

# POLICY BRIEF



## MASA DEPAN ENERGI INDONESIA:

### KAJIAN KOMPREHENSIF PERCEPATAN PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR (PLTN) DI INDONESIA

---

#### Perumus:

- Imam Bayu P., S.T.
- Hafizh Akbar, S.Pd.
- Aliefia Noor, S.Si.
- Rahmat Eko S
- Andri Yanto
- Daniel Christian V.
- Asyifa Rizki D
- Handy Tri L.
- Dani Abdul A.
- Farras Faishal
- Gian F.
- Hairum Musa

## DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	2
EXECUTIVE SUMMARY.....	3
PENDAHULUAN .....	4
PEMBAHASAN .....	8
A. Aspek Kajian Kebijakan .....	8
1. Kajian Peluang Investasi .....	8
2. Kajian Peraturan .....	9
B. Aspek Kajian Teknis .....	16
1. Pertimbangan Pembangunan PLTN Tipe SMR di Indonesia.....	16
2. Analisis Potensi Tapak Lokasi PLTN SMR.....	18
3. Tingkat Keamanan SMR Dibandingkan dengan Reaktor Generasi Sebelumnya.....	21
4. Fitur Keselamatan SMR .....	23
5. Kesimpulan.....	25
C. Aspek Kajian Lingkungan.....	26
1. Aspek dampak terhadap lingkungan .....	26
2. Emisi Gas Rumah Kaca (GRK).....	30
3. Penggunaan Lahan .....	33
4. Penanganan Limbah .....	35
TUNTUTAN DAN HARAPAN .....	37
REFERENSI .....	40

## EXECUTIVE SUMMARY

Indonesia saat ini masih cukup bergantung dengan energi fosil yang dibuktikan dari pasokan energi primer Indonesia yang masih didominasi oleh minyak bumi dan batu bara. Disamping itu, penggunaan energi fosil yang semakin masif memberikan dampak yang negatif bagi lingkungan dengan dapat meningkatkan emisi/pengeluaran karbon dioksida dan gas rumah kaca lainnya. Indonesia juga memiliki komitmen tersendiri dalam mewujudkan reduksi emisi karbon dan pengendalian iklim yang terwujud dalam perjanjian *Paris Agreement* melalui Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016 pada tanggal 24 Oktober 2016. Penggunaan energi fosil yang masif di Indonesia dapat berpeluang menjadi kendala untuk Indonesia dapat mewujudkan komitmen terhadap pengendalian iklim dan reduksi emisi karbon. Indonesia perlu untuk mengembangkan dan semakin masif dalam penggunaan energi alternatif untuk pemenuhan kebutuhan elektrifikasi. Salah satu potensi yang dimiliki Indonesia adalah energi terbarukan yang meliputi potensi energi angin, air, dan matahari. Kendati demikian, sifat intermitensi yang dimiliki oleh sumber-sumber energi terbarukan tersebut menjadikan pemanfaatannya sangat bergantung pada kondisi alam yang menyebabkan energi yang dihasilkan kurang stabil dan memiliki efisiensi yang cukup rendah. Salah satu sumber energi ramah lingkungan yang memiliki efisiensi cukup baik dan kepadatan energi tinggi adalah energi nuklir. Pemerintah Indonesia sudah sejak lama menggaungkan pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir di Indonesia, namun masih dihadapkan pada problematika-problematika mendasar yang meliputi aspek keamanan, ekonomi, politis, penerimaan masyarakat, dan kesiapan wilayah. Problematika-problematika tersebut pada dasarnya dapat diselesaikan dengan melakukan kajian yang komprehensif dan komitmen pemerintah dalam mempersiapkan pembangunan PLTN. Berbagai kajian teknis dan regulasi yang ada dapat dimanfaatkan untuk dapat menjawab permasalahan yang menjadi penghambat pembangunan PLTN di Indonesia. Percepatan pembangunan PLTN di Indonesia dapat menjadi perhatian penting menimbang komitmen Indonesia yang harus menurunkan kadar emisi karbon berdasarkan perjanjian *Paris Agreement* sembari melakukan pemenuhan akan kebutuhan elektrifikasi. Sumber energi yang dapat mewujudkan hal itu dengan efisien dan cepat adalah energi nuklir.

## PENDAHULUAN

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 permintaannya. 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. 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 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 kontribusinya 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 energy*.

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%<sup>1</sup>. Kemudian, Indonesia berkomitmen dalam *Paris Agreement* melalui Undang-

---

<sup>1</sup> Pusat Studi Lingkungan Hidup Universitas Gadjah Mada, “Ringkasan Eksekutif “Kajian Akademik Nuklir Sebagai Solusi dari Energi Ramah Lingkungan yang Berkelanjutan untuk Mengejar Indonesia Sejahtera dan Rendah Karbon pada Tahun 2050” – Pusat Studi Lingkungan Hidup UGM,” Pusat Studi Lingkungan Hidup Universitas Gadjah Mada, 16 11 2021. [Online]. Tersedia: <https://pslh.ugm.ac.id/ringkasan-eksekutif-kajian-akademik-nuklir-sebagai-solusi-dari-energi-ramah-lingkungan-yang-berkelanjutan-untuk-mengejar-indonesia-sejahtera-dan-rendah-karbon-pada-tahun-2050/>. [Diakses 21 10 2022].

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 Indonesia 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 pertambahan waktu. 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<sup>2</sup>.

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

---

<sup>2</sup> Worldometer, Penduduk Indonesia, informasi di <https://www.worldometers.info/world-populasi/indonesia-populasi/> diakses 30 Oktober 2021

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.

Dari keempat permasalahan tersebut, dilakukan kajian dengan lebih mendalam mengenai aspek kebijakan pembangunan PLTN, meliputi peluang investasi dan regulasi, aspek teknis PLTN, serta aspek lingkungan.

## PEMBAHASAN

### A. Aspek Kajian Kebijakan

#### 1. 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.

## **2. Kajian Peraturan**

Kebijakan internasional untuk pengendalian masalah iklim dipengaruhi oleh kekuatan dan kecepatan implementasi kebijakan, serta implementasi

inovasi mitigasi emisi karbon oleh masyarakat internasional<sup>3</sup>. 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<sup>4</sup>.

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<sup>5</sup>. 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<sup>6</sup>.

Kebijakan pemanfaatan tenaga nuklir untuk kepentingan damai telah diatur dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 31 Tahun 1964 tentang Ketentuan-ketentuan Pokok Tenaga Atom<sup>7</sup>, yang kemudian diperbarui dalam Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Tenaga Nuklir.<sup>8</sup> 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

---

<sup>3</sup>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.

<sup>4</sup> Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change 24 Oktober (2016).

<sup>5</sup> Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2007 tentang Kebijakan Energi Nasional, 10 Agustus (2007).

<sup>6</sup> Hannah Ritchie dan Max Roser, "Our World in Data: Nuclear Energi", informasi di <https://ourworldindata.org/nuclear-energi>, diakses 30 Juli 2021.

<sup>7</sup> Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 31 Tahun 1964 tentang Ketentuan-Ketentuan Pokok Tenaga Atom 26 November (1964).

<sup>8</sup> Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 1997 tentang Tenaga Nuklir, 10 April (1997)

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**. Daftar Kebijakan Publik Terkait Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir. secara kronologis. 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 Nasional<sup>9</sup> dan tertuang dalam Cetak Biru Pengelolaan Energi Nasional 2005–2025<sup>10</sup>, pasokan bauran energi dari minyak bumi diminimalkan, sekaligus pasokan energi dari batubara meningkat. Dalam Perpres No. 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. Ke depan pembangunan 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.

**Tabel 1.** Daftar Kebijakan Publik Terkait Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir.

No.	<i>Rule/Regulation</i>	<i>Subject</i>
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

<sup>9</sup> Keputusan Presiden Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional, Jakarta, 25 Januari (2006).

<sup>10</sup> Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Cetak Biru Pengelolaan Energi Nasional 2005 – 2025", (2006).

No.	Rule/Regulation	Subject
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

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 Energi<sup>11</sup>. Undang-undang tersebut mengamatkan 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

---

<sup>11</sup> Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi (2007)

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. 1 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<sup>12</sup>.

Menuju pemanfaatan energi nuklir, 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 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<sup>13</sup>. Perekonomian merupakan salah satu sektor yang bergantung pada energi, dan energi memiliki peran penting dalam meningkatkan pembangunan ekonomi suatu negara.

Dengan mengkaji seluruh potensi PLTN, energi nuklir berpotensi untuk memenuhi kebutuhan listrik Indonesia yang berkapasitas tinggi, andal dan

---

<sup>12</sup> Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2021 tentang Pelaksanaan Izin Usaha Berbasis Risiko (2021).

<sup>13</sup> Informasi di [https://web.pln.co.id/statics/uploads/2020/08/pln\\_2019-sustainability-report-41.pdf](https://web.pln.co.id/statics/uploads/2020/08/pln_2019-sustainability-report-41.pdf) diakses 30 Juli 2021.

stabil, maka keputusan untuk menggunakan PLTN di Indonesia perlu segera diumumkan<sup>14</sup>.

Proses kebijakan ditentukan oleh keputusan institusional, regulasi, dan konstitusi<sup>15</sup>. 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<sup>16</sup>. 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<sup>17</sup>. 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

---

<sup>14</sup> Informasi <https://setkab.go.id/terima-kepala-batan-presiden-jokowi-minta-kaji-potensi-nuklir-ditanah-air/> diakses 30 Juli 2021

<sup>15</sup> Sabatier. PA, Menuju Teori yang Lebih Baik dari Proses Kebijakan, *Asosiasi Ilmu Politik Amerika*. 24 (1991) 151.

<sup>16</sup> Adam AA, Gambaran Umum Pendekatan Kajian Politik Publik. *Jurnal Internasional Ilmu Politik*. 4 (2018) 17-08.

<sup>17</sup> Rogner, Holger, H., Kupitz, Jürgen, Langlois, Lucille, McDonald, Alan. Inovasi Dalam Teknologi Nuklir: Kunci Sukses Masa Depan. *Energi & Lingkungan*. 13 (2002). 618.

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<sup>18</sup>. 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<sup>19</sup>. 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.

## **B. Aspek Kajian Teknis**

### **1. Pertimbangan Pembangunan PLTN Tipe SMR di Indonesia**

Pembangkitan listrik dari nuklir terjadi pada tempat yang disebut PLTN dengan bermacam tipe, dengan klasifikasi dari material bahan bakar nuklir, material pendingin, sistem siklus di dalam reactor, dan lain sebagainya. *Small Modular Reactor* (SMR) adalah reaktor PLTN yang memiliki ukuran relatif

---

<sup>18</sup> 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.

<sup>19</sup> Informasi di <https://www.youtube.com/watch?v=vMeUe0AYE0s> diakses 30 Juli 2021.



lebih kecil dibanding jenis reaktor PLTN lainnya. SMR menggunakan uranium dengan pengayaan 3% - 5% seperti reaktor lain, namun dengan desain yang lebih sederhana<sup>20</sup>. Reaktor SMR memiliki berbagai macam tipe berdasarkan pendinginnya, namun sebagian besar reaktor yang ada saat ini merupakan reaktor dengan pendingin air. Terdapat beberapa alasan mengapa Indonesia cocok menggunakan reaktor PLTN tipe SMR berpendingin air.

**a. Alasan Produksi Daya**

Satu SMR memiliki kapasitas kurang dari sama dengan 300 MW. Apabila dibutuhkan daya yang lebih besar, maka unit reaktor dapat ditambahkan jumlahnya sesuai keperluan. Hal ini tentunya dapat meminimalkan pemborosan akibat reaktor yang terlalu besar namun kebutuhan lebih kecil. Selain itu juga dapat menoleransi penambahan atau pengurangan kebutuhan listrik kedepannya.

**b. Alasan Geografis**

Desain reaktor SMR memiliki bentuk yang ringkas, membuatnya dapat dirangkai menjadi beberapa unit dalam satu area PLTN. Hal ini juga membuat unit reaktor SMR dapat dipindahkan ke tempat yang lain dengan armada. Kelebihan ini cocok digunakan pada Indonesia yang memiliki daerah kepulauan, dengan kepadatan penduduk yang kurang merata.

**c. Aspek Keselamatan**

Keselamatan adalah hal utama yang ditinjau dari sebuah teknologi nuklir. Pada desain SMR, telah digunakan sistem pertahanan berlapis / *defense in depth* dengan sistem keselamatan bersifat pasif. Selain itu ukuran yang relatif kecil dan desain sederhana, membuat aspek keselamatannya lebih mudah untuk ditinjau, dimonitor, dan dievaluasi. Namun tidak dipungkiri akan selalu ada kekhawatiran akan bencana seperti Chernobyl dan Fukushima Daiichi. Untuk mengetahui keamanan SMR pada masa kini, perlu ditinjau bagaimana kedua kecelakaan yang pernah terjadi.

---

<sup>20</sup> International Atomic Energy Agency (IAEA), *Advances in Small Modular Reactor Technology Development*. Vienna: IAEA, 2020

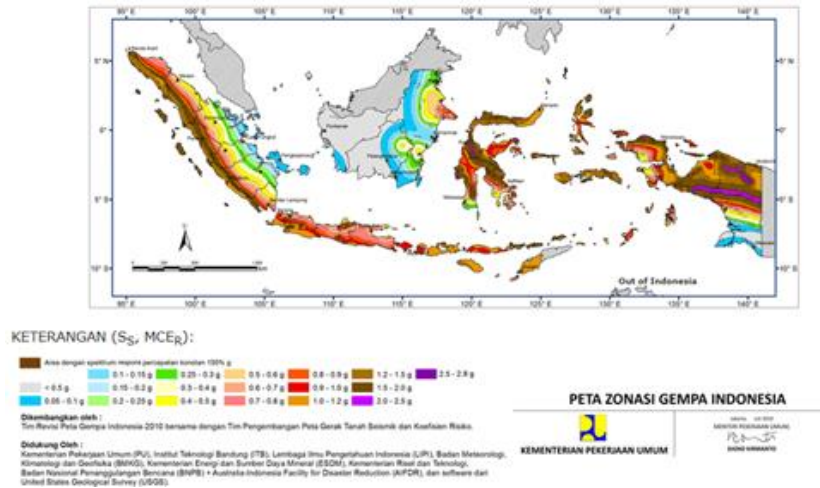
## 2. Analisis Potensi Tapak Lokasi PLTN SMR

Pemilihan tapak untuk pembangunan PLTN perlu memperhatikan beberapa kriteria yang sangat kompleks. Kriteria tapak untuk pembangunan PLTN penting untuk memastikan kriteria keselamatan pada PLTN. Parameter teknis pemilihan tapak lokasi bertujuan untuk memastikan adanya fasilitas dan pembangunan akses ke tempat tapak, koneksi ke jaringan eksternal, kondisi geologi lokal, dan keberadaan air sebagai pendingin. Beberapa parameter teknis pemilihan tapak PLTN meliputi aspek seismik kegempaan, aspek kegunungapian, dan aspek peninjauan lingkungan dan demografi.

### a. Aspek Seismik Kegempaan

Gempa Bumi adalah getaran yang ditimbulkan oleh pergerakan lempeng permukaan tanah akibat dari pergerakan sesar. Gempa bumi dapat membahayakan integritas semua struktur pembangkit listrik termasuk berbagai sistem keselamatan yang ditempatkan di antara bahan fisil dan lingkungan. Beberapa peraturan mengarah pada pengecualian apriori dari tapak tertentu jika tingkat getaran seismik berpotensi sangat tinggi, tetapi praktik otoritas keselamatan umumnya menetapkan karakteristik "toleransi keamanan gempa" untuk diambil perhitungan, berdasarkan analisis sejarah dan seismo-tektonik tapak. Untuk menganalisis lokasi tapak terhadap aspek kegempaan dapat diketahui melalui peta seismik di Indonesia yang ditunjukkan pada **Gambar 1**.

Pendekatan yang dilakukan terkait tingkat intensitas kegempaan yang ditoleransi salah satu contohnya adalah Prancis, di mana PLTN berdaya 1.300 MWe dan 1.450 MWe, derajat VIII dari mengacu pada skala internasional, dimana percepatan tanah horizontal maksimumnya adalah 0,15 g. Pendekatan ini, apabila diterapkan untuk di Indonesia regional wilayah yang memiliki spektrum <0,5 g; 0,05-0,1 g; dan 0,1-0,15 g saja yang memenuhi kriteria tersebut. Regional yang memenuhi toleransi kegempaan yaitu Sumatra di Pulau Bangka Belitung dan sisi Timur Pulau Sumatra, sisi Barat Kalimantan, dan sisi Selatan Papua.

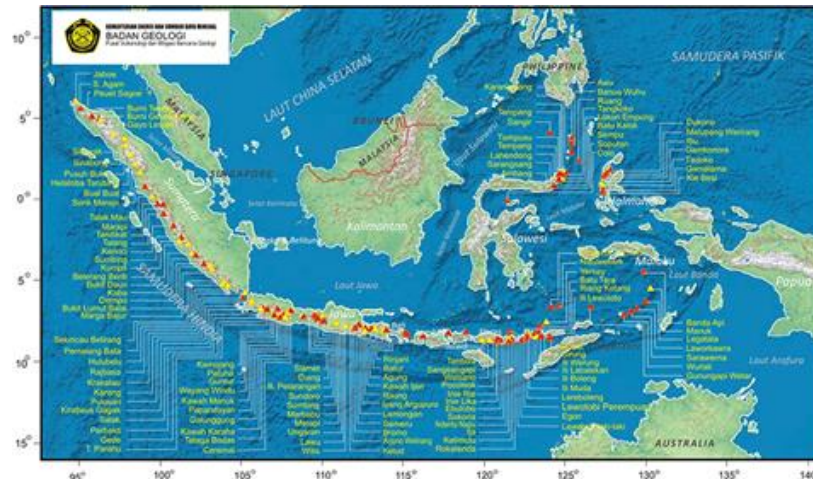


**Gambar 1** Peta Seismik di Indonesia<sup>21</sup>

### b. Aspek Kegunungapian

Hingga saat ini, belum ada kecelakaan reaktor nuklir yang disebabkan oleh gunung api di seluruh dunia. Meskipun hal tersebut belum pernah terjadi, pemilihan tapak lokasi PLTN perlu menganalisis potensi bahaya gunung api. Tahap evaluasi bahaya gunung api dilakukan untuk menentukan frekuensi, sifat, dan besar potensi bahaya jika hasil pengkajian tahap sebelumnya menunjukkan potensi produk gunung api mencapai tapak. Berdasarkan **Gambar 2**, mengenai persebaran gunung api di Indonesia, regional yang memenuhi aspek kegunungapian adalah Pulau Sumatra bagian timur, Pulau Bangka Belitung, Pulau Kalimantan, Sulawesi Selatan, dan Pulau Papua.

<sup>21</sup> M. Asrurifak, dkk, "Materi ke-17: Rekayasa Kegempaan: Peta Gempa Indonesia 2017," Pusat Studi Gempabumi Nasional, Bandung, Indonesia, Mei 2018. [Online]. Tersedia: [https://bpsdm.pu.go.id/center/pelatihan/uploads/edok/2018/05/f54c9\\_17\\_REKAYASA\\_KEGEMPAAAN\\_PETA\\_GEMPA\\_INDONESIA\\_2017\\_-\\_ASRURIFAK.pdf](https://bpsdm.pu.go.id/center/pelatihan/uploads/edok/2018/05/f54c9_17_REKAYASA_KEGEMPAAAN_PETA_GEMPA_INDONESIA_2017_-_ASRURIFAK.pdf) [Accessed Oct 20, 2022]



**Gambar 2** Peta Persebaran Gunung Api di Indonesia<sup>22</sup>

### c. Aspek Lingkungan dan Demografi

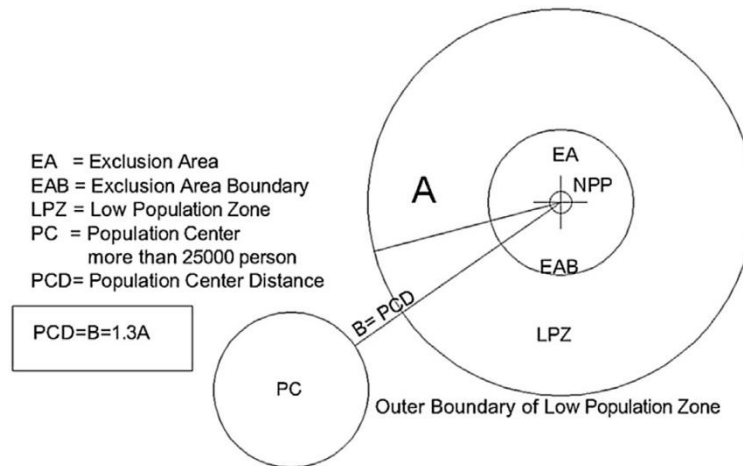
Peninjauan aspek lingkungan dan demografi perlu dilakukan untuk mengurangi aktivitas manusia di sekitar tapak PLTN terkait dengan aspek keselamatan. Beberapa poin penting terkait aspek lingkungan adalah:

#### a) *Exclusion Area*

*Exclusion Area* (EA) adalah area di sekitar reaktor dan berada di bawah wewenang penuh pemilik lisensi PLTN untuk menentukan semua kegiatan termasuk pemindahan personel dan properti dalam daerah tersebut. Daerah ini dapat dilalui jalan raya, rel kereta api, atau jalan air, selama tidak terlalu dekat dengan fasilitas sehingga mengganggu operasi normal fasilitas serta memiliki pengaturan lalu lintas transportasi yang efektif sehingga dapat menjamin keselamatan dan kesehatan masyarakat jika terjadi kasus darurat. Pada EA tidak diperbolehkan adanya pemukiman penduduk dan batasan tertentu untuk kegiatan di sekitar daerah PLTN, selama tidak menimbulkan dampak negatif terhadap keselamatan dan kesehatan masyarakat<sup>23</sup>.

<sup>22</sup> 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]. Tersediaable: <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]

<sup>23</sup> U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, "USNRC Regulations 10 CFR: Part 100 - Reactor Site Criteria, Section 100.11: Determination of Exclusion Area, Low Population Zone, and Population Center



**Gambar 3** Penentuan Zona di Sekitar PLTN berdasarkan Jarak<sup>24</sup>

*b) Low Population Zone*

*Low Population Zone (LPZ)* adalah area yang mengelilingi EA. Pada LPZ diperbolehkan terdapat penduduk dengan jumlah total dan kepadatan penduduk yang sedemikian rupa sehingga perlindungan dan keselamatan penduduk di area tersebut dapat dijamin jika terjadi kecelakaan serius. Jaminan perlindungan dan keselamatan yang dimaksud seperti kemampuan evakuasi penduduk dari lokasi atau ketersediaan shelter, yang bergantung pada banyak faktor seperti lokasi, jumlah dan ukuran jalan raya, serta distribusi penduduk dalam area<sup>25</sup>.

**3. Tingkat Keamanan SMR Dibandingkan dengan Reaktor Generasi Sebelumnya**

**a. Chernobyl Disaster (1986)**

Reaktor Chernobyl menggunakan reaktor tipe RBMK yang dikembangkan sendiri oleh Uni Soviet. Kecelakaan Chernobyl Unit 4 disebabkan utamanya oleh kelalaian operator. Reaktor Chernobyl adalah

Distance," [Online]. Tersediaable: <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part100/full-text.html#part100-0011> [Diakses, 20 Oktober 2022].

<sup>24</sup> S. Morsy, "Fine tuning of siting a nuclear power plant with special consideration to population distribution," *Journal of Radiation Researches and Applied Sciences*, vol. 6, pp. 45 - 48, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2013.10.005>

<sup>25</sup> S. Morsy, "Fine tuning of siting a nuclear power plant with special consideration to population distribution," *Journal of Radiation Researches and Applied Sciences*, vol. 6, pp. 45 - 48, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2013.10.005>

sebuah PLTN namun Unit 4 justru digunakan untuk eksperimen dengan mematikan semua sistem keselamatan. Ketika terjadi lonjakan energi secara tiba-tiba, tidak ada sistem keselamatan untuk mematikan reaktor. Para teknisi juga tidak memperhatikan sistem pengukuran yang ditampilkan pada panel operator. Munculnya lonjakan energi juga melampaui kemampuan air pendingin untuk menyerap kalor, sehingga seluruh air menguap dan membuat tekanan uap terlalu kuat sehingga meledakkan kubah reaktor, membuat lepasnya material radioaktif ke lingkungan. Disamping itu, musibah ini juga diakibatkan oleh operator yang bekerja pada shift itu masih belum mumpuni. Moderator pun terbuat dari grafit, yang terbakar pada suhu sangat tinggi dan tidak bisa digunakan mengendalikan reaktor. Reaktor Chernobyl juga tidak memiliki kubah eksternal sehingga lepasnya material radioaktif dapat langsung menuju lingkungan<sup>26,27</sup>.

#### **b. Fukushima Daiichi Disaster (2011)**

Kecelakaan ini disebabkan oleh bencana tsunami. Reaktor Fukushima Daiichi memiliki sistem keamanan yang bersifat aktif, bermakna pendingin harus dipompakan ke teras reaktor untuk mengambil kalornya. Ketika terjadi gempa (sebelum tsunami), reaktor didesain untuk menghentikan operasinya / dimatikan otomatis ketika terkena getaran bumi. Namun pembangkitan daya tidak bisa langsung berhenti ketika reaktor dimatikan, karena masih terjadi reaksi peluruhan radioaktif yang memiliki energi kalor. Pembangkitan daya dari peluruhan ini berlangsung lama dan harus selalu dialiri air pendingin supaya panasnya dapat dilepas ke lingkungan.

Saat terjadi tsunami, air laut merusak mesin-mesin pompa. Pompa lainnya pun tidak bisa dihidupkan karena sumber listrik darurat untuk pompa pendingin telah rusak terkena tsunami. Ketiadaan pendingin yang mengalir menyebabkan reaktor menjadi *overheat*, hingga membuat air pendingin menguap membentuk uap *superheat* bersuhu sangat tinggi. Uap

---

<sup>26</sup> International Atomic Energy Agency (IAEA), "Frequently Asked Chernobyl Question," IAEA, no date. [Online]. Tersedia: <https://www.iaea.org/newscenter/focus/chernobyl/faqs> (Accessed: 2 August 2022)

<sup>27</sup> 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)

ini akan bereaksi dengan kelongsong bahan bakar reaktor yang berbahan Zircon Alloy dan terbentuk gas hidrogen. Akumulasi gas hidrogen semakin lama tekanannya akan semakin besar. Fenomena ini akhirnya membuat 3 unit reaktor meledak akibat tekanan tersebut dan membuat material radioaktif lepas ke lingkungan<sup>28</sup>.

#### 4. Fitur Keselamatan SMR

Reaktor SMR menggunakan sistem keamanan dengan prinsip *Defense in Depth* (DiD), yaitu pertahanan berlapis untuk memperkecil kemungkinan dampak dari radiasi nuklir ke lingkungan. Pada SMR sistem pendingin reaktor pasca-*shutdown* didesain bekerja secara pasif, yang bermakna air pendingin dapat bergerak secara alami mengikuti hukum alam yang menjadi karakternya. Hal ini membuat pendingin dapat bekerja tanpa menggunakan sumber tenaga eksternal (tidak seperti reaktor Fukushima Daiichi yang menggunakan pompa), sehingga memberi jaminan keberlangsungan pendinginan yang lebih pasti dan handal. Bejana dan teras reactor SMR diletakkan pada posisi yang lebih rendah dari kolam air pendingin, sehingga bila terjadi kelebihan daya atau energi yang muncul, air dapat mendinginkannya secara pasif<sup>29</sup>.

##### a. *Residual Heat Removal System*

Seperti yang telah dijelaskan pada Fukushima Daiichi Disaster, pembangkitan daya tidak dapat langsung berhenti sebab masih terjadi reaksi peluruhan radioaktif yang menghasilkan energi. Untuk menjamin energi panas dari reaksi nuklir yang masih berjalan tetap tidak membahayakan (belajar dari reaktor Fukushima Daiichi), maka pada reaktor SMR digunakan *Residual Heat Removal System* (RHRS) yang berdasar pada sistem keamanan pasif pada paragraf sebelumnya. RHRS ini dicapai dengan meletakkan reaktor lebih rendah dari permukaan kolam air pendingin, kemudian

---

<sup>28</sup> International Atomic Energy Agency (IAEA), "Frequently Asked Chernobyl Question," IAEA, no date. [Online]. Tersedia <https://www.iaea.org/newscenter/focus/chernobyl/faqs> (Diakses: 2 August 2022)

<sup>29</sup> International Atomic Energy Agency (IAEA), "Frequently Asked Chernobyl Question," IAEA, no date. [Online]. Tersedia: <https://www.iaea.org/newscenter/focus/chernobyl/faqs> (Accessed: 2 August 2022)

menyambungkan pipa tertentu untuk melewati kolam tersebut. Hal ini dapat dicapai dalam 2 bentuk penyaluran; melalui *Steam Generator* atau melalui *Pump and Heat Exchanger*. Sementara terdapat sistem ketiga yang tidak menggunakan pipa, disebut RHRS dengan *Passively Cooled Condenser*<sup>30</sup>.

**b. Safety Injection System (SIS)**

SIS dicapai dengan 2 macam, yaitu High Pressure Injection System (HPIS) dan Low Pressure Injection System (LPIS). Sistem ini menjaga keamanan reactor dari ancaman perubahan tekanan yang ekstrim, baik itu tekanan tinggi maupun tekanan rendah supaya dapat tetap stabil dan mampu ditahan oleh bejana reactor. Beberapa macam HPIS dan LPIS tercatat dibawah ini<sup>31</sup>.

HPIS:

- *Safety injection using pressurized tank*
- *Gravity driven safety injection system*
- *Injection system using head pump*
- *Turbine driven injection system*

LPIS:

- *Low head pump injection system*
- *Passive low pressure injection system through elevated tank*
- *Safety injection using pressurized tank*
- *Safety injection using recirculation valves*

**c. Containment System / Sistem Pengungkungan**

Sistem pengungkungan memiliki 3 fungsi utama: (a) Pengungkungan zat radioaktif dalam kondisi normal maupun kecelakaan, (b) Perlindungan pada PLTN terhadap bahaya alami yang ekstrim dan kesalahan oleh manusia, (c)

---

<sup>30</sup> International Atomic Energy Agency (IAEA). *Design Safety Considerations for Water Cooled Small Modular Reactors Incorporating Lessons Learned from the Fukushima Daiichi Accident*. Vienna: IAEA, 2020

<sup>31</sup> International Atomic Energy Agency (IAEA). *Design Safety Considerations for Water Cooled Small Modular Reactors Incorporating Lessons Learned from the Fukushima Daiichi Accident*. Vienna: IAEA, 2020



Perisai Radiasi pada kondisi operasional dan kecelakaan. Containment system memiliki beberapa macam yaitu<sup>32</sup>:

- *Pressure Surpression containment*
- *Concrete containment with spray system*
- *Submerged metal containment*
- *Passively cooled large volume metal containment*

#### **d. Fitur Mitigasi Kecelakaan buruk**

Mekanisme ini berfungsi untuk menangani keadaan darurat supaya dapat lebih terkendali. Fitur mitigasi terdiri dari beberapa variasi [8], yaitu:

- *In vessel retention system*, berguna membanjiri bagian bawah bejana reactor untuk memberikan pendingin tambahan.
- *Core catcher*, berguna untuk menampung bahan bakar yang melelehkan bejana reactor supaya kebocoran tidak mengalir ke lingkungan, namun langsung masuk ke bunker khusus untuk tetap mengungkungnya
- *Hydrogen control system*, berguna untuk merekombinasikan gas hydrogen dengan oksigen kembali supaya tekanan tidak terlalu tinggi.
- *Fitered containment venting system*, berguna untuk melepas sebagian gas dari dalam kubah reactor ke atmosfer untuk mencegah tekanan berlebih dengan penyaringan khusus supaya material radioaktif tidak ikut lepas ke udara.

## **5. Kesimpulan**

Pertimbangan teknis dalam pembangunan SMR sangat diperlukan untuk memastikan aspek keselamatan PLTN. Tipe SMR memiliki desain dan kemampuan yang selaras dengan kebutuhan daya, dan kondisi geografis Indonesia. Opsi pemilihan tapak pembangunan SMR dapat dipilih pada regional yang memiliki aspek gempa, gunung api, demografi, dan aspek studi tapak

---

<sup>32</sup> 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

lainnya, yaitu di wilayah timur Sumatera, Kepulauan Bangka Belitung, sisi barat Pulau Kalimantan, sisi Selatan Pulau Sulawesi, dan sisi selatan Pulau Papua. SMR juga memiliki fitur keamanan yang berlapis banyak sehingga sangat menjamin keamanan dan keselamatan selama dioperasikan di wilayah yang telah diputuskan sesuai peraturan BAPETEN yang berlaku.

### **C. Aspek Kajian Lingkungan**

Mengenai penggunaan energi nuklir, dilakukan perbandingan atau komparasi terhadap sumber energi listrik lain dalam aspek-aspek yang membuat energi ramah lingkungan seperti dampak terhadap lingkungan, emisi gas rumah kaca, penggunaan lahan, densitas energi yang dihasilkan, serta penanganan limbah<sup>33</sup>.

#### **1. Aspek dampak terhadap lingkungan**

Pembangunan fasilitas pembangkit listrik tidak dapat dipisahkan dari dampaknya terhadap lingkungan sekitar. Semakin besar energi listrik yang ingin dihasilkan, maka semakin luas pula fasilitas yang akan dibangun. Selain itu, dampak secara langsung dari operasi yang dilakukan untuk menghasilkan listrik juga memberikan dampak signifikan secara global.

Hal ini dapat dilihat dari listrik yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbasis batu bara. Pembangkit ini menggunakan batu bara sebagai penghasil panas, yang kemudian akan digunakan untuk menghasilkan uap dan memutar turbin. Batu bara dipilih karena memiliki harga yang lebih murah dibanding gas alam. Selain itu, panas yang dihasilkan batu bara bersifat stabil dan tidak terpengaruh dengan perubahan cuaca. Batu bara merupakan cara paling ‘kuno’ dan paling mudah untuk menghasilkan energi listrik, sehingga masih banyak digunakan di seluruh penjuru dunia. Sebanyak 36,7% listrik dunia pada tahun 2021 dihasilkan oleh batu bara,

---

<sup>33</sup> Pusat Studi Lingkungan Hidup Universitas Gadjah Mada, 2021. Ringkasan Eksekutif “Kajian Akademik Nuklir Sebagai Solusi dari Energi Ramah Lingkungan yang Berkelanjutan untuk Mengejar Indonesia Sejahtera dan Rendah Karbon pada Tahun 2050” – Pusat Studi Lingkungan Hidup UGM. [Online] Tersedia: <https://pslh.ugm.ac.id/ringkasan-eksekutif-kajian-akademik-nuklir-sebagai-solusi-dari-energi-ramah-lingkungan-yang-berkelanjutan-untuk-mengejar-indonesia-sejahtera-dan-rendah-karbon-pada-tahun-2050/> [Diakses 21 10 2022].

menjadikannya sumber energi terbesar<sup>34</sup>. Namun penggunaan batu bara dan gas alam, memberikan dampak signifikan terhadap polusi udara terutama di sekitar fasilitas tersebut.

Pembakaran batu bara akan menghasilkan gas rumah kaca seperti karbon dioksida, nitrogen, dan metana ke udara. Apabila gas-gas ini bereaksi dengan uap air di udara, maka dimungkinkan terjadinya hujan asam. Selain itu, gas tersebut dapat memerangkap energi dari matahari yang akan dipantulkan dari bumi, mengakibatkan kenaikan suhu di dalamnya. Apabila ini terus dibiarkan, maka suhu permukaan bumi akan naik dalam beberapa puluh tahun ke depan. Menurut perkiraan NASA, suhu bumi pada akhir abad ini akan naik sampai 1,5° C. Hal ini akan berakibat pada mencairnya es di kutub dan kenaikan level lautan, menyebabkan beberapa daratan rendah akan tenggelam dalam jangka waktu tersebut.

Untuk mengurangi pelepasan berlebih karbon dioksida dan gas rumah kaca lainnya ke udara, pemerintah seluruh belahan dunia telah sepakat memperbanyak penggunaan renewable energi. Energi terbarukan memaksimalkan apa yang dimiliki bumi dan dapat terus diperbarui, seperti air, udara, dan sinar matahari. Energi yang dihasilkan pun juga tidak memberikan polusi udara bagi lingkungan sekitar, karena tidak ada proses pembakaran. Namun satu hal yang menjadi kekurangan dari energi terbarukan adalah munculnya perubahan penampakan lingkungan sebagai akibat dari pembangunan fasilitas.

Hal ini dapat dilihat seperti pada pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) di Cirata. PLTA Cirata merupakan pembangkit listrik tenaga air terbesar di Indonesia, dengan luas total fasilitas 43.000 hektar. Waduk Cirata terbentuk dari adanya genangan air seluas 62 km<sup>2</sup> akibat pembangunan waduk yang membendung Sungai Citarum. Genangan waduk tersebut tersebar di 3 (tiga) kabupaten, yaitu Kabupaten Cianjur, Purwakarta dan Kabupaten Bandung. PLTA ini memiliki kapasitas 1008 Megawatt (MW), yang terdiri

---

<sup>34</sup> World gross electricity production by source, 2019 – Charts – Data & Statistics (no date) IEA. Tersedia: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-gross-electricity-production-by-source-2019> (Accessed: 2 November 2022).

dari 4 unit Cirata I dan 4 unit Cirata II. Listrik yang dihasilkan dari fasilitas ini mampu menerangi ribuan rumah di Jawa-Madura-Bali.

Dengan total luas wilayah mencapai ribuan hektar, tentu ada banyak bangunan dan pepohonan yang ditata ulang. Penataan ulang ini dapat mengakibatkan potensi bencana lain yang berkaitan dengan hujan, karena akan ada banyak pohon yang ditebangi. Apalagi jika di sekitar bendungan tersebut dihuni oleh masyarakat, maka diperlukan dana tambahan untuk me-relokasi mereka ke tempat baru. Apabila dalam pembangunannya tidak dilakukan pembangunan berkelanjutan pada wilayah sekitar PLTA, maka sangat dimungkinkan terjadi polemik di masa depan.

Masalah lain yang berkaitan dengan dibangunnya fasilitas PLTA adalah penurunan kualitas air di pada bendungan. Air yang mengalir ke bendungan dan fasilitas pembangkit, biasanya merupakan air yang tercampur dari berbagai macam tempat. Salah satu tempat yang memanfaatkan aliran air untuk pembuangan limbahnya adalah pabrik. Sehingga dengan dikumpulkannya berbagai macam aliran air tersebut ke suatu tempat, menyebabkan penurunan kualitas air secara umum, yang apabila dikonsumsi oleh masyarakat luas dapat menimbulkan berbagai isu kesehatan.

Perubahan ketampakan lingkungan juga dapat dilihat pada fasilitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Salah satu fasilitas PLTS terbesar di dunia terdapat di Cina, yaitu Tengger Desert Solar Park yang terletak di Zhongwei, Ningxia. Fasilitas pembangkit ini terbentang seluas 1.200 km, memenuhi 3,2% dari total luas padang pasir Tengger. PLTS ini memiliki kapasitas 1.547 MW, dan mampu menyuplai energi bersih untuk kebutuhan 600.000 rumah di Cina.

Energi yang dihasilkan dari matahari terlihat sangat menjanjikan di masa depan, mengingat matahari akan terus memancarkan sinarnya sampai dunia berakhir. Menjadikannya sumber energi yang benar-benar tak terbatas. Namun potensi energi tersebut masih cukup jauh dari angan karena efisiensi tertinggi yang dimiliki oleh panel surya masih berada di kisaran 20%. Panel surya sangat bergantung pada intensitas cahaya matahari yang diterima, membuatnya sulit bekerja pada musim dingin dan musim penghujan. Efisiensi

yang masih rendah serta ketergantungan terhadap cuaca membuat energi surya masih belum bisa dipandang mampu menangani kebutuhan energi global.

Selain itu, ada masalah lain yang berkaitan dengan keindahan dan kesehatan lingkungan. Untuk mengejar kemampuan PLTU dalam menghasilkan energi listrik yang besar, PLTS memerlukan panel surya dalam jumlah yang besar. Jika fasilitas ini dibangun di tanah yang tidak dihuni manusia, keindahan lingkungan tersebut akan tertutupi oleh panel surya. Tentunya, wilayah yang dibutuhkan adalah wilayah yang tidak tertutupi oleh banyak pepohonan agar tidak mengganggu intensitas cahaya yang diterima. Hal ini dapat menjadi masalah serius bagi lingkungan sekitar apabila ada ribuan hektar lahan yang digunduli demi pembangunan PLTS. Selain itu, masih ada permasalahan mengenai pembuatan sistem fotovoltik panel surya. Untuk mendapatkan sistem fotovoltik, diperlukan bahan kimia yang beracun dan berbahaya bagi lingkungan seperti arsenik, kadmium, dll. yang menghasilkan produk turunan seperti hexafluorida, silikon tetraklorida, sulfur, dsb. Bahan kimia tersebut memang tidak memberikan dampak berbahaya ke perubahan iklim layaknya rumah kaca, namun masih berbahaya bagi manusia dan lingkungan.

Fasilitas pembangkit listrik lain yang juga menjadi incaran di Indonesia adalah Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Potensi energi bayu di Indonesia sebesar 60,6 GW, namun saat ini masih sangat kecil pemanfaatannya di Indonesia. Ada setidaknya 2 PLTB yang sudah beroperasi secara komersial yaitu PLTB Sidrap dan PLTB Jeneponto di mana keduanya sama-sama berada di Provinsi Sulawesi Selatan. Kedua PLTB ini mampu memenuhi kebutuhan listrik hingga 60 ribu rumah di masing-masing fasilitas.

Potensi PLTB di Indonesia menjadi sangat besar karena bentang alamnya yang memiliki banyak daerah pantai. Daerah pantai memiliki pergerakan angin yang sangat tinggi, menyebabkan listrik yang dihasilkan cenderung stabil. Dibandingkan PLTS yang masih punya banyak kekurangan mengenai limbah beracun, PLTB menghasilkan listrik sebagai akibat dari energi mekanik, sehingga tidak ada bahan kimia berbahaya yang dihasilkan. Selain itu, pembangunan PLTB di beberapa tempat dunia cenderung meningkatkan

potensi wisata dan ekonomi di wilayah tersebut. Bentang alam yang dihasilkan menjadi lebih menakutkan, apabila dibandingkan dengan PLTU yang biasanya diikuti dengan kepulan asap ataupun PLTS yang mengubah penampakan alam dari atas.

Masalah utama sebenarnya dari PLTB adalah potensi kecelakaan pada makhluk hidup dan lingkungan sekitar. Baling-baling turbin yang bergerak sepanjang waktu dapat membahayakan hewan-hewan yang terbang di udara. Walaupun masalah ini dapat diatasi dalam batas-batas tertentu, ancaman kehidupan bagi satwa liar masih tidak dapat diatasi. Turbin yang dibangun ratusan meter di udara juga memiliki potensi bencana ketika cuaca ekstrem. Komponen yang terbuat dari logam, sangat rentan terkena sambaran petir dan rusak. Apabila PLTB dibangun di tempat dekat penduduk seperti peternakan, maka potensi bahaya bagi makhluk hidup akan meningkat.

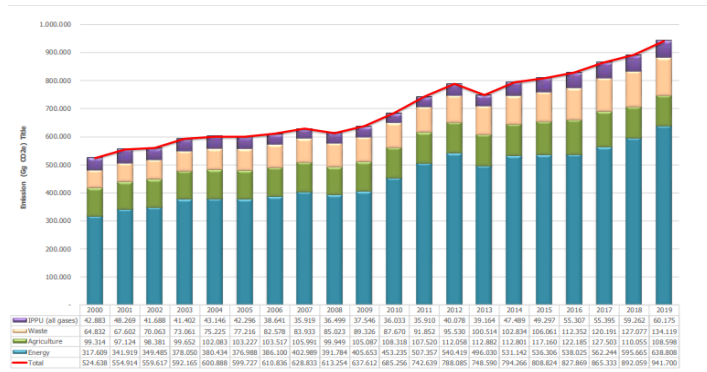
## **2. Emisi Gas Rumah Kaca (GRK)**

GRK (Gas rumah kaca) merupakan faktor penyebab perubahan iklim saat ini yang disebabkan oleh radiasi sinar inframerah yang terperangkap di atmosfer bumi karena tertahan oleh gas rumah kaca. Radiasi yang terperangkap tersebut akan menimbulkan efek berupa meningkatnya suhu permukaan bumi. Radiasi tersebut dihasilkan oleh gas-gas rumah kaca, yaitu karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), belerang dioksida (SO<sub>2</sub>), nitrogen monoksida (NO), nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>), gas metana (CH<sub>4</sub>), dan klorofluorokarbon (CFC). Karbon dioksida menjadi salah satu pencemar utama yang cukup berpengaruh di Indonesia.

Jika dilihat pada grafik mengenai profil emisi GRK di Indonesia, terlihat bahwa tren relatif meningkat sejalan dengan pertambahan tahun. Dari tahun 2000 hingga 2019, emisi GRK mengalami kenaikan hingga mencapai 924.853 CO<sub>2</sub><sup>35</sup>. Emisi terbesar yang dihasilkan dari tahun ke tahun berupa pembangkit energi. Hal ini cukup berdampak besar kepada perubahan iklim dunia terutama di Indonesia mengingat target Indonesia pada presidensi G20.

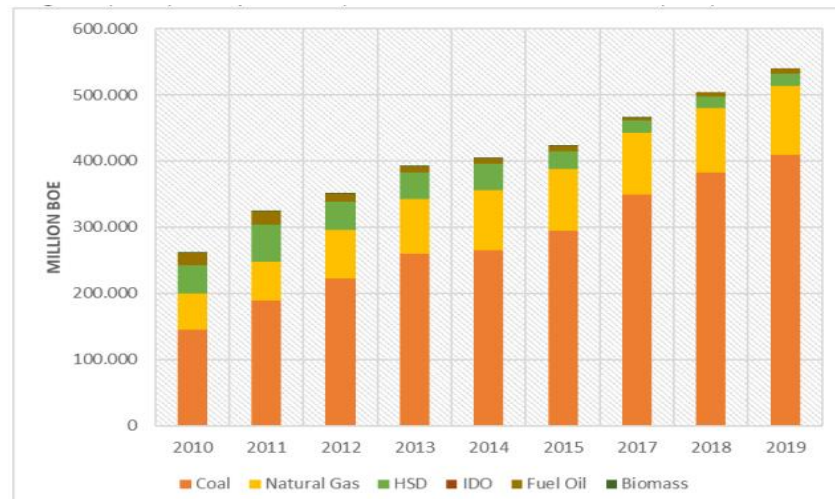
---

<sup>35</sup> 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.



**Gambar 4.** Profil Emisi GRK Nasional Tahun 2000-2019<sup>36</sup>.

Berdasarkan **Gambar 4**, emisi CO<sub>2</sub> terbanyak dihasilkan oleh sektor energi. Dari kegiatan pembangkit energi tersebut, dapat dipetakan lagi menjadi beberapa bahan bakar energi pada **Gambar 5**.



**Gambar 5** Konsumsi Bahan Bakar Pembangkit<sup>37</sup>

Konsumsi bahan bakar sektor energi pembangkit pada tahun 2019 adalah sebanyak 539 juta BOE (*Barrel Oil Equivalent*). Angka tersebut meningkat dari tahun 2010 sebesar 7,11% per Tahun untuk rata-rata peningkatannya. Dominasi yang terjadi dipegang oleh batu bara sejak tahun 2010 sampai 2019 dengan peningkatan dari 55,12% menjadi 76,22%<sup>38</sup>. Hal tersebut dapat

<sup>36</sup> Laporan Inventarisasi GRK, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2020.

<sup>37</sup> Pusat Data dan Teknologi Informasi ESDM, 2019.

<sup>38</sup> 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.

disimpulkan bahwa Indonesia sangat mengandalkan bahan bakar batubara untuk pembangkit energi listriknya.

Di sisi lain, bahan bakar nuklir, menjadi salah satu bahan bakar pembangkit yang ramah namun seringkali menimbulkan pro dan kontra. Walaupun demikian, pembangkit listrik berbahan bakar nuklir menghasilkan emisi GRK yang sangat rendah (berkisar antara 6-10 gCO<sub>2</sub>eq/kWhe)<sup>39</sup>. Sebagai contoh, emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh PLTN di Prancis dengan utilitas sebanyak 58 reaktor (34 dari 900 MW e, 20 dari 1350 MW e, dan 4 dari 1450 MW e) dari front-end sampai back end pada tabel berikut.

**Tabel 2** GRK yang dihasilkan oleh proses pemanfaatan nuklir.

Proses	GRK (gCO <sub>2</sub> eq/kWhe)
Pertambangan	1,704
Konversi	0,278
Pengayaan	0,626
Fabrikasi UOX	0,035
Reaktor	2,140
Pemrosesan ulang	0,376
Fabrikasi MOX	0,027
Pembuangan (Limbah)	0,104
<b>Total:</b>	<b>5,29</b>

Pada **Tabel 2** ditunjukkan bahwa total emisi GRK yang dihasilkan adalah sebesar 5,29 gCO<sub>2</sub>eq/kWhe dengan emisi terbesar dihasilkan saat proses reaktor sebesar 2,14 gCO<sub>2</sub>eq/kWhe dan emisi terkecil dihasilkan saat proses fabrikasi MOX sebesar 0,027 gCO<sub>2</sub>eq/kWhe<sup>40</sup>. Terlihat juga bahwasanya proses pengolahan limbah menjadi kontributor terkecil setelah fabrikasi.

<sup>39</sup> Poinssot, Ch. et al. (2014) 'Assessment of the environmental footprint of nuclear energi systems. Comparison between closed and open fuel cycles', *Energi*, 69, pp. 199–211. Tersedia: <https://doi.org/10.1016/j.energi.2014.02.069>.

<sup>40</sup> Poinssot, Ch. et al. (2014) 'Assessment of the environmental footprint of nuclear energi systems. Comparison between closed and open fuel cycles', *Energi*, 69, pp. 199–211. Tersedia: <https://doi.org/10.1016/j.energi.2014.02.069>.



Sedangkan batu bara, dapat dilihat dari pemanfaatannya di Indonesia sebagai bahan bakar pembangkit listrik. Pada permasalahan ini, diambil contoh tiga PLTU di Indonesia di antaranya PLTU Banten, PLTU Indramayu, dan PLTU Rembang untuk membangkit energi listrik sebesar 1776 MW. Diperoleh bahwa, hanya dengan menimbang proses pengembangannya saja (Reaktor) tanpa LCA (*Life Cycle Analysis*) dihasilkan faktor emisi GRK dengan rerata 1057 gCO<sub>2</sub>eq/kWhe<sup>41</sup>. Angka tersebut cukup besar apabila dibandingkan dengan PLTN Prancis yang hanya menyentuh satu digit faktor emisi GRK.

Maka dari itu, *policy brief* ini ditujukan untuk menginvestigasi lebih dalam mengenai emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan di Indonesia dan pereduksinya dengan mendiversifikasi energi berupa PLTN sebagai energi alternatifnya. Hasil dari diskusi tersebut akan membantu pemerintah Indonesia dalam mempertimbangkan penggunaan nuklir sebagai pembangkitnya mengingat bahwa teknologi reaktor nuklir saat ini sudah canggih dan aman sehingga menguntungkan efek jangka panjang. Selibuhnya, diskusi ini menjadi dorongan bagi Indonesia tentang bagaimana Indonesia dapat berkomitmen dalam presidensi G20 untuk mengurangi emisi gas rumah kaca.

### 3. Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan mempengaruhi bagaimana suatu energi dikatakan ramah lingkungan dengan mempertimbangkan pemakaian lahan yang relatif sedikit serta memiliki *footprint* seminimal mungkin. Hal ini dianggap sebagai pertimbangan karena keterbatasan lahan di Indonesia dengan densitas populasi yang tinggi<sup>42</sup>. Secara definisi, densitas energi dapat diartikan sebagai satuan untuk memperhitungkan energi yang dihasilkan dari suatu volume tertentu

---

<sup>41</sup> RFS. Budi, Suparman, 2013, Perhitungan Faktor Emisi CO<sub>2</sub> PLTU Batubara dan PLTN, Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Vol. 15 No. 1, Juni 2013, <http://dx.doi.org/10.17146/jpen.2013.15.1.1612>

<sup>42</sup> Pusat Studi Lingkungan Hidup Universitas Gadjah Mada, 2021. Ringkasan Eksekutif “Kajian Akademik Nuklir Sebagai Solusi dari Energi Ramah Lingkungan yang Berkelanjutan untuk Mengejar Indonesia Sejahtera dan Rendah Karbon pada Tahun 2050” – Pusat Studi Lingkungan Hidup UGM. [Online] Tersedia: <https://pslh.ugm.ac.id/ringkasan-eksekutif-kajian-akademik-nuklir-sebagai-solusi-dari-energi-ramah-lingkungan-yang-berkelanjutan-untuk-mengejar-indonesia-sejahtera-dan-rendah-karbon-pada-tahun-2050/> [Diakses 21 10 2022].

baik bahan bakar yang digunakan maupun luasan lahan. Untuk energi secara spesifik dapat diperhitungkan dengan satuan energi per massa, energi per ruang, dan energi per volume<sup>43</sup>.

PLTN dengan produksi energi 1000 MW dalam satu tahun hanya membutuhkan 21 ton bahan bakar uranium. Jumlah ini sangat sedikit apabila dibandingkan dengan energi lain yang apabila dibandingkan setara dengan 970.000 ton gas, 1.310.000 ton bahan bakar minyak, dan 2.360.000 ton batu bara<sup>44</sup>. Nilai yang kecil dibanding sumber energi lain ini disebabkan karena densitas energi yang dihasilkan oleh uranium bahan bakar nuklir tinggi yaitu sebesar 19,1 gram/cm<sup>3</sup>. Tingkat densitas ini memungkinkan nilai efisiensi yang tinggi dari PLTN. Perbandingan antar energi-energi berkaitan dengan densitasnya ada pada **Tabel 3** dalam satuan densitas energi berupa MJ/kg. Dapat dilihat bahwa besar energi yang dihasilkan energi nuklir (Uranium-235) sangat besar dibandingkan dengan densitas energi-energi lainnya.

**Tabel 3.** Densitas energi dari berbagai sumber bahan bakar<sup>45</sup>.

<b>Tipe Bahan Bakar</b>	<b>Tipe Reaksi</b>	<b>Densitas Energi (MJ/Kg)</b>
Kayu	Kimia	16
Batubara	Kimia	24
Etanol	Kimia	26,8
Biodiesel	Kimia	38
Diesel	Kimia	45
Bensin	Kimia	46
Natural gas	Kimia	55
Uranium-235	Nuklir	3.900.000

Selain itu, penggunaan lahan dari PLTN juga memberikan tingkat footprint yang lebih rendah dibandingkan energi lainnya sehingga membuat energi nuklir adalah sumber energi terbersih dan paling andal yang tersedia saat ini<sup>46</sup>.

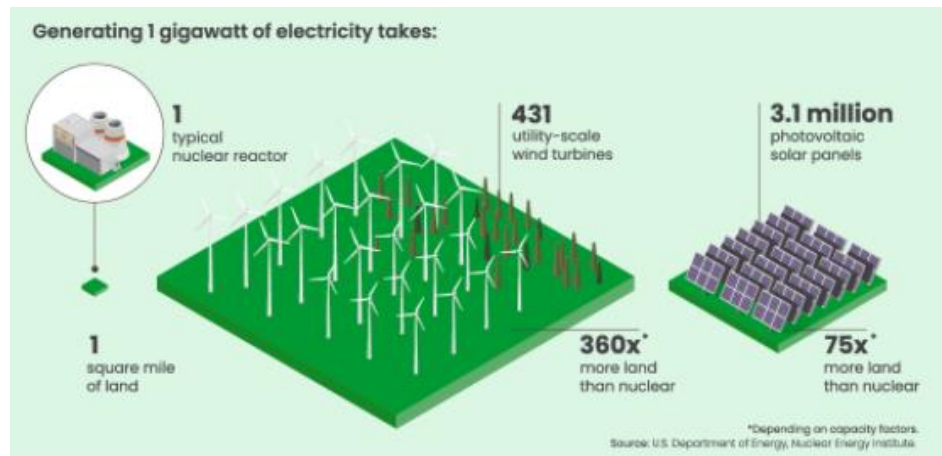
<sup>43</sup> Boechler, E. et al., 2021. Energi density. [Online] Tersedia: [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Energi\\_density](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Energi_density) [Diakses 25 Februari 2022].

<sup>44</sup> Prasetyono, A., 2018. BRIN: Memanfaatkan Teknologi Nuklir bagi Masa Depan Bangsa. [Online] Tersedia: <https://www.brin.go.id/memanfaatkan-teknologi-nuklir-bagi-masa-depan-bangsa/> [Diakses 23 Februari 2022].

<sup>45</sup> Boechler, E. et al., 2021. Energi density. [Online] Tersedia: [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Energi\\_density](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Energi_density) [Diakses 25 Februari 2022].

<sup>46</sup> 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/>

Perbandingan densitas energi nuklir apabila ditinjau dari penggunaan lahan dengan energi lainnya dapat dilihat dari **Gambar 6**.



**Gambar 6.** Perbandingan densitas energi untuk pembangkitan daya 1 GW<sub>e</sub> per satuan lahan<sup>47</sup>.

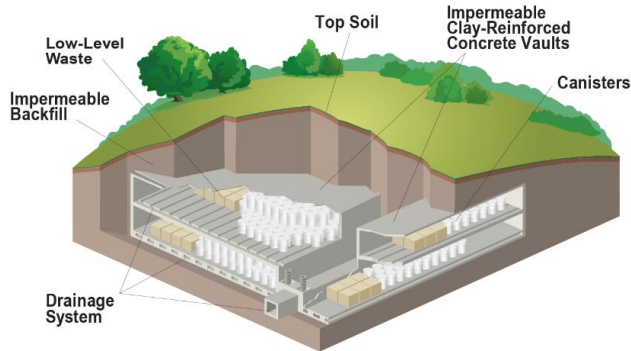
Dapat dilihat dari perbandingan densitas energi baik dari kemampuan bahan bakar maupun lahan yang digunakan, energi nuklir memiliki densitas energi yang tinggi sehingga dapat dikatakan lebih ramah lingkungan jika dibandingkan dengan sumber energi lainnya.

#### 4. Penanganan Limbah

Ada 3 langkah yang dilakukan untuk mengelola Bahan Bakar Nuklir (BBN) bekas. Pertama, dilakukan penyimpanan sementara minimal selama masa operasi reaktor nuklir. Setelah dilakukan penyimpanan, ada dua opsi yang biasa dijalankan fasilitas PLTN riset maupun konvensional, yaitu mengirim kembali limbah bahan bakar kepada negara pengimpor, atau menyerahkan limbah tersebut kepada lembaga yang berwenang seperti BATAN.

<sup>47</sup> 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/>

## Low-Level Radioactive Waste Disposal



The LLW disposal site accepts waste from States participating in a regional disposal agreement.

### **Gambar 7.** Fasilitas penyimpanan limbah bahan bakar nuklir bekas<sup>48</sup>

Kedua, selama masa penyimpanan, pengangkutan, dan pembuangan, penghasil limbah radioaktif wajib melakukan inventarisasi BBN untuk memastikan tidak ada potensi kehilangan zat radioaktif.

---

<sup>48</sup> NRC, U., 2018. NRC Infographics: Low-Level Radioactive Waste Disposal. [Online] Tersedia: <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/infographics/low-level-radioactive-waste-disposal.png>

## TUNTUTAN DAN HARAPAN

### **1. Mendesak Pemerintah untuk menggaungkan *Go-Nuclear* atau *Nuclear for peace* pada G-20**

Indonesia resmi memegang Presidensi *Group of Twenty* (G20) selama setahun penuh. Hal ini sekaligus menjadikan Indonesia sebagai negara berkembang pertama yang menjadi tuan rumah G20. Sebagai tuan rumah, Indonesia berpeluang untuk mempromosikan strategi Indonesia dalam menuju *Net Zero Emission*. Salah satu cara untuk mempercepat langkah tersebut adalah dengan mengusung kampanye *Go-Nuclear*. Hal ini didasarkan pada keunggulan energi nuklir sebagai sumber energi listrik yang stabil dan dapat memenuhi kebutuhan energi listrik skala besar yang rendah emisi. Dengan digaungkannya dan diusungnya *Go-Nuclear* pada ajang G-20 diharapkan dapat menjadi langkah awal untuk percepatan pembangunan PLTN di Indonesia. Kemudian posisi Indonesia sebagai tuan rumah juga dapat dimanfaatkan sebagai peluang kampanye *Nuclear for Peace* sebagai bentuk peloporisasi kecaman terhadap perang nuklir yang menjadi ancaman dunia.

### **2. Mendesak Dewan Perwakilan Rakyat (DPR) Republik Indonesia segera mengesahkan Rancangan Undang-Undang Energi Baru dan Energi Terbarukan (RUU EBET)**

Berdasarkan kajian investasi yang telah dilakukan, PLTN merupakan salah satu proyek yang cukup menjanjikan secara investasi. Berdasarkan regulasi-regulasi yang telah disahkan pada masa lampau, telah tercetus gambaran bahwa energi nuklir merupakan sumber energi yang dapat menjadi terwujudnya kemakmuran rakyat. Oleh karena itu, perlu untuk disahkan RUU EBET untuk membuka peluang investasi sebagai langkah awal dalam percepatan pembangun PLTN di Indonesia. Pemanfaatan energi nuklir juga didukung oleh peraturan dan undang-undang yang telah disusun dari masa lampau yang menjadikan energi nuklir sebagai energi masa depan Indonesia. Dan untuk mewujudkan energi masa depan tersebut, langkah awalnya adalah disahkannya RUU EBET.

### **3. Memasukkan PLTN sebagai Proyek Strategis Nasional (PSN) Indonesia**

Berdasarkan kajian teknis yang telah dilakukan, salah satu jenis PLTN yang cukup *feasible* diterapkan di Indonesia adalah jenis *Small Modular Reactor* (SMR). Jenis ini memungkinkan untuk mensuplai listrik pada skala yang tidak terlalu besar dan cocok diterapkan pada daerah-daerah pelosok yang kekurangan energi listrik. Kajian keselamatan dan lingkungan mengenai penerapan SMR di Indonesia menunjukkan bahwa tipe PLTN ini cukup aman untuk diterapkan di daerah-daerah di Indonesia. Percepatan pembangunan PLTN dapat dilakukan dengan cara menerapkan jenis ini untuk pembangunan tahap awal PLTN di Indonesia. Untuk itu diperlukannya untuk memasukkan proyek PLTN sebagai PSN guna mempercepat langkah pembangunan. Percepatan pembangunan PLTN melalui PSN diharapkan dapat mempercepat pula Indonesia dalam menggapai *Net Zero Emission* sekaligus pemenuhan energi listrik pada wilayah-wilayah terpencil dan terluar.

### **4. Melibatkan komponen kepemudaan/mahasiswa dalam rangka program transisi energi di Indonesia**

Salah satu langkah yang dapat diambil pemerintah dalam melakukan percepatan pembangunan PLTN maupun dalam mensukseskan program transisi energi di Indonesia adalah dengan mengsusng konsep sinergi, yaitu dengan mengkolaborasikan anantara elemen-elemen organisasi akademisi, industri, pemerintah, dan organisasi kepemudaan. Indonesia memiliki banyak organisasi-organisasi kepemudaan yang dapat dirangkul dan ajak berkolaborasi dalam mensukseskan program-program transisi di Indonesia. Salah dua organisasi tersebut adalah Indonesia Nuclear Youth Society (INYS) dan Dewan Energi Mahasiswa yang merupakan organisasi intra maupun ekstra kampus yang berisi Mahasiswa-mahasiswa dengan disiplin ilmu yang berkaitan dengan nuklir dan energi. Organisasi tersebut memiliki sumber daya Mahasiswa akademisi dan riset yang dapat dimanfaatkan untuk program-program riset atau penelitian kolaborasi dari pemerintah. Disamping itu, Indonesia juga memiliki organisasi kepemudaan dan

akademisi yang berkaitan dengan energi nuklir, yaitu Komunitas Muda Nuklir (Kommun) dan Siwabessy Initiative. Serta dalam bidang energi terbarukan Indonesia memiliki *Society of Renewable Energi* (SRE). Dengan mensinergikan organisasi-organisasi kepemudaan tersebut, diharapkan dapat menjadi langkah yang tepat untuk mempercepat ataupun mensukseskan program transisi energi serta percepatan pembangunan PLTN di Indonesia.

## REFERENSI

- Adam AA, Gambaran Umum Pendekatan Kajian Politik Publik. *Jurnal Internasional Ilmu Politik*. 4 (2018) 17-08.
- 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/>
- Boehler, E. et al., 2021. Energi density. [Online] Tersedia: [https://energieducation.ca/encyclopedia/Energi\\_density](https://energieducation.ca/encyclopedia/Energi_density) [Diakses 25 Februari 2022].
- 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.
- 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.
- Hannah Ritchie dan Max Roser, “Our World in Data: Nuclear Energi “, informasi di <https://ourworldindata.org/nuclear-energi>, diakses 30 Juli 2021.
- Informasi di [https://web.pln.co.id/statics/uploads/2020/08/pln\\_2019-sustainability-report-41.pdf](https://web.pln.co.id/statics/uploads/2020/08/pln_2019-sustainability-report-41.pdf) diakses 30 Juli 2021.
- 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 Energy Agency (IAEA). Design Safety Considerations for Water Cooled Small Modular Reactors Incorporating Lessons Learned from the Fukushima Daiichi Accident. Vienna: IAEA, 2020
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Cetak Biru Pengelolaan Energi Nasional 2005 – 2025", (2006).
- 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: <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.
- M. Asrurifak, dkk, "Materi ke-17: Rekayasa Kegempaan: Peta Gempa Indonesia 2017," Pusat Studi Gempabumi Nasional, Bandung, Indonesia, Mei 2018. [Online]. Tersedia: [https://bpsdm.pu.go.id/center/pelatihan/uploads/edok/2018/05/f54c9\\_17\\_REKAYASA\\_KEGEMPAAN\\_PETA\\_GEMPA\\_INDONESIA\\_2017\\_-\\_ASRURIFAK.pdf](https://bpsdm.pu.go.id/center/pelatihan/uploads/edok/2018/05/f54c9_17_REKAYASA_KEGEMPAAN_PETA_GEMPA_INDONESIA_2017_-_ASRURIFAK.pdf) [Accessed Oct 20, 2022]
- NRC, U., 2018. NRC Infographics: Low-Level Radioactive Waste Disposal. [Online] Tersedia: <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/infographics/low-level-radioactive-waste-disposal.png>
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2021 tentang Pelaksanaan Izin Usaha Berbasis Risiko (2021).

- Poinsot, Ch. et al. (2014) 'Assessment of the environmental footprint of nuclear energi systems. Comparison between closed and open fuel cycles', *Energi*, 69, pp. 199–211. Tersedia: <https://doi.org/10.1016/j.energi.2014.02.069>.
- Prasetyono, A., 2018. BRIN: Memanfaatkan Teknologi Nuklir bagi Masa Depan Bangsa. [Online] Tersedia: <https://www.brin.go.id/memanfaatkan-teknologi-nuklir-bagi-masa-depan-bangsa/> [Diakses 23 Februari 2022].
- Pusat Data dan Teknologi Informasi ESDM, 2019.
- Pusat Studi Lingkungan Hidup Universitas Gadjah Mada, 2021. Ringkasan Eksekutif "Kajian Akademik Nuklir Sebagai Solusi dari Energi Ramah Lingkungan yang Berkelanjutan untuk Mengejar Indonesia Sejahtera dan Rendah Karbon pada Tahun 2050" – Pusat Studi Lingkungan Hidup UGM. [Online] Tersedia: <https://pslh.ugm.ac.id/ringkasan-eksekutif-kajian-akademik-nuklir-sebagai-solusi-dari-energi-ramah-lingkungan-yang-berkelanjutan-untuk-mengejar-indonesia-sejahtera-dan-rendah-karbon-pada-tahun-2050/> [Diakses 21 10 2022].
- RFS. Budi, Suparman, 2013, Perhitungan Faktor Emisi CO<sub>2</sub> PLTU Batubara dan PLTN, *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir* Vol. 15 No. 1, Juni 2013, <http://dx.doi.org/10.17146/jpen.2013.15.1.1612>
- Rogner, Holger, H., Kupitz, Jürgen, Langlois, Lucille, McDonald, Alan. Inovasi Dalam Teknologi Nuklir: Kunci Sukses Masa Depan. *Energi & Lingkungan*. 13 (2002). 618.
- S. Morsy, "Fine tuning of siting a nuclear power plant with special consideration to population distribution," *Journal of Radiation Researches and Applied Sciences*, vol. 6, pp. 45 - 48, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2013.10.005>
- Sabatier. PA, Menuju Teori yang Lebih Baik dari Proses Kebijakan, *Asosiasi Ilmu Politik Amerika*. 24 (1991) 151.
- 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.
- U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, "USNRC Regulations 10 CFR: Part 100 - Reactor Site Criteria, Section 100.11: Determination of Exclusion

- Area, Low Population Zone, and Population Center Distance," [Online]. Tersedia: <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part100/full-text.html#part100-0011> [Diakses, 20 Oktober 2022].
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 1997 tentang Tenaga Nuklir, 10 April (1997)
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change 24 Oktober (2016).
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi (2007)
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2007 tentang Kebijakan Energi Nasional, 10 Agustus (2007).
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 31 Tahun 1964 tentang Ketentuan-Ketentuan Pokok Tenaga Atom 26 November (1964).
- World gross electricity production by source, 2019 – Charts – Data & Statistics (no date) IEA. Tersedia: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-gross-electricity-production-by-source-2019> (Accessed: 2 November 2022).
- 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