbuhkan kesadaran dalam generasi muda dan mendukung upaya percepatan transisi energi di Indonesia.

A. Pendahuluan

Indonesia sebagai negara berkembang yang bervisi mencapai kemajuan segala bidang dalam tempo sesingkat-singkatnya, mensyaratkan diri pada pemenuhan sumber daya energi, motor utama penggerak ekonomi dan industri modern. Pasalnya, konsumsi listrik di Indonesia hingga kini masih berada dalam taraf yang cukup perlu dikritisi, yakni 1.112 kWh pada 2020, jauh tertinggal dari standar ideal 2.800-2500 kWh. Padahal, negara tetangga yang memiliki latarbelakang sejarah, geografi dan demografi simila, yakni negeri Jiran, telah memenuhi angka 4.886 di tahun yang sama.¹

Konsumsi listrik yang rendah bukan berarti bangsa Indonesia mampu berhemat dan 'lebih cinta lingkungan' daripada bangsa lain yang memiliki angka konsumsi energi tinggi, sebaliknya malah menunjukkan ketidakmampuan (atau belum) memanfaatkan kemajuan teknologi dan sumber daya secara optimal demi menyokong pembangunan. Akibatnya, terdapat kecenderungan pertumbuhan lambat dalam sektor industri, dan sekaligus membatasi kemampuan Indonesia untuk menghadirkan elektrifikasi yang stabil dan reliabilitas tinggi. Padahal, energi adalah kunci dalam menggerakkan roda industri skala besar. Anggaplah Tiongkok, misalnya, sebagai negara yang maju pesat sejak Deng Xiaoping memberlakukan ekonomi terbuka di negaranya, pasokan energi dan pembangkit listrik berskala besar, adalah prioritas yang menjadi tulang punggung ekonomi. Indonesia, mutlak membutuhkan penambahan pasokan energi, termasuk misalnya Program 35.000 MW yang ditargetkan tercapai pada 2019, setahun sebelum SDGs 2030 selesai.²

Namun, progresifitas pembangunan yang membutuhkan penambahan pasokan suplai listrik dalam jumlah raksasa, tidak semata bisa diatasi dengan penambahan jumlah pembangkit dengan energi konvensional saat ini. Pada 2021, Indonesia masih menggantungkan 88% pasokan energinya dari tiga sumber konvensional, yakni minyak bumi, batubara, dan gas. Ketiganya, adalah bahan bakar tipe fosil, yang selain jumlahnya sangat terbatas, juga mengasilkan emisi karbon dalam jumlah sangat besar. Merujuk data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, pada 2021, Indonesia menghasilkan 259,1 juta ton CO₂, dengan peningkatan hingga 2,7% dari tahun 2020. Dengan asumsi peningkatan yang relatif sama, emisi karbon akan mencapai rata-rata 300 juta ton, dan menjadikan tujuan SDGs Indonesia yang menggadang-gadang konsep low carbon hanya menjadi 'guyonan akademis' diatas kertas. Padahal, low carbon yang dipersiapkan sebagai

¹ Dewan Energi Nasional, 2020. *Indonesian Energy Outlook 2019*. Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional, hlm.38-40.

² Chairul Muslim, 2019. *Mitigasi Perubahan Iklim dalam Mempertahankan Produktifitas Tanah*. Jurnal Penelitian Pertanian Terapan, Vol.13, No.3, hlm.212-213.

fragmen dari pencapaian *Net Zero Emission* 2060 (energi bebas emisi) bukan sekedar upaya 'keren-kerenan', melainkan upaya penyelamatan masa depan bumi dari ancaman pemanasan global.³

Di antara persimpangan itu, Indonesia harus memecahkan satu teka-teki besar, yakni bagaimana meningkatkan suplai listrik hingga 2-3 kali lipat jumlahnya dari saat ini sebelum 2050, atau setidaknya 50% dari jumlah saat ini pada 2030, dan disaat yang sama, mengurangi jumlah emisi karbon. Jawaban atas pertanyaan tersebut, tidak mungkin dilakukan dengan mengorbankan salah satunya, mengejar ekonomi dengan mengorbankan lingkungan, atau menjaga lingkungan dengan mengorbankan ekonomi. Keduanya bukanlah pilihan yang dapat diambil. Satu-satunya jalan keluar, setidaknya yang diketahui saat ini, adalah dengan transisi energi, meningkatkan jumlah energi dengan sumber-sumber yang hijau, ramah lingkungan, dan tidak menghasilkan emisi. Jawaban inilah yang kini dikebut oleh DPR dalam RUU EB-ET, yang dengan jelas memasukan berbagai sumber energi alternatif, yang bersifat baru maupun terbarukan, untuk menggantikan energi konvensional.

Dalam skema EB-ET, setiap jenis energi perlu dipertimbangkan menurut berbagai parameter, sebelum diputuskan kedudukannya dalam skema bauran energi saat transisi dimulai. Beberapa energi baru dan terbarukan, yang dinilai handal dan menjadi pilihan pemerintah, diantaranya adalah surya, air, angin, panas bumi, nuklir, dan biogas, serta berbagai produk energi olahan batubara. Kesemuanya, turut diproyeksikan sebagai sumber-sumber energi 'hijau' yang akan menopang energi Indonesia di masa depan, mensubstitusi energi konvensional saat ini.

Namun, energi bukan semata bersih. Perlu terdapat beberapa pertimbangan pokok dalam menilai potensialitasnya. Pertama, adalah reliabilitas, daya yang dihasilkan. Sumber energi harus benar-benar mampu menghasilkan energi dalam kapasitas yang besar, memenuhi hajat hidup masyarakat banyak, dan tidak bersifat intermitten, selalu tersedia dan stabil. Kedua, ramah lingkungan, dalam arti energi harus bersifat low or zero emission, agar dapat digunakan tanpa mencemari lingkungan dan mempercepat emisi karbon.

Ketiga, energi tersebut harus terjangkau, yakni tidak secara drastis meningkatkan harga listrik di masyarakat. Umumnya, produksi energi EB-ET menghasilkan Biaya Pokok Produksi (BPP) yang jauh lebih tinggi dari harga jual standar, lantaran teknologi yang digunakan dan daya yang dihasilkan tidak selalu berbanding linear. Terlebih, Presiden Joko Widodo dalam COP 2020 telah menegaskan, bahwa transisi energi tidak seharusnya

³ Fahmi Irhamsyah, 2019. *Sustainable Development Goals dan Dampaknya Bagi Ketahanan Nasional*. Jurnal Kajian Lemhanas, hlm.78.

membebani anggaran negara, dalam arti harga produksi listrik saat transisi dilakukan tidak boleh lebih tinggi dari harga saat menggunakan energi konvensional saat ini. Keempat, aspek ketersediaan sumber energi. Sumber energi tersebut harus tersedia di Indonesia, banyak terdapat potensinya, dan dapat digunakan dalam jangka panjang.

Melalui keempat asesmen tersebut, tidak semua sumber energi dapat digunakan secara optimal, lantaran berbenturan dengan beberapa aspek. Misalnya, angin dan air tidak seluruhnya tersedia di Indonesia dan hanya ada di daerah tertentu, sehingga ketersediaan dan reliabilitasnya tidak mampu menjadi energi utama dalam skema transisi. Dua sumber energi yang paling realistis digunakan adalah surya dan nuklir, yang keduanya memiliki reliabilitas tertinggi, dalam artian mampu memenuhi suplai daya secara nasional, mensubstitusi dan meningkatkan pasokan listrik secara drastis dengan potensinya yang tersedia dalam jumlah besar.

Namun, perbedaan antara surya dan nuklir terdapat dalam aspek harga. Dalam aspek reliabilitas, energi surya dan nuklir adalah yang paling menjanjikan. Namun, terkait harga, pemanfaatan PLTS di Indonesia memerlukan pendanaan ekstra, dengan rata-rata per 2021 mencapai US\$ 14 sen hingga US\$ 25 sen per kWh. Bandingkan dengan batubara yang 'hanya' berkisar US\$ 9-12 sen, gas alam US\$ 7-14 sen dan nuklir US\$ 9 sen. Hingga saat ini, pemanfaatan PLTS di Indonesia masih harus berbenturan dengan harga yang tinggi, selain potensi alamnya yang juga intermitten, memerlukan lahan yang sangat luas, dan bergantung pada alam sehingga tidak stabil. Sedangkan pemanfaatan PLTN, meski memerlukan biaya lebih besar diawal pembangunan, namun jauh lebih hemat untuk pemanfaatan jangka panjang, dengan lifetime cost rata-rata BPP adalah US\$ 6-7 sen per kWh. Selain itu, nuklir juga memiliki ecological footprint dan emisi karbon yang jauh lebih efisien dibanding sumber energi lainnya.⁴

Perihal ketersediaan, menurut data Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), potensi uranium di Indonesia yang telah diketahui mencapai estimasi 89.000 ton (tU308) dan thorium mencapai 143.234 ton (tTh). Jumlah ini, apabila dimanfaatkan secara optimal, maka dapat memenuhi kebutuhan listrik 300 juta penduduk dengan konsumsi perkapita 3000 kWh selama lebih dari 1000 tahun.

Perhitungan ringkas ini, menunjukkan bahwa nuklir adalah sumber energi yang sangat prospektif digunakan di Indonesia, baik secara ekonomi maupun lingkungan dalam jangka panjang. Di seluruh dunia, hingga 2022, telah terdapat 450 PLTN yang berlisensi

⁴ Ismawati Septiningsih, dkk. 2020. *Peluang dan Tantangan: Pemanfaatan Potensi Tenaga Nuklir Berbasis Smart Electricity Guna Memaksimalkan Penggunaan Energi Baru Terbarukan Sebagai Upaya Mewujudkan Kedaulatan Energi di Indonesia*. Prosiding Seminar Riset dan Teknologi Terapan, hlm.2-4.

dan beroperasi di 30 negara. Total daya yang dihasilkan secara global telah mencapai 2.796 terawatt (triliun watt) per jam pada 2019, dan telah mensuplai 10% daya listrik dunia. Saat ini, 48 PLTN baru sedang dibangun, dan akan terus bertambah seiring meningkatnya kebutuhan listrik dan pentingnya pengurangan emisi karbon, hal ini tidak terlepas dari fakta bahwa PLTN berkontribusi 29% dari total energi bersih dunia.

Hal yang cukup disayangkan, Indonesia sebagai negara yang telah memproyeksikan pemanfaatan nuklir sejak era Soekarno, masih menghasilkan 0 watt dalam penggunaan pembangkit daya, belum sama sekali. Padahal, 2030 sudah didepan mata dan target pemerintah untuk memiliki 10 PLTN pada 2033 tinggal 11 tahun lagi, dan saat ini, belum satupun tanda-tanda PLTN akan dibangun. Meski demikian, langkah demi langkah yang dilakukan oleh pemerintah guna merealisasikan visi pembangunan PLTN pertama tampak semakin nyata melalui berbagai aspek, termasuk penyiapan regulasi.

B. Metode Pelaksanaan

Kegiatan Sosialisasi Transisi Energi dan Pemanfaatan Nuklir Dalam Bauran Energi Indonesia Di Politeknik Manufaktur Bangka Belitung dilaksanakan secara tatap muka di Gedung Aula Polman Bangka Belitung. Peserta yang hadir terdiri atas 88 mahasiswa yang dikoordinasikan oleh Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Polman Babel. Selain penyampaian materi sosialisasi, kegiatan juga diisi dengan promosi Festival Nuklir Nasional I Tahun 2021-2022.

Kegiatan ini diselenggarakan pada Kamis, 23 Desember 2021 pada pukul 09.00-12.30 WIB. Kegiatan dimulai dengan pembukaan dan penyampaian materi terlebih dahulu oleh pemateri pertama, Aliefia Noor, S.Si dan dilanjutkan oleh pemateri penulis, dilanjutkan sesi tanya jawab dan penyampaian promosi lomba Festival Nuklir Nasional. Indikator keberhasilan kegiatan sosialisasi ini diantaranya ialah;

1. Respon positif peserta terhadap kegiatan sosialisasi
2. Pertanyaan dan diskusi interaktif pada prospek pemanfaatan energi nuklir dalam bauran energi Indonesia
3. Konklusi kegiatan yang menumbuhkan kesadaran tentang potensi kemanfaatan nuklir dan akseptasi peserta terhadap upaya pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir di Indonesia

C. Pembahasan

1. Urgensitas Transisi Energi dan Pemanfaatan Nuklir di Indonesia

Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) tahun 2021, diketahui bahwa pasokan energi primer di Indonesia masih didominasi oleh minyak bumi, batubara, dan gas alam. Persentase pasokan energi primer pada tahun 2021 antara lain yaitu minyak bumi sebesar 33%, batu bara 38%, gas alam 17%, dan energi terbarukan hanya berkontribusi sebesar 12%. Semakin tinggi pendapatan per kapita suatu negara, maka semakin tinggi permintaan listriknya. Pendapatan perkapita negara yang meningkat ini merupakan tanda meningkatnya kesejahteraan negara walaupun tidak secara sempurna. Untuk menopang pembangunan nasional membutuhkan sumber energi listrik dalam berbagai bidang. Setiap tahunnya permintaan listrik terus meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan.⁵

Namun daripada itu, meningkatnya konsumsi energi listrik tidak diikuti dengan ketersediaan sumber energi fosil yang jumlahnya terbatas dan terus berkurang. Ketimpangan antara permintaan listrik dan ketersediaan listrik nasional dari bahan bakar fosil akan terus meningkat. Sedangkan pola produksi dan konsumsi listrik suatu negara secara berkelanjutan sangat berkaitan erat dengan konsep supply and demand yang memengaruhi unsur keberlanjutan pembangunan negara. Penggunaan energi fosil yang berlebih juga berdampak pada meningkatnya bahaya perubahan iklim. Penggunaan bahan bakar fosil secara berkelanjutan tentunya dapat meningkatkan emisi/pengeluaran karbon dioksida dan lima gas rumah kaca lainnya. Padahal untuk mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB)/*Sustainable Development Goals* (SDGs) ke 7, 12, dan 13 yaitu energi bersih dan terjangkau, konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab, dan penanganan perubahan iklim menunjukkan ketidaksesuaian penggunaan bahan bakar fosil terhadap tiga tujuan SDGs ini.

Pada 6 Juli 2022, parlemen uni eropa mulai mempertimbangkan energi nuklir untuk diklasifikasikan sebagai “energi hijau” karena merupakan sumber energi yang rendah karbon. Pengklasifikasian ini adalah bentuk tegas kepada perusahaan pembangkit listrik energi fosil yang sering melakukan greenwashing yaitu memasarkan perusahaan mereka sebagai pelaku industri yang ramah lingkungan. Perlu ada korelasi yang baik antara ekonomi dan pengelolaan sumber- sumber di lingkungan untuk melaksanakan pembangunan yang berkelanjutan yaitu apabila

⁵ Nuclear Energy Agency, 2021. *Small Modular Reactors: Challenges and Opportunities. Nuclear Technology Development and Economics-OECD*, hlm.76-78.

sumber daya alam yang dimanfaatkan tidak menimbulkan degradasi lingkungan dan menghasilkan perkembangan ekonomi secara berkelanjutan. Reaktor nuklir tidak menghasilkan polusi udara atau karbon dioksida saat beroperasi.

Hal ini berkebalikan dengan pembangkit listrik berbahan bakar fosil. PLTA membutuhkan lahan 360 kali lebih banyak dan PLTS membutuhkan lahan 75 kali lebih banyak untuk memproduksi besar listrik yang sama dengan PLTN. Pertimbangan ekonomi yang membuat Uni Eropa meyakini nuklir sebagai energi hijau adalah kontribusi ekonominya yang lebih dominan daripada PLTA dan PLTS yaitu pada kapasitas 1GW yang terpasang pada tahun 2030, PLTN memberikan kontribusi sebesar 2,9 miliar Euro dan 6000 pekerjaan. Sedangkan PLTA hanya 0,3 miliar Euro dan 1800 pekerjaan serta PLTS hanya 0,2 miliar Euro dan 400 pekerjaan. Semua hal ini yang menjadi pertimbangan Uni Eropa untuk mengklasifikasikan nuklir sebagai green energi.⁶

Dari beberapa sumber energi alternatif, terdapat salah satunya yang memiliki kepadatan energi yang besar yaitu energi nuklir. Energi nuklir menggunakan bahan bakar berupa unsur dengan nomor atom berat (Uranium atau Thorium) yang kemudian bereaksi berupa pemecahan inti atom (fisi). Energi dari reaksi ini memiliki jumlah yang besar yang dapat digunakan hingga puluhan tahun untuk pembangkitan listrik. Disamping itu, tiadanya proses pembakaran juga membuat energi nuklir menjadi energi yang memiliki emisi karbon nol. Indonesia merupakan salah satu negara partisipan G20 yang ikut serta dalam tujuan global untuk menjaga perubahan rata-rata suhu global menjadi di bawah 2°C dan berusaha menekan hingga batas 1,5 °C di atas level pra-industri. Pada tanggal 25 September 2009, di Pittsburgh, USA, Pemerintah Indonesia secara sukarela menyampaikan targetnya untuk menurunkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sebesar 26% dari kondisi Business as Usual (BaU) yang akan dicapai pada tahun 2020 sebesar 41%.

Kemudian, Indonesia berkomitmen dalam Paris Agreement melalui Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016 pada tanggal 24 Oktober 2016 untuk berupaya menurunkan emisi gas rumah kaca dan ikut serta untuk mencegah perubahan iklim. Komitmen tersebut dilanjutkan hingga tahun 2022 yang dibicarakan pada presidensi G20 di Indonesia. Salah satu upaya yang dapat negara Indonesia lakukan dalam merealisasikan komitmen terhadap penurunan emisi karbon adalah dengan mempertimbangkan penggunaan energi listrik sebagai pemenuhan elektrifikasi di

⁶ Fahmi Irhamsyah, 2019. *Sustainable Development Goals dan Dampaknya Bagi Ketahanan Nasional*. Jurnal Kajian Lemhanas, hlm.47-48.

Indoensia melalui proyek pembangunan PLTN. Namun prospek pembangunan PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir) di Indonesia, yang diproyeksikan pembangunannya di Bangka Belitung pada 2027-2030, masih dihadapkan pada problematika yang mendasar yang hingga ini terus dikaji dan diformulasikan solusinya. Pertama, adalah terkait keselamatan. Dibandingkan dengan limbah dari pembangkit bahan bakar fosil, limbah nuklir memiliki volume yang lebih sedikit dan berkurang seiring dengan penambahan waktu.⁷

Hanya saja limbah radioaktif dari bahan bakar nuklir bekas masih memiliki tingkat radioaktivitas yang tinggi, oleh karena itu diperlukan penanganan lebih lanjut terkait limbah radioaktif PLTN 2. Kedua, aspek pembiayaan. Pembangunan PLTN tidak semata-mata menyangkut berdirinya pembangkit listrik, melainkan juga membangun satu sistem manajemen yang komprehensif. Untuk kelas PLTN dengan daya 1.400 MW, Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) mencatat diperlukan biaya sekitar Rp 70 triliun. Selain itu, pembiayaan selama pengelolaan dan transisi teknologi juga bisa menambah beban anggaran dengan inklinasi tambahan hingga 20-30%. Meski lifetime cost dan Biaya Pokok Produksi (BPP) nuklir lebih rendah daripada energi konvensional dalam jangka panjang, namun pembangunan satu PLTN dengan biaya demikian tinggi adalah masalah yang tetap membebani anggaran negara secara signifikan.

Ketiga, akseptasi masyarakat dan dukungan politis. Meski kesiapan teknologi dan teknis dalam pembangunan PLTN telah dipastikan, namun masih belum tercapainya akseptasi masyarakat Indonesia secara umum dan dukungan regulasi yang juga belum mapan, progres pembangunan PLTN masih menemui berkabung dalam stagnasi.

Keempat, daya dukung wilayah dan komplementaritas kajian studi tapak. Nilai strategis pembangunan PLTN di Bangka Belitung didasarkan pada beberapa hasil studi, baik oleh BRIN, BATAN, maupun swasta, seperti PT Surveyor Indonesia yang menyatakan bahwa Pulau Bangka dikategorikan Sangat Layak, dan mampu 'menampung' 10 PLTN skala komersial. Dalam progresivitas percepatan transisi, diperlukan kajian kembali, terutama oleh lembaga negara untuk ditindaklanjuti melalui pembentukan regulasi ditingkat pusat guna memenuhi dukungan politis dan menggaet akseptasi publik.

⁷ *Kajian Akademik Nuklir Sebagai Solusi Dari Energi Ramah Lingkungan Yang Berkelanjutan Untuk Mengejar Indonesia Sejahtera Dan Rendah Karbon Pada Tahun 2050*. 2021. Universitas Gadjah Mada: Pusat Studi Lingkungan Hidup, hlm. 34-36.

2. Kajian Peluang Investasi

Indonesia sebagai negara berkembang yang bervisi mencapai kemajuan segala bidang dalam tempo sesingkat-singkatnya, mensyaratkan diri pada pemenuhan sumber daya energi, motor utama penggerak ekonomi dan industri modern. Pasalnya, konsumsi listrik di Indonesia hingga kini masih berada dalam taraf yang cukup perlu dikritisi, yakni 1.112 kWh pada 2020, jauh tertinggal dari standar ideal 2.800-2500 kWh. Padahal, negara tetangga yang memiliki kemiripan latar belakang sejarah, geografi dan demografi, yakni negara Malaysia, telah memenuhi angka 4.886 kWh di tahun yang sama.

Umumnya, produksi energi EB-ET menghasilkan Biaya Pokok Produksi (BPP) yang jauh lebih tinggi dari harga jual standar, lantaran teknologi yang digunakan dan daya yang dihasilkan tidak selalu berbanding linear. Terlebih, Presiden Joko Widodo dalam *Climat Change Conference of Parties (COP) 2021* telah menegaskan bahwa transisi energi tidak seharusnya membebani anggaran negara, dalam arti harga produksi listrik saat transisi dilakukan tidak boleh lebih tinggi dari harga saat menggunakan energi konvensional saat ini.

Tidak semua sumber energi dapat digunakan secara optimal lantaran berbenturan dengan beberapa aspek, yaitu reabilitas, ramah lingkungan, energi yang terjangkau, dan ketersediaan sumber energi. Semisal, angin dan air tidak seluruhnya tersedia di Indonesia dan hanya ada di daerah tertentu, sehingga ketersediaan dan reliabilitasnya tidak mampu menjadi energi utama dalam skema transisi. Dua sumber energi yang paling realistis digunakan adalah surya dan nuklir, yang keduanya memiliki reliabilitas tertinggi, dalam artian mampu memenuhi suplai daya secara nasional, menyubstitusi dan meningkatkan pasokan listrik secara drastis dengan potensinya yang tersedia dalam jumlah besar. Namun, perbedaan antara surya dan nuklir terdapat dalam aspek harga.

Dalam aspek reliabilitas, energi surya dan nuklir adalah yang paling menjanjikan. Namun, terkait harga, pemanfaatan PLTS di Indonesia memerlukan pendanaan ekstra, dengan rata-rata per 2021 mencapai US\$ 14 sen hingga US\$ 25 sen per kWh. Bandingkan dengan batu bara yang 'hanya' berkisar US\$ 9-12 sen, gas alam US\$ 7-14 sen dan nuklir US\$ 9 sen. Hingga saat ini, pemanfaatan PLTS di Indonesia masih harus berbenturan dengan harga yang tinggi, selain potensi alamnya yang juga intermiten, memerlukan lahan yang sangat luas, dan bergantung pada alam sehingga tidak stabil. Sedangkan pemanfaatan PLTN, meski memerlukan biaya lebih besar di awal pembangunan, namun jauh lebih hemat untuk pemanfaatan jangka panjang,

dengan lifetime cost rata-rata BPP adalah US\$ 6-7 sen per kWh. Selain itu, nuklir juga memiliki ecological footprint dan emisi karbon yang jauh lebih efisien dibanding sumber energi lainnya.

Perihal ketersediaan, menurut data Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), potensi uranium di Indonesia yang telah diketahui mencapai estimasi 89.000 ton (tU308) dan thorium mencapai 143.234 ton (tTh). Jumlah ini, apabila dimanfaatkan secara optimal, maka dapat memenuhi kebutuhan listrik 300 juta penduduk dengan konsumsi per kapita 3000 kWh selama lebih dari 1000 tahun.

Perhitungan ringkas ini, menunjukkan bahwa nuklir adalah sumber energi yang sangat prospektif digunakan di Indonesia, baik secara ekonomi maupun lingkungan dalam jangka panjang. Di seluruh dunia, hingga 2022, telah terdapat 450 PLTN yang berlisensi dan beroperasi di 30 negara. Total daya yang dihasilkan secara global telah mencapai 2.796 terawatt (triliun watt) per jam pada 2019, dan telah menyuplai 10% daya listrik dunia. Saat ini, 48 PLTN baru sedang dibangun, dan akan terus bertambah seiring meningkatnya kebutuhan listrik dan pentingnya pengurangan emisi karbon, hal ini tidak terlepas dari fakta bahwa PLTN berkontribusi 29% dari total energi bersih dunia.

3. Kajian Regulasi Pemanfaatan Energi Nuklir

Kebijakan internasional untuk pengendalian masalah iklim dipengaruhi oleh kekuatan dan kecepatan implementasi kebijakan, serta implementasi inovasi mitigasi emisi karbon oleh masyarakat internasional³. Terkait hal tersebut, Indonesia telah berkomitmen untuk menandatangani dan kemudian meratifikasi Paris Agreement pada April 2016 dengan menerbitkan Undang- Undang Republik Indonesia No. 16 Tahun 2016.

Secara umum, Indonesia harus mengatasi masalah konsumsi listrik untuk memenuhi permintaan konsumen yang terus meningkat dengan mengoperasikan fasilitas pembangkit listrik yang lebih ramah lingkungan daripada yang sudah ada, dan opsi yang paling mungkin adalah pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN). Secara UU, PLTN dikategorikan sebagai energi baru di Indonesia. Dalam rencana dan strategi pembangunan jangka panjang, PLTN harus dimasukkan sebagai salah satu bauran energi untuk mengurangi energi fosil. PLTN dapat menyediakan listrik dalam skala besar, stabil, dan menjadi energi alternatif transisi untuk menggantikan energi listrik yang dihasilkan oleh bahan bakar batu bara. Selain itu, energi nuklir merupakan jenis

pembangkit listrik yang memiliki risiko kematian paling rendah dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya.⁸

Kebijakan pemanfaatan tenaga nuklir untuk kepentingan damai telah diatur dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 31 Tahun 1964 tentang Ketentuan-ketentuan Pokok Tenaga Atom, yang kemudian diperbarui dalam Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Tenaga Nuklir. 8 Reaktor nuklir pertama, TRIGA Mark II, dibangun dan diresmikan pada tahun 1965 oleh Presiden Republik Indonesia, Ir. Soekarno, sebagai titik awal upaya penguasaan teknologi nuklir menuju pemanfaatan energi nuklir untuk kelistrikan di Indonesia. Pada bulan April 1972, Pemerintah telah membentuk Komisi Persiapan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir dengan tugas melakukan kajian terkait pengembangan PLTN di Indonesia. Daftar kebijakan publik di era reformasi di Indonesia terangkum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Daftar Kebijakan Publik Terkait Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir

No.	Rule/Regulation	Subject
1	UU No. 31 Tahun 1964	Dasar Ketentuan Energi Atom
2	UU No. 10 Tahun 1997	Ketenaganukliran
3	Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral -Tahun 2005	Cetak Biru Pengelolaan Energi Nasional 2005 -2025
4	Keputusan Presiden Nomor 5 Tahun 2006	Kebijakan Energi Nasional
5	UU No. 17 Tahun 2007	Rencana Pembangunan Jangka Panjang 2005-2025 Nasional
6	UU No. 30 Tahun 2007	Energi
7	PP No. 79 Tahun 2014	Kebijakan Energi Nasional
8	PP No. 14 Tahun 2015	Rencana Induk Pengembangan Industri 2015-2035 Nasional
9	PP No. 22 Tahun 2017	Rencana Umum Energi Nasional
10	PP No. 18 Tahun 2020	Rencana Pembangunan Jangka Menengah 2020-2024 Nasional
11	PP No. 5 Tahun 2021	Izin Usaha Berbasis Risiko

Sejak awal tahun 2000-an Pemerintah telah berniat untuk mengurangi penggunaan minyak bumi dan mencari sumber energi alternatif seperti batubara dan EBT (PLTA, Surya, Angin, Biomassa, Panas Bumi). Menyusul Keppres Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional⁹ dan tertuang dalam Cetak Biru Pengelolaan Energi Nasional 2005–2025¹⁰, pasokan bauran energi dari minyak bumi diminimalkan, sekaligus pasokan energi dari batubara meningkat. Dalam Perpres No.

⁸ Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2022. ESDM One Map. Available at: <https://geportal.esdm.go.id/ketenagalistrikan/> diakses 24 Desember 2022.

5 Tahun 2006 disebutkan bahwa target bauran energi primer pada tahun 2025, khususnya EBT minimal 5%, dimana energi nuklir dimasukkan sebagai bagian dari EBT. Energi nuklir telah direncanakan untuk berkontribusi 2% dari target pada tahun 2015. Ditargetkan pada tahun 2016 seharusnya sudah beroperasi satu unit PLTN dengan kapasitas 1000 MWe dan secara bertahap disusul 3 unit lagi. Karena PLTN selanjutnya masing-masing berkapasitas 1000 MWe, maka pada tahun 2025 diharapkan mampu memasok sekitar 4-5% dari total kebutuhan listrik di wilayah Jawa-Madura Bali.

Dalam *Quick Response Analysis (QRA) BAPPENAS Volume 1 Tahun 2016* disebutkan dukungan Pemerintah untuk pembangunan pusat tenaga nuklir (PLTN) pertama di Indonesia. Disebutkan bahwa Indonesia yang mandiri, maju, dan sejahtera dapat tercapai jika kebutuhan listrik terpenuhi. Untuk mengatur sumber daya energi, Pemerintah dan Dewan Perwakilan Rakyat (DPR) mengesahkan Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi¹¹. Undang-undang tersebut mengamanatkan agar Rencana Umum Energi Nasional/Daerah (RUEN/RUED) segera disusun, di mana Kebijakan Energi Nasional (KEN) direncanakan dan disusun oleh Dewan Energi Nasional (DEN) dengan persetujuan DPR. Dokumen KEN menjadi pedoman dalam pengelolaan energi nasional. KEN dalam RUEN 2025 menargetkan peningkatan penyediaan energi listrik dari 115 GW pada tahun 2025 menjadi 430 GW pada tahun 2050. Amanat Perpres energi telah diperbaharui dengan PP Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional yang memberikan peluang pemanfaatan energi nuklir sebagai bagian dari porsi EBT yang ditargetkan dalam bauran energi nasional minimal 23% pada tahun 2025 dan 31 % pada tahun 2050.

PP Nomor 79 Tahun 2014 Pasal 11 menyebutkan bahwa pengembangan energi dilakukan melalui keseimbangan ekonomi energi dan prioritas pembangunan energi nasional. Pemanfaatan energi nuklir dapat dilakukan dengan mempertimbangkan keamanan pasokan energi nasional secara besar-besaran, pengurangan emisi karbon dan tetap mengutamakan potensi EBT sesuai nilai ekonomisnya, dengan memperhatikan faktor keamanan. Dalam penjelasan PP 79 Tahun 2014 juga disebutkan bahwa pada dasarnya nuklir dapat dioperasikan dalam rangka meningkatkan pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan. Meskipun energi nuklir ditempatkan sebagai pilihan terakhir, pembangunan PLTN dapat menjadi pilihan bagi pembangkit listrik untuk memenuhi GR yang mengatur bauran energi nasional. Lebih lanjut, PP No. 14 Tahun 2015 tentang Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional yang dikenal dengan RIPIN 2015-2035 menyatakan bahwa untuk pembangunan

industri di Indonesia. perlu dikembangkan sumber EBT yang murah dan aman termasuk energi nuklir.

Dukungan Pemerintah terhadap pembangunan PLTN juga tertuang dalam Analisis Respon Cepat Bappenas No. I Tahun 2016. Dalam dokumen white paper PLTN 500 MW ESDM, Kementerian ESDM memahami betul bahwa target EBT 23% pada 2025 akan menjadi tantangan. untuk memenuhi jika didasarkan pada energi terbarukan (RE) campuran saja tanpa energi nuklir. Berdasarkan simulasi Dirjen Ketenagalistrikan tahun 2014, disimpulkan bahwa untuk memenuhi target 23% GW, dibutuhkan PLTN pada tahun 2024-2025 dengan total kapasitas 5000 MW. Kementerian ESDM sangat memahami bahwa target EBT 23% pada tahun 2025 akan sulit dipenuhi jika didasarkan pada bauran energi terbarukan (RE) saja tanpa energi nuklir. Berdasarkan simulasi Dirjen Ketenagalistrikan tahun 2014, disimpulkan bahwa untuk memenuhi target 23% GW, dibutuhkan PLTN pada tahun 2024-2025 dengan total kapasitas 5000 MW. Kementerian ESDM sangat memahami bahwa target EBT 23% pada tahun 2025 akan sulit dipenuhi jika didasarkan pada bauran energi terbarukan (RE) saja tanpa energi nuklir. Berdasarkan simulasi Dirjen Ketenagalistrikan tahun 2014, disimpulkan bahwa untuk memenuhi target 23% GW, dibutuhkan PLTN pada tahun 2024-2025 dengan total kapasitas 5000 MW. Pembangunan PLTN komersial telah masuk juga dalam program prioritas/kegiatan prioritas/proyek prioritas Matriks Pembangunan RPJMN 2020-2024. Fakta ini membuktikan kebijakan Pemerintah dalam mewujudkan pemanfaatan PLTN di Indonesia. Selanjutnya, PP No. 5 Tahun 2021 tentang Penerapan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko juga telah memasukkan sektor nuklir.⁹

Dari uraian di atas, jelas bahwa tidak ada satu peraturan yang melarang pembangunan dan pengoperasian PLTN di Indonesia. Namun, pengembangan energi nuklir di Indonesia masih menjadi wacana yang belum terselesaikan oleh Pemerintah. Meskipun dalam PP No. 79 Tahun 2014 disebutkan bahwa tenaga nuklir merupakan pilihan terakhir, namun dalam penjelasan PP No. 79 Tahun 2014 disebutkan bahwa pada dasarnya tenaga nuklir dapat dioperasikan dalam rangka meningkatkan pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan. Sepertinya tidak ada sinkronisasi antara GR yang satu dengan yang lain. Dalam PP No. 79 Tahun 2014 energi nuklir merupakan pilihan terakhir sedangkan pada PP No. 14 Tahun 2015 disebutkan bahwa energi

⁹ Septiningsih, Ismawati, dkk. 2020. *Peluang dan Tantangan: Pemanfaatan Potensi Tenaga Nuklir Berbasis Smart Electricity Guna Memaksimalkan Penggunaan Energi Baru Terbarukan Sebagai Upaya Mewujudkan Kedaulatan Energi di Indonesia*. Prosiding Seminar Riset dan Teknologi Terapan, hlm.334-335.

nuklir merupakan bagian dari energi yang perlu dikembangkan. Pembangunan PLTN dapat menjadi pilihan pembangkit tenaga listrik untuk memenuhi PP No. 79 Tahun 2014 yang menetapkan bauran energi nasional sebesar 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050. Pemanfaatan PLTN dapat menjadi pilihan yang rasional dalam jangka panjang. Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagai pengemban amanat negara dalam penyediaan ketenagalistrikan harus berkomitmen untuk menjamin ketersediaan energi listrik yang andal, maju dalam teknologi, beradaptasi dengan tantangan global, untuk mencapai kemakmuran dan mendukung pembangunan berkelanjutan yang mengacu pada bidang sumber daya manusia dan pelestarian lingkungan.

Proses kebijakan ditentukan oleh keputusan institusional, regulasi, dan konstitusi 15. Kebijakan pengembangan pembangkit listrik tenaga nuklir untuk menyediakan listrik yang lebih bersih, andal, dan lebih murah merupakan pilihan yang rasional. Teori pilihan rasional adalah proses kebijakan publik untuk mencapai manfaat sosial dan nilai publik yang maksimal. Tantangan penerapan model rasional di negara berkembang antara lain kurangnya penggunaan teknologi 16. Untuk itu perlu adanya inovasi kebijakan pemanfaatan teknologi untuk meningkatkan kemajuan negara. Inovasi adalah respons alami terhadap persaingan, prasyarat untuk perluasan pasar, pertahanan dalam jangka panjang dan peningkatan kinerja di masa depan 17. Sudah saatnya Indonesia memanfaatkan inovasi teknologi PLTN untuk mendukung pembangunan berkelanjutan. Mengingat energi sangat penting untuk meningkatkan kegiatan ekonomi dan ketahanan nasional, maka pengelolaan energi harus dilaksanakan secara adil, berkelanjutan, rasional, optimal, dan terpadu. Pemanfaatan energi dilakukan dengan konservasi menjadi tanggung jawab pemerintah pusat, pemerintah daerah, pengusaha, dan masyarakat.

Meskipun PLTN memiliki peran penting dalam solusi catu daya skala besar yang stabil namun dengan berbagai alasan PLTN hingga saat ini belum terealisasi. Realisasi kebijakan Pemerintah terkait PLTN lebih banyak dipengaruhi oleh informasi yang tidak akurat seperti narasi ketakutan. Perencanaan Pemerintah seringkali berubah dari waktu ke waktu, sehingga dengan banyaknya kebijakan yang berbeda, target yang akan dicapai oleh perencanaan sebelumnya tidak tercapai. Sebagai contoh, Perpres Nomor 5 Tahun 2006 tentang KEN dicabut dengan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 79 Tahun 2014 tentang KEN. Dalam Perpres No. 5 Tahun 2006 target EBT untuk bauran energi primer pada tahun 2025 adalah lebih dari 5% dimana energi nuklir dimasukkan sebagai bagian dari EBT. Namun PP 79 Tahun 2014 menyatakan bahwa nuklir digunakan sebagai upaya terakhir, sehingga berdampak pada program

pembangunan PLTN. Kemudian tidak ada konsistensi dan sinkronisasi antara satu regulasi dengan regulasi lainnya. Dalam PP 79 Tahun 2014 disebutkan bahwa nuklir merupakan upaya terakhir sedangkan dalam PP 14 Tahun 2015 disebutkan bahwa energi nuklir merupakan bagian dari EBT yang perlu dikembangkan. Kebijakan regulasi yang lebih tegas sangat mendesak untuk pengembangan PLTN.

Faktor sosial politik yang mempengaruhi penerimaan PLTN adalah masyarakat, pengambil kebijakan dan pemangku kepentingan. Penerimaan masyarakat dipengaruhi oleh keterlibatan pemerintah daerah dalam proses pengambilan keputusan pemanfaatan PLTN untuk pembangkit listrik 18. Negara kaya minyak seperti Uni Emirat Arab telah membangun PLTN. Bangladesh juga telah memulai pembangunan PLTN. Setiap negara memiliki kebijakan publik dan kedua negara ini dapat menjadi contoh dalam bergerak menuju negara maju 19. Penggunaan PLTN di Indonesia mendapat dukungan yang cukup besar dari masyarakat. Survei nasional yang dilakukan pada tahun 2016 oleh BATAN mengenai penerimaan masyarakat terhadap iptek nuklir menunjukkan bahwa sebanyak 77,53% penduduk Indonesia mendukung pemanfaatan PLTN.

D. Penutup

1. Kesimpulan

- a. Sumber energi ramah lingkungan harus memenuhi kriteria sebagai berikut, yaitu dampak terhadap ekosistem, emisi CO₂ yang dihasilkan, penggunaan lahan yang minim, dan penanganan limbah yang baik dan tidak menimbulkan pencemaran. Berdasarkan hasil analisis, energi nuklir memenuhi kriteria sebagai energi ramah lingkungan karena dampak yang ditimbulkan ke lingkungan sangat sedikit, emisi GRK dan CO₂ yang dihasilkan relatif rendah, penggunaan lahan yang minim dibandingkan pembangkit lainnya karena densitas energi yang tinggi, dan penanganan limbah PLTN sangat baik karena memiliki volume yang kecil, serta memiliki pengelolaan limbah radioaktif ketat oleh badan pengawas. Energi nuklir memiliki peran tidak hanya sebagai pembangkit energi listrik, tetapi memiliki manfaat lain dalam berbagai bidang seperti kesehatan, peternakan, pangan, industri, dan lingkungan. Energi nuklir memiliki kontribusi besar terhadap SDGs.
- b. Kajian peluang investasi menunjukkan bahwa nuklir adalah sumber energi dengan potensi yang sangat prospektif dalam menyokong upaya pembangunan nasional, juga mampu menjadi sumber utama dalam mewujudkan energy security dan menyokong pertumbuhan ekonomi serta transisi pada perkembangan industri

dalam negeri. Dalam perspektif regulasi, aturan hukum di Indonesia juga telah secara normatif mengatur mengenai berbagai ketentuan terkait upaya pemanfaatan nuklir. Dengan demikian, pemanfaatan energi nuklir dalam bauran energi nasional dapat dilakukan, dengan tetap memperhatikan faktor-faktor pendukung lain, termasuk *political will* dan akseptasi publik.

2. Saran

- a. Perlunya usaha guna memberikan pemahaman kepada masyarakat tentang energi nuklir sebagai energi ramah lingkungan, sehingga dapat terwujudnya nuclear friendly society (masyarakat sadar potensi nuklir). Mendorong penyelesaian segera RUU EB-ET dengan menjadikan nuklir sebagai energi baru yang utama, serta melegalisasi dan memformulasikan regulasi pembentukan PLTN di Indonesia. Kajian dan penelitian terhadap potensi PLTN di Indonesia harus tetap dilaksanakan demi memenuhi kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat. Teknologi SMRs perlu dijadikan sebagai salah satu opsi yang penting untuk dibahas. Kerjasama teknologi dalam proses pembangunan juga harus dilakukan secara kolaboratif demi tercapainya cita pembangunan dan transisi energi sesuai SDGs dan NZE di Indonesia.
- b. Menyurakan komitmen pemerintah dalam mendukung pencapaian SDGs 2030 dan NZE 2060 melalui upaya pemanfaatan energi nuklir sebagai pembangkit daya di Indonesia. Hal ini penting dilakukan dalam upaya mewujudkan konkretisasi visi transisi energi yang dicanangkan sebagai bagian tidak terpisahkan dari konsep pembangunan berkelanjutan di tanah air.

E. Ucapan Terimakasih

Terima kasih pertama penulis haturkan pada Dekan Fakultas Hukum, Dr, Derita Prapti Rahayu, S.H., M.H., ketua Jurusan Hukum Universitas Bangka Belitung, Darwance, S.H., M.H, Sekretaris Jurusan Hukum, Muhammad Syaiful Anwar, S.H., L.L.M dan segenap dosen FH UBB yang telah membimbing penulis dan membantu dalam publikasi jurnal ini. Semoga tulisan ini bermanfaat dan dapat menjadi tambahan bagi khazanah keilmuan di Indonesia.

F. Daftar Pustaka

Asfani, D. A. et al. 2020. Electric Vehicle Research in Indonesia: A Road map, Road tests, and Research Challenges, IEEE Electrification Magazine.

- Bhutada, G., 2021. Smashing Atoms: The History of Uranium and Nuclear Power. [Online] Tersedia: <https://www.visualcapitalist.com/smashing-atoms-the-history-of-uranium-and-nuclear-power/>
- Change. Cambridge University Press.
- Dermawan, Erwin, 2014. Desain Pengembangan Model Alat Uji Reaktor Nuklir Tipe Small Modular Reactor (SMR) menggunakan Nanofluida Sebagai Fluida Pendingin. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta: Seminar Nasional Sains dan Teknologi.
- Dewan Energi Nasional, 2020. Indonesian Energy Outlook 2019. Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional.
- Direktorat Jendral Pengendalian Perubahan Iklim, Direktorat Inventarisasi GRK dan MPV, 2020. Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV), Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Jakarta: s.n.
- Doucette, R. T. and McCulloch, M. D. 2011. Modeling the CO₂ emissions from battery electric vehicles given the power generation mixes of different countries, Energy Policy.
- Doucette, R. T. and McCulloch, M. D. 2011. Modeling the prospects of plug-in hybrid electric vehicles to reduce CO₂ emissions, Applied Energy.
- Fahmi Irhamsyah, 2019. Sustainable Development Goals dan Dampaknya Bagi Ketahanan Nasional. Jurnal Kajian Lemhanas.
- Godard, O., The Stern Review on the Economics of Climate Change: isi, wawasan dan penilaian debat kritis, Surv. Perspektif. Integrasi Mengepung. Soc., 1 (2008) 17-36.
- Informasi di <https://www.youtube.com/watch?v=vMeUe0AYE0s> diakses 30 Juli 2021.
- Informasi <https://setkab.go.id/terima-kepala-batan-presiden-jokowi-minta-kaji-potensi-nuklir-di-tanah-air/> diakses 30 Juli 2021.
- International Atomic Energi Agency (IAEA), "Frequently Asked Chernobyl Question," IAEA, no date. [Online]. Tersedia: <https://www.iaea.org/newscenter/focus/chernobyl/faqs> (Accessed: 2 August 2022).
- International Atomic Energi Agency (IAEA), Advances in Small Modular Reactor Technology Development. Vienna: IAEA, 2020.
- International Atomic Energi Agency (IAEA). Design Safety Considerations for Water Cooled Small Modular Reactors Incorporating Lessons Learned from the Fukushima Daiichi Accident. Vienna: IAEA, 2020.
- Irianto, Sulistyowati. 2001. Metode Penelitian Kualitatif Dalam Penelitian. Jurnal Hukum dan Pembangunan, Vol.32, No.3.
- Islam, M. R. and Gabbar, H. A. 2015. Study of small modular reactors in modern microgrids', International Transactions on Electrical Energy Systems.

- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Cetak Biru Pengelolaan Energi Nasional 2005 – 2025", (2006).
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2022. ESDM One Map. Available at: <https://geoportals.esdm.go.id/ketenagalistrikan/> diakses 24 Maret 2022.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia (KESDM), "Miliki 127 Gunung Api Aktif Jadikan Indonesia "Laboratorium" Gunung Api Dunia," Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, March 26, 2018. [Online]. Tersedia di: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/miliki-127-gunung-api-aktif-jadikan-indonesia-laboratorium-gunung-api-dunia> [Diakses 20 Oktober, 2022].
- Keputusan Presiden Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional, Jakarta, 25 Januari (2006).
- Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV), Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Direktorat Jendral Pengendalian Perubahan Iklim, Direktorat Inventarisasi GRK dan MPV, 2021.
- Laporan Inventarisasi GRK, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2020.
- Luin, B., Petelin, S. and Al-Mansour, F. 2019. Microsimulation of electric vehicle energy consumption. Oxford University Press.
- Masson-Delmotte, V. et al. 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate.
- Muslim, Chairul. 2019. Mitigasi Perubahan Iklim dalam Mempertahankan Produktifitas Tanah. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, Vol.13, No.3.
- Nichol, M. and Desai, H. 2019. Cost Competitiveness of Micro-Reactors for Remote Markets. Nuclear Energy Institute (NEI): Washington, DC, USA.
- Ray, Deepak K. 2019. Climate Change Has Likely Already Affected Global Food Production. *Plos One*: Kyungpook National University.
- Rusyadi, Deddy dan Rachmawati, 2017. *Evaluasi Penilaian Kinerja Dengan Menggunakan Metode Analisis SMART dan Dampaknya Terhadap Kepuasan Kerja*. *Jurnal Ikatan Sarjana Ekonomi Indonesia (ISEI)*, Vol.1, No.2.
- Rusyadi, Deddy dan Rachmawati, 2017. *Evaluasi Penilaian Kinerja Dengan Menggunakan Metode Analisis SMART dan Dampaknya Terhadap Kepuasan Kerja*. *Jurnal Ikatan Sarjana Ekonomi Indonesia (ISEI)*, Vol.1, No.2.
- Sabatier. PA, Menuju Teori yang Lebih Baik dari Proses Kebijakan, *Asosiasi Ilmu Politik Amerika*. 24 (1991) 151.
- Septiningsih, Ismawati, dkk. 2020. Peluang dan Tantangan: Pemanfaatan Potensi Tenaga Nuklir Berbasis Smart Electricity Guna Memaksimalkan Penggunaan Energi Baru

Terbarukan Sebagai Upaya Mewujudkan Kedaulatan Energi di Indonesia. Prosiding Seminar Riset dan Teknologi Terapan.

Sugiawan Y, Managi S., Penerimaan publik pembangkit listrik tenaga nuklir di Indonesia: Menggambarkan peran sistem tata kelola multilevel, Tinjauan Strategi Energi, 26 (2019) 1-11.

Tim Penyusun. 2021. Kajian Akademik Nuklir Sebagai Solusi Dari Energi Ramah Lingkungan Yang Berkelanjutan Untuk Mengejar Indonesia Sejahtera Dan Rendah Karbon Pada Tahun 2050. 2021. Universitas Gadjah Mada: Pusat Studi Lingkungan Hidup.

World Nuclear Association, "Chernobyl Accident 1986," World Nuclear Association, April 2022. [Online]. Tersedia: <https://world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/chernobyl-accident.aspx> (Accessed: 2 August 2022).

Worldometer, Penduduk Indonesia, informasi di <https://www.worldometers.info/world-populasi/indonesia-populasi/> diakses 30 Oktober 2021