

**LEMBAGA KETAHANAN NASIONAL  
REPUBLIK INDONESIA**

---



**PEMANFAATAN ENERGI NUKLIR GUNA MENDUKUNG  
*NET ZERO EMISSION* DALAM RANGKA TERWUJUDNYA  
KETAHANAN ENERGI NASIONAL**

Oleh :

**Adang Sumpena, S.I.P., M.M., M.Han**  
**Kolonel Kav NRP 11950049550573**

**KERTAS KARYA ILMIAH PERSEORANGAN (TASKAP)  
PROGRAM PENDIDIKAN REGULER ANGKATAN (PPRA) LXVII  
LEMBAGA KETAHANAN NASIONAL RI  
TAHUN 2024**

## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum Wr Wb,*

*Alhamdulillah hirabbil 'alamin* dengan memanjatkan puji syukur kehadirat Alloh SWT serta atas segala rahmat dan karunia-Nya, penulis sebagai salah satu peserta Program Pendidikan Reguler Angkatan (PPRA) LXVI telah berhasil menyelesaikan tugas dari Lembaga Ketahanan Nasional Republik Indonesia, sebuah Kertas Karya Ilmiah Perseorangan (Taskap) dengan judul **“Pemanfaatan Energi Nuklir Guna Mendukung Net Zero Emission Dalam Rangka Terwujudnya Ketahanan Energi Nasional”**. Penentuan Tutor dan Judul Taskap ini didasarkan pada Nota Dinas Deputi Pendidikan Pimpinan Tingkat Nasional Lemhannas RI Nomor B/ND/102/III/2024/Debididikpimtknas Tanggal 7 Maret 2024 tentang Pengiriman Hasil Bahan Rapat Kelompok Kerja Penetapan Judul PPRA LXVI Tahun 2024 dengan memilih judul yang telah ditentukan oleh Lemhannas RI.

Pada kesempatan ini, perkenankanlah Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Bapak Gubernur Lemhannas RI yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mengikuti PPRA LXVI di Lemhannas RI tahun 2024. Ucapan yang sama juga disampaikan kepada Pembimbing atau Tutor Taskap kami Bapak Dr. Ida Bagus Made Putra Jandhana, Tim Penguji Taskap dan keluarga tercinta yang selalu memberikan doa, dukungan moril, dan semangat, serta semua pihak yang telah membantu serta membimbing Taskap ini sampai terselesaikan sesuai waktu dan ketentuan yang dikeluarkan oleh Lemhannas RI.

Penulis menyadari bahwa kualitas Taskap ini masih jauh dari kesempurnaan akademis, oleh karena itu dengan segala kerendahan hati mohon adanya masukan guna penyempurnaan naskah ini. Besar harapan kami agar Taskap ini dapat bermanfaat sebagai sumbangan pemikiran penulis kepada Lemhannas RI, termasuk bagi siapa saja yang membutuhkannya.

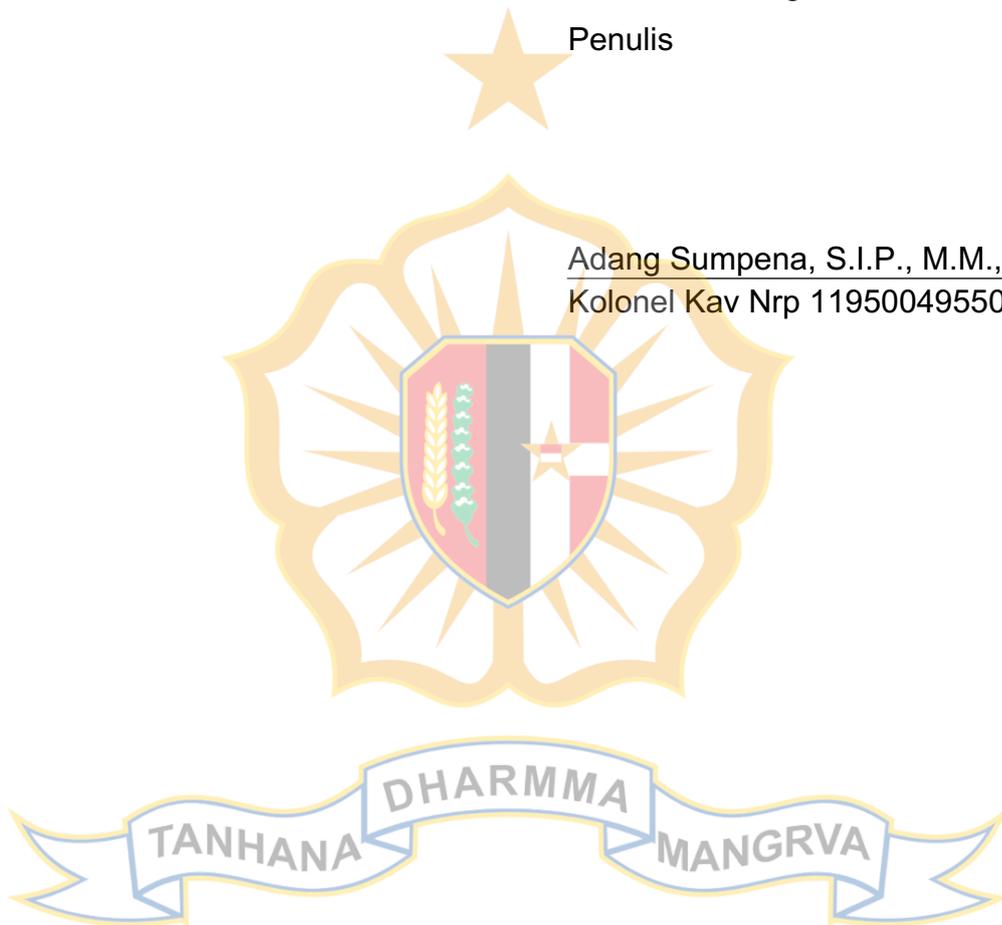
Semoga Allah SWT senantiasa memberikan taufik dan hidayahnya kepada kita semua dalam melaksanakan tugas dan pengabdian kepada Negara dan bangsa Indonesia yang kita cintai dan kita banggakan.

Sekian dan terima kasih. *Wassalamualaikum Wr. Wb.*

Jakarta, Agustus 2024

Penulis

Adang Sumpena, S.I.P., M.M., M.Han.  
Kolonel Kav Nrp 11950049550573



LEMBAGA KETAHANAN NASIONAL  
REPUBLIK INDONESIA

---

**PERNYATAAN KEASLIAN**

1. Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Adang Sumpena, S.I.P., M.M., M.Han.

Pangkat : Kolonel Kav Nrp 11950049550573

Jabatan : Pamen Mabes TNI AD

Instansi : Mabes TNI AD

Alamat : Jl. Medan Merdeka Utara RT.3/RW.2, Gambir, Kecamatan  
Gambir, Kota Jakarta Pusat, DKI Jakarta 10110

Sebagai peserta Program Pendidikan Reguler Angkatan (PPRA) ke LXVI tahun 2024 menyatakan dengan sebenarnya bahwa :

- a. Kertas Karya Ilmiah Perseorangan (Taskap) yang saya tulis adalah asli.
- b. Apabila ternyata sebagian atau seluruhnya tulisan Taskap ini terbukti tidak asli atau plagiasi, maka saya bersedia untuk dibatalkan.

2. Demikian pernyataan keaslian ini dibuat untuk dapat digunakan seperlunya.



Adang Sumpena, S.I.P., M.M., M.Han.  
Kolonel Kav Nrp 11950049550573

**PEMANFAATAN ENERGI NUKLIR GUNA Mendukung *NET ZERO EMISSION*  
DALAM RANGKA TERWUJUDNYA KETAHANAN ENERGI NASIONAL**

**DAFTAR ISI**

|  |     |
|--|-----|
| KATA PENGANTAR .....   | i   |
| PERNYATAAN KEASLIAN .....  | iii |
| DAFTAR ISI .....   | iv  |
| DAFTAR TABEL .....   | vi  |
| DAFTAR GAMBAR .....  | vii |
| <br>   |     |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b>   |     |
| 1. Latar Belakang .....  | 1   |
| 2. Rumusan Masalah .....   | 6   |
| 3. Maksud dan Tujuan .....   | 6   |
| 4. Ruang Lingkup dan Sistematika .....   | 7   |
| 5. Metode dan Pendekatan .....   | 8   |
| 6. Pengertian .....  | 8   |
| <br>   |     |
| <b>BAB II LANDASAN PEMIKIRAN</b>   |     |
| 7. Umum .....  | 9   |
| 8. Peraturan Perundang-undangan .....  | 9   |
| 9. Kerangka Teoretis .....   | 12  |
| 10. Data dan Fakta .....   | 15  |
| 11. Lingkungan Strategis .....   | 19  |
| <br>   |     |
| <b>BAB III PEMBAHASAN</b>  |     |
| 12. Umum .....   | 31  |
| 13. Hambatan dan Tantangan dalam Pemanfaatan PLTN di Indonesia                             | 32  |
| 14. Pengaruh Pemanfaatan Energi Nuklir terhadap Tercapainya <i>Net Zero Emission</i> ..... | 42  |

15. Langkah Konkret dalam Merumuskan Strategi Pemanfaatan Energi Nuklir dalam rangka Mewujudkan Ketahanan Energi Nasional .....47

**BAB IV PENUTUP**

16. Simpulan .....66  
17. Rekomendasi .....67

**DAFTAR PUSTAKA**

**DAFTAR LAMPIRAN:**

1. ALUR PIKIR
2. DAFTAR PENGERTIAN
3. DAFTAR RIWAYAT HIDUP



## DAFTAR TABEL

|         |   |
|---------|---|
| TABEL 1 | Analisis PESTEL   |
| TABEL 2 | Analisa perbandingan regulasi PLTN di Indonesia dengan regulasi PLTN di dunia |



## DAFTAR GAMBAR

- GAMBAR 1 Status Sumber Daya Mineral Radioaktif hingga Desember 2021
- GAMBAR 2 Peta Sumber Daya Mineral Radioaktif tahun 2021
- GAMBAR 3 Perkembangan reaktor nuklir di dunia
- GAMBAR 4 Hasil Survey Rencana Pembangunan PLTN di Bangka Belitung
- GAMBAR 5 Emisi GRK Berdasarkan Sumber Energi Listrik
- GAMBAR 6 Cadangan Energi Fosil Indonesia
- GAMBAR 7 CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh Berbagai Sumber Energi
- GAMBAR 8 Faktor Kapasitas yang Dihasilkan oleh Berbagai Sumber Energi
- GAMBAR 9 Target Pencapaian Bauran Energi Primer Nasional Tahun 2022
- GAMBAR 10 Rencana Pengembangan Jangka Panjang Transisi Energi Nasional 2025-2045
- GAMBAR 11 Perbandingan Kebutuhan Biaya Pembangkit Listrik



## BAB I PENDAHULUAN

### 1. Latar Belakang

Pemenuhan akan kebutuhan energi menjadi sangat penting bagi suatu negara. Kondisi ini terjadi antara lain akibat semakin terbatasnya beberapa komoditi sumber energi yang berasal fosil berupa minyak bumi, gas bumi, dan batu bara di beberapa negara, termasuk Indonesia. Perkembangan lingkungan strategis global, terjadi ketegangan geopolitik yang eskalasinya semakin meningkat akibat perang Rusia dengan Ukraina, Palestina dengan Israel dan mulai meluas dampaknya ke berbagai aspek. Serangan dan gangguan terhadap kapal-kapal kargo yang melintas di Laut Merah oleh kelompok bersenjata Houthi (Yaman) menyebabkan gangguan signifikan dalam perdagangan internasional terutama minyak dan gas sehingga berimplikasi pada kenaikan harga minyak mentah secara global. Hal ini kemudian semakin mengganggu stabilitas perekonomian regional dan pada akhirnya berdampak pada perekonomian global<sup>1</sup>. Kondisi ini berpengaruh terhadap menurunnya kemampuan ekonomi nasional untuk menyediakan energi dengan harga yang terjangkau dan secara tidak langsung berpengaruh pada menurunnya Ketahanan Energi Nasional.

Penggunaan energi dari fosil saat ini di Indonesia masih mendominasi yaitu sebanyak 87,7 persen dari total bauran energi di tahun 2022. Meskipun Indeks Ketahanan Energi tahun 2023 di Indonesia termasuk dalam kategori “Tahan” dengan nilai 6,61, namun perlu waspada dan tidak boleh terlena dengan Sumber Kekayaan Alam (SKA) yang kita miliki saat ini karena ketersediaan energi fosil ada batasnya, apabila tidak disikapi dengan bijak dapat menjadi ancaman nyata terhadap ketahanan energi nasional. Selain masalah ketersediaan energi, masalah lain yang ditimbulkan dari penggunaan energi fosil adalah emisi gas yang dihasilkan berdampak pada lingkungan hidup dan perubahan iklim karena Gas Rumah Kaca (GRK). Indonesia telah memulai pengembangan energi nuklir pada era 1950

---

<sup>1</sup> Prof Maurizio Bragagni and Dr Lorenc Xhaferraj. (2024). Red Sea Route Disruption and Supply Chain. Research Gate Publication January 2024 DOI: 10.13140/RG.2.2.22142.97603

pemerintahan Presiden Soekarno dengan tujuan awal dibentuk untuk antisipasi resiko percobaan bom atom di laut pasifik, kemudian pada tahun 1965 telah meresmikan reaktor nuklir pertama di Bandung diberi nama Triga Mark II, selanjutnya tahun 1979 reaktor Kartini yang berarti “Karya Teknisi Indonesia” di Yogyakarta dan tahun 1987 reaktor serbaguna Siwabessy di Serpong Banten yang menghasilkan energi listrik dengan skala kecil. Namun hal tersebut terhenti dan tidak dikembangkan ke PLTN yang lebih besar karena berbagai hambatan. Pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia saat ini digunakan masih terbatas pada bidang industri, kesehatan (*rontgen, CTScan* dan *radiotherapy*) serta penelitian dan pengembangan (Litbang)<sup>2</sup>.

Pemerintah melalui Badan Pengawasan Tenaga Nuklir (BAPETEN) yaitu institusi pemerintah yang bersifat independen yang bertugas melakukan pengawasan dalam pemanfaatan tenaga nuklir, bersama dengan para pengamat nuklir telah melakukan pembahasan terkait pentingnya faktor pemanfaatan tenaga nuklir untuk ketersediaan energi listrik nasional. Pemanfaatan nuklir salah satunya untuk Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) dengan bahan baku Uranium dan Thorium yang banyak terdapat di Indonesia antara lain di pulau Sumatera, Kalimantan, dan Sulawesi. Indonesia telah memiliki tiga reaktor nuklir dengan kapasitas yang kecil dan terbatas untuk kegiatan Litbang dan pendidikan, belum ada pembangunan reaktor nuklir untuk PLTN yang memproduksi dalam kapasitas besar. Dengan ketersediaan bahan baku yang ada di Indonesia sudah saatnya pemerintah mengoptimalkan pemanfaatan Energi Nuklir sebagai Energi Baru (EB) dengan membangun PLTN dengan kapasitas yang lebih besar. Tidak bisa dipungkiri masih adanya pro kontra di beberapa kelompok masyarakat mengenai pengembangan pembangunan PLTN di Indonesia, namun ini merupakan persoalan yang perlu dicarikan solusi bersama untuk mendukung *Net Zero Emission* (NZE) pada tahun 2060.

Energi nuklir adalah salah satu sumber energi yang sangat potensial untuk menghasilkan listrik dalam jumlah besar dan secara relatif ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi karbon secara langsung. Namun, agar teknologi ini dapat diimplementasikan dengan aman dan efektif, ada dua prasarat utama yang harus

---

<sup>2</sup> Budi Prayitno. (2008). Kedaruratan Nuklir di Indonesia dan Penanggulangannya. Jurnal ISSN 1979-2409 No. 01/ Tahun I. April 2008

dipenuhi yaitu tingkat disiplin nasional yang tinggi dan penguasaan teknologi terkait nuklir yang cukup baik. Pengelolaan energi nuklir membutuhkan standar keselamatan yang sangat ketat untuk mencegah kecelakaan yang bisa berakibat fatal, baik terhadap manusia maupun lingkungan. Hal ini berarti seluruh aspek, mulai dari perencanaan, konstruksi, operasi, hingga pengelolaan limbah nuklir, harus dilakukan dengan disiplin yang sangat tinggi. Teknologi nuklir adalah teknologi yang sangat kompleks dan memerlukan penguasaan teknis yang mendalam. Negara yang ingin mengoperasikan pembangkit listrik tenaga nuklir harus memiliki kemampuan teknis yang kuat dalam berbagai aspek, seperti desain reaktor, teknik pengayaan bahan bakar, pengelolaan limbah radioaktif, serta penanganan situasi darurat. Penguasaan teknologi ini juga mencakup kemampuan untuk melakukan inovasi dan adaptasi terhadap perkembangan teknologi baru di bidang nuklir. Tanpa penguasaan teknologi yang memadai, risiko kesalahan teknis yang dapat memicu bencana nuklir menjadi sangat tinggi.

Beberapa negara maju diantaranya Amerika Serikat (AS), China, Rusia, Jepang dan Perancis telah memanfaatkan potensi energi nuklir dengan membangun PLTN untuk memenuhi kebutuhan listrik yang besar dan lebih efisien dengan meminimalkan emisi gas karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) yang dihasilkan. Merujuk pada kriteria energi hijau, energi nuklir telah memenuhi kriteria aman yaitu emisi yang dihasilkan nihil, tidak merusak ekosistem apabila disertai dengan pengelolaan limbah yang memadai, termasuk dalam energi yang tahan lama atau berkelanjutan dengan harga yang relatif murah. Pengembangan teknologi energi nuklir telah memasuki tahap generasi energi nuklir fusi sejak tahun 2022. Jika komersialisasi pembangkit energi listrik dengan teknologi fusi nuklir ini berhasil, selain memiliki potensi energi yang tinggi, energi fusi nuklir ini jauh lebih bersih dari pengoperasian reaktor PLTN generasi lama. Energi nuklir yang ditemukan oleh ilmuwan AS tersebut didapatkan dari replikasi energi seperti halnya energi yang mentenagai matahari. Penemuan ini kemudian menjadi inspirasi dan subjek penelitian bagi para ilmuwan di dunia. Mengutip jurnal *Financial Times* (Agustus, 2023), "*para ahli menghasilkan reaksi fusi nuklir tersebut melalui teknik yang disebut inertial*

*confinement fusion (fusi kurungan inertial). Proses tersebut menggunakan rentetan tembakan plasma hidrogen dalam jumlah kecil dengan laser terbesar di dunia”*<sup>3</sup>.

Pemanfaatan energi nuklir sebagai salah satu solusi untuk mencapai target *net zero emission* memegang peranan penting dalam konteks ketahanan energi nasional, beberapa alasannya antara lain energi nuklir adalah sumber energi bersih yang memiliki emisi karbon sangat rendah dibandingkan dengan pembangkit listrik berbahan bakar fosil. Berbeda dengan Energi Baru Terbarukan (EBT) seperti energi surya dan angin yang tergantung pada kondisi cuaca dan waktu, energi nuklir dapat memasok beban kebutuhan energi secara stabil dan terus-menerus (*baseload*), hal ini untuk menjaga kestabilan jaringan listrik nasional dan memastikan pasokan energi yang handal. Dengan mengintegrasikan energi nuklir ke dalam matriks energi nasional, Indonesia dapat mengurangi ketergantungan pada impor bahan bakar fosil dan memperluas diversifikasi sumber energi. Hal ini kemudian dapat meningkatkan bauran sumber energi yang berdampak pada meningkatnya ketahanan energi nasional karena fluktuasi harga komoditas minyak bumi, gas bumi, dan batubara global. Energi nuklir dapat mendukung pertumbuhan ekonomi dengan menyediakan energi bersih, aman, dan murah yang dibutuhkan untuk berbagai sektor industri, di sisi lain, pembangunan infrastruktur nuklir dapat menciptakan lapangan kerja dan memacu pertumbuhan ekonomi lokal.

Pada gelaran KTT G20 tahun 2022 lalu, pemerintah Indonesia telah bekerja sama dengan *International Energy Agency* (IEA) dalam meluncurkan *Roadmap* menuju *Net zero emission* sektor energi tahun 2060, yang di dalamnya memuat diantaranya adalah tentang pengoperasian PLTN yang akan masuk dalam sistem pada tahun 2049<sup>4</sup>. Bahkan, Dewan Energi Nasional (DEN) menyatakan bahwa di tahun 2032, Indonesia akan mulai membangun PLTN<sup>5</sup>. Kesiapan Indonesia untuk mempunyai PLTN telah dievaluasi langsung oleh Badan Tenaga Atom Internasional (*International Atomic Energy Agency/IAEA*) pada saat kunjungannya ke Indonesia

---

<sup>3</sup> <https://www.ft.com./content/a-981-5bca-1b9d-4ba0-8d01-96ede77b-a06a> Diakses pada 14 Maret 2024 pukul 00.45 WIB

<sup>4</sup> *International Energy Agency* (IEA)

<sup>5</sup> <https://den.go.id/berita/2032-indonesia-akan-miliki-pembangkit-bertenaga-nuklir> Diakses pada 14 Maret 2024 pukul 01.05 WIB

di tahun 2009, dalam hal infrastruktur bahwa 16 dari 19 infrastruktur pembangunan PLTN sudah siap untuk dibangun. Studi kelayakan terhadap pengenalan PLTN di Indonesia dari beberapa faktor juga telah dilakukan mulai awal 1991 sampai tahun 1996 bersama dengan konsultan dari Jepang yaitu *New JEC. Inc.* Pembangunan PLTN di Indonesia sekarang ini masih menemui pro dan kontra khususnya tentang keamanan akan risiko bencana dari unsur radioaktif yang dapat menimbulkan masalah kesehatan dan merusak lingkungan hidup. Melihat dampak radio aktif yang terjadi akibat bencana PLTN *Fukushima*, Jepang di tahun 2011 dan *Chernobyl*, Ukraina (sebelumnya Uni Soviet) di tahun 1986, dan beberapa PLTN sebelumnya, membuat masyarakat mempunyai persepsi negatif terhadap pembangunan PLTN di Indonesia<sup>6</sup>. Pro-kontra dapat diredam dengan penggunaan teknologi dan desain nuklir yang relatif lebih aman bagi masyarakat<sup>7</sup>. Masyarakat yang pro dengan pembangunan PLTN berargumen bahwa PLTN dapat meningkatkan bauran pasokan sumber energi nasional dan menggantikan PLTU yang akan dilakukan penutupan di Indonesia, sebaliknya masyarakat yang kontra dengan pembangunan PLTN berargumen bahwa PLTN tidak diperlukan selama Indonesia memiliki sumber energi yang lebih aman dengan biaya yang lebih rendah (Fitria Astuti, 2023)<sup>8</sup>. Secara Pembangunan PLTN pertama kali membutuhkan biaya yang cukup besar dan penanganan untuk hasil limbah yang cukup lama, namun keuntungannya jauh lebih beragam seperti waktu pengoperasian lebih dari 80 tahun, rendahnya emisi CO<sub>2</sub>, dan meminimalisir penggunaan area lahan. Dari hasil survei dan evaluasi Badan Tenaga Atom Internasional (*International Atomic Energy Agency/IAEA*) Indonesia telah memenuhi syarat, dari ketersediaan bahan baku Indonesia memiliki, dari regulasi juga sudah ada, jadi apa yang menyebabkan terhambatnya program pemanfaatan PLTN di Indonesia dan bagaimana solusi yang bisa disarankan agar dapat terlaksanan percepatan program pemanfaatan PLTN yang telah tertunda.

---

<sup>6</sup> <https://zonaebt.com/nuklir/dilema-nuklir-di-indonesia-keuntungan-dan-risiko-dalam-pembangunan-pembangkit-nuklir/> Diakses pada 14 Maret 2024 pukul 01.25 WIB

<sup>7</sup> [https://lestari.kompas.com,/red/2023/03/20j100000686/pro-kontra-pembangkit\\_istrik-tenaga-nuklir-untuk\\_kesinambungan-ketahanan?page=all](https://lestari.kompas.com,/red/2023/03/20j100000686/pro-kontra-pembangkit_istrik-tenaga-nuklir-untuk_kesinambungan-ketahanan?page=all) Diakses pada 14 Maret 2024 pukul 01.30 WIB

<sup>8</sup> <https://www.kompas.id/baca/opini/2023/04/19/energi-nuklir-di-indonesia-ya-atau-tidak> Diakses pada 14 Maret 2024 pukul 01.20 WIB

Berdasarkan uraian di atas maka penulis mengajukan Taskap yang berjudul **Pemanfaatan Energi Nuklir Guna Mendukung *Net Zero Emission* dalam rangka Terwujudnya Ketahanan Energi Nasional.**

## 2. Rumusan Masalah

Berdasarkan berbagai permasalahan dan keunggulan PLTN yang telah dikemukakan sebelumnya, maka taskap ini akan membahas tentang *bagaimana pemanfaatan energi nuklir guna mendukung net zero emission dalam rangka terwujudnya ketahanan energi nasional?*

Rumusan Masalah tersebut akan dibahas dalam tiga pertanyaan kajian sebagai berikut:

- a. Mengapa terjadi hambatan dan tantangan dalam pemanfaatan PLTN di Indonesia?
- b. Bagaimana pengaruh pemanfaatan energi nuklir terhadap tercapainya *net zero emission*?
- c. Bagaimana langkah konkret dalam merumuskan strategi pemanfaatan energi nuklir dalam rangka mewujudkan ketahanan energi nasional?

## 3. Maksud dan Tujuan

### a. Maksud

Penulisan Taskap ini dimaksudkan untuk memberikan suatu gambaran bagaimana pemanfaatan energi nuklir guna mendukung *Net zero emission* dalam rangka terwujudnya ketahanan energi nasional, kemudian permasalahan tersebut dapat dipecahkan berdasarkan data-data dan fakta yang terjadi.

### b. Tujuan.

Penulisan Taskap ini bertujuan untuk memberikan sumbang saran dan pemikiran peserta kepada para pemangku kebijakan (*stakeholder*) dalam rangka memecahkan masalah terkait solusi permasalahan pada pemanfaatan energi nuklir guna mendukung *net zero emission* dalam rangka terwujudnya ketahanan energi nasional.

#### 4. Ruang Lingkup dan Sistematika

##### a. Ruang Lingkup.

Agar membuat rumusan lebih jelas dalam penulisan Taskap ini, maka penulis membatasi ruang lingkup pembahasan pada pemanfaatan PLTN guna mendukung *net zero emission* dalam rangka terwujudnya ketahanan energi nasional berdasarkan hasil tinjauan pustaka.

##### b. Sistematika.

Penulisan Kertas Karya Ilmiah Perseorangan ini disusun dengan tata urutan sebagai berikut:

**Bab I Pendahuluan.** Pada Bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang permasalahan, perumusan masalah, maksud dan tujuan, ruang lingkup pembahasan serta sistematika penulisan, metode dan pendekatan, serta beberapa pengertian untuk menghindari kesalahan persepsi untuk memahami pembahasan. Pengertian tersebut berdasarkan berbagai sumber yang valid dan dapat dipertanggungjawabkan.

**Bab II Landasan Pemikiran.** Pada Bab kedua diuraikan terkait Tinjauan Pustaka yang akan digunakan untuk keperluan pembahasan pada bab-bab selanjutnya. Dalam bab ini dijelaskan mengenai peraturan perundang-undangan yang digunakan, kerangka teoritis, data dan fakta yang berhubungan erat dengan pembahasan, serta faktor-faktor perkembangan lingkungan strategis baik global, regional, maupun nasional yang berpengaruh terhadap pemanfaatan energi nuklir guna mendukung *net zero emission* dalam rangka terwujudnya ketahanan energi nasional.

**Bab III Pembahasan.** Pada bab ini akan dipaparkan analisis setiap pokok-pokok bahasan dengan menggunakan teori yang relevan, peraturan perundang-undangan, serta data dan fakta yang telah

dijelaskan pada bab Landasan Pemikiran. Pokok-pokok kajian yang dibahas adalah hambatan dan tantangan dalam pemanfaatan PLTN di Indonesia, pengaruh pemanfaatan energi nuklir terhadap tercapainya *net zero emission*, dan langkah konkret dalam merumuskan strategi pemanfaatan energi nuklir dalam rangka mewujudkan ketahanan energi nasional.

**Bab IV Penutup.** Pada bagian terakhir dalam Kertas Karya Ilmiah Perseorangan ini menjelaskan kesimpulan yang diperoleh dari seluruh pembahasan dengan solusi untuk masing-masing pokok pembahasan. Kemudian juga dikemukakan rekomendasi yang berisikan saran masukan pada pembahasan Kertas Karya Ilmiah Perseorangan.

## 5. Metode dan Pendekatan

### a. Metode

Metode analisis yang dilakukan pada penulisan Taskap ini adalah kualitatif/deskriptif yang menekankan pada pengumpulan serta analisis data dan fakta berdasar pada metode penelitian literatur (studi kepustakaan) dari data sekunder, kemudian dibahas sebagai Kajian Strategis dengan menggunakan metodologi analisis PESTEL yaitu aspek *Politic* (Politik), *Economy* (Ekonomi), *Social* (Sosial), *Technology* (Teknologi), *Environment* (Lingkungan), serta *Legal* (Hukum).

### b. Pendekatan

Penulisan Taskap menggunakan pendekatan dengan perspektif kepentingan nasional melalui analisis dari multidisiplin ilmu yang selaras dengan kerangka teoretis yang akan dipergunakan dalam pembahasan.

## 6. Pengertian (lihat Lampiran 2 Daftar Pengertian)

## BAB II LANDASAN PEMIKIRAN

### 7. Umum

Pada Bab I telah dibahas tentang ketersediaan energi fosil yang semakin berkurang, sehingga diperlukan pemanfaatan Energi Baru (EB) salah satunya adalah energi nuklir. Pada bab ini akan dijelaskan beberapa landasan hukum sebagai dasar dan pedoman dalam pelaksanaannya, kerangka teoretis berupa teori dan konsepsi yang digunakan sebagai pisau analisis dalam menemukan pemecahan masalah serta data dan fakta aktual terkait pemanfaatan energi nuklir sehingga dapat mendukung *net zero emission* dalam rangka terwujudnya ketahanan energi nasional selanjutnya dianalisa dan dirumuskan solusi pemecahannya.

### 8. Peraturan Perundang-undangan

#### a. Undang-Undang RI Nomor 30 Tahun 2007 Tentang Energi

Pada Pasal 1 butir ke-25 menyebutkan bahwa “Kebijakan Energi Nasional (KEN) adalah kebijakan pengelolaan energi yang berdasarkan prinsip berkeadilan, berkelanjutan, dan berwawasan lingkungan guna terciptanya kemandirian dan ketahanan energi nasional”. Dari ketiga prinsip ini, Pasal 1 butir ke-6 menyebutkan bahwa “Sumber energi terbarukan adalah sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya energi yang dihasilkan dari sumber daya energi berkelanjutan jika dikelola dengan baik, antara lain panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, aliran dan terjunan air, serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut”<sup>9</sup>. Mengacu pada pengertian tersebut, maka nuklir belum dapat dianggap sebagai sumber energi yang terbarukan. Nuklir baru dikategorikan sebagai sumber energi baru. Ini berarti bahwa jika prinsip yang ingin ditegakkan dalam KEN adalah sifat keberlanjutannya (*sustainability*) maka nuklir dapat dianggap belum sesuai dengan prinsip tersebut<sup>10</sup>. Sesuai dengan salah satu tujuan KEN dalam mewujudkan

---

<sup>9</sup> Undang-Undang No. 30 tahun 2007 tentang Energi

<sup>10</sup> Benny D. Setianto, Benturan UU dalam Pendirian PLTN

kemandirian dan ketahanan energi nasional, maka diharapkan pilihan sumber energi diutamakan adalah sumber energi yang tersedia dan mampu diolah oleh bangsa Indonesia secara mandiri (sejak proses perencanaan, pengoperasian, hingga segi pengolahan limbahnya).

**b. Undang-Undang RI Nomor 30 Tahun 2009 Tentang Ketenagalistrikan**

Lahirnya undang-undang ini dilatarbelakangi antara lain oleh keinginan Negara untuk lebih memberikan peran yang lebih besar kepada Pemerintah Daerah dalam menyelenggarakan ketenagalistrikan di Indonesia. Sebagaimana disebutkan dalam Bab I (Umum) Penjelasan UU ini yang berbunyi *“Mengingat arti penting tenaga listrik bagi negara dalam mewujudkan kesejahteraan masyarakat dalam segala bidang dan sejalan dengan ketentuan dalam Pasal 33 ayat (2) Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945, Undang-Undang ini menyatakan bahwa usaha penyediaan tenaga listrik dikuasai oleh negara dan dipergunakan untuk sebesar-besar kemakmuran rakyat yang penyelenggaraannya dilakukan oleh Pemerintah dan pemerintah daerah. Pemerintah dan pemerintah daerah sesuai dengan kewenangannya menetapkan kebijakan, pengaturan, pengawasan, dan melaksanakan usaha penyediaan tenaga listrik”*<sup>11</sup>.

Menurut UU ini, usaha penyediaan tenaga listrik dilaksanakan oleh Pemerintah dan Pemerintah Daerah melalui badan usaha milik negara (BUMN) dan badan usaha milik daerah (BUMD). Selain BUMN dan BUMD, badan usaha swasta, koperasi, dan swadaya masyarakat juga dapat berpartisipasi dalam usaha penyediaan tenaga listrik untuk kepentingan umum. Dengan demikian, selain BUMN dan BUMD, Badan Usaha Swasta; Koperasi; Swadaya, dan Masyarakat dapat berperan menjadi pelaku usaha penyediaan tenaga listrik untuk kepentingan umum.

---

<sup>11</sup> Penjelasan UU No. 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan.

**c. Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional**

Pasal 11 ayat (3) menyatakan bahwa *“Ketentuan sebagaimana dimaksud pada ayat (2) dikecualikan bagi Energi nuklir yang dimanfaatkan dengan mempertimbangkan keamanan pasokan energi nasional dalam skala besar, mengurangi emisi karbon dan tetap mendahulukan potensi energi baru dan energi terbarukan sesuai nilai keekonomiannya, serta mempertimbangkannya sebagai pilihan terakhir dengan memperhatikan faktor keselamatan secara ketat”*. Dalam penjelasan mengenai pasal tersebut dinyatakan *“Ketentuan ini mengandung maksud bahwa mengingat pemanfaatan energi nuklir memerlukan standar keselamatan kerja dan keamanan yang tinggi serta mempertimbangkan dampak bahaya radiasi nuklir terhadap lingkungan hidup maka penggunaannya dipertimbangkan sebagai pilihan terakhir”*. Namun setelah dilakukan kajian yang dalam tentang teknologi terkini dalam pemanfaatan energi nuklir untuk tujuan damai, pemenuhan kebutuhan energi yang semakin meningkat, penyediaan energi nasional dalam skala besar, dan pengurangan emisi karbon, maka pada dasarnya energi nuklir dapat dimanfaatkan untuk kepentingan nasional yang mendesak. Kemudian Pasal 19 ayat (4) menyebutkan bahwa *“Setiap perusahaan instalasi nuklir wajib memperhatikan keselamatan dan risiko kecelakaan serta menanggung seluruh ganti rugi kepada pihak ketiga yang mengalami kerugian akibat kecelakaan nuklir”*.

**d. Peraturan Menteri ESDM Nomor 4 Tahun 2020 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik**

Beberapa aspek penting dari peraturan ini meliputi penyempurnaan mekanisme pembelian listrik dari pembangkit listrik energi terbarukan, modifikasi skema dan pengaturan kerja sama yang melibatkan berbagai jenis pembangkit listrik energi terbarukan, ketentuan khusus untuk mendukung investasi pembangkit listrik tenaga air yang memanfaatkan bendungan atau saluran irigasi yang sudah ada, khususnya yang dikelola oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

(PUPR), dan penghapusan kewajiban *Build Own Operate Transfer* (BOOT) untuk semua jenis pembangkit energi terbarukan. Pembaruan peraturan ini merupakan bagian dari strategi pemerintah Indonesia yang lebih luas untuk mempercepat pengembangan dan kelayakan ekonomi sumber energi terbarukan dalam bauran energi nasional.

## 9. Kerangka Teoretis

### a. Teori Kebijakan

William Dunn (2012) menyatakan beberapa kriteria evaluasi kebijakan dengan pernyataan “enam kriteria evaluasi yaitu efektivitas, efisiensi, kecukupan, pemerataan, responsivitas, dan ketepatan”<sup>12</sup>. “Efektivitas berhubungan dengan pencapaian hasil yang disesuaikan pada tujuan kebijakan. Untuk efisiensi berkaitan dengan banyaknya usaha yang dibutuhkan guna pencapaian tujuan suatu kebijakan. Ketercukupan dapat diartikan sebagai dengan sejauh mana hasil dari kebijakan tersebut dapat memberikan kepuasan terhadap keberhasilan. Pemerataan (ekuitas) diartikan sebagai tercukupinya kebutuhan yang diakibatkan terlaksananya kebijakan. Responsivitas diartikan sebagai sejauh mana kebijakan tersebut berdampak dan mendapat respon dari masyarakat. Sedangkan ketepatan suatu kebijakan mengacu pada nilai tujuan pada program dan kekuatan asumsi sebagai dasar tujuan tersebut. Keenam kriteria tersebut sebagai tolok ukur dalam menentukan keberhasilan dan kegagalan implementasi kebijakan terhadap tujuan kebijakan yang telah ditetapkan sebelumnya”.

### b. Teori Manajemen Risiko

Menurut Bramantyo (2008) manajemen risiko merupakan proses terstruktur dan sistematis dalam mengidentifikasi, mengukur, memetakan, mengembangkan alternatif penanganan risiko, dan memonitor dan mengendalikan penanganan risiko<sup>13</sup>. Manajemen risiko dilakukan untuk mengelola segala kemungkinan risiko yang timbul.

<sup>12</sup> William N, Dunn. 2012. *Pengantar Analisis-Kebijakan Publik*. Yogyakarta: Gadjah -Mada Press

<sup>13</sup> Djohanputro, Bramantyo. 2008. *Manajemen Risiko Korporat*. Jakarta: Penerbit PPM

Manajemen risiko merupakan suatu proses mengidentifikasi, mengukur risiko, dan membentuk suatu strategi untuk mengelolanya melalui sumber daya yang ada (Hairul, 2020). Dalam teori manajemen risiko terdapat beberapa tindakan yang bisa diambil untuk mengelola risiko itu sendiri seperti diantaranya, yaitu *risk avoidance* dengan tidak melakukan tindakan yang akan menimbulkan risiko, *risk transfer* dengan memindahkan risiko ke pihak lain seperti asuransi, *risk reduction* yang merupakan sebuah tindakan untuk mengurangi dampak risiko, *risk deferral* dengan menunda suatu kegiatan tau keputusan hingga risiko mengecil, dan *risk retention* dengan menerima dan menanggung risiko tersebut<sup>14</sup>.

#### c. Konsep Ketahanan Energi

Ketahanan energi di Indonesia mengacu pada kemampuan negara untuk menyediakan energi yang cukup, terjangkau, dan aman secara berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan nasional. Hal ini penting untuk menjaga stabilitas ekonomi, keamanan nasional, dan kesejahteraan rakyat. Menurut Badan Pemeriksa Keuangan (BPK)<sup>15</sup>, konsep ketahanan energi melibatkan prinsip 4A, yaitu *acceptability*, *affordability*, *accessibility*, dan *availability*, yang harus dicapai secara seimbang untuk mewujudkan ketahanan energi dan mengelola lingkungan hidup serta ekonomi. *International Energy Agency* (IEA) memberikan definisi ketahanan energi sebagai “ketersediaan sumber energi yang tidak terputus dengan harga yang terjangkau”<sup>16</sup>.

#### d. Konsep Transisi Energi

Transisi energi saat ini menjadi salah satu topik hangat yang sering di diskusikan para pemimpin negara, bahkan saat Presidensi G20 Indonesia, Indonesia mengangkat topik tersebut menjadi sebuah isu

<sup>14</sup> Hairul. (2020). Manajemen Risiko. Deepublish: Jakarta

<sup>15</sup> <https://wartapemeriksa.bpk.go.id/?p=42254> Diakses tanggal 11 Februari 2024 Pukul 14.31 WIB

<sup>16</sup> <https://fiskal.kemenkeu.go.id/kajian/2014/06/26/083338456782406-ketahanan-energi-konsep-kebijakan-dan-tantangan-bagi-indonesia> Diakses tanggal 11 Februari 2024 Pukul 14.33 WIB

utama dunia saat ini<sup>17</sup>. Konsep transisi energi merujuk pada perubahan sistem energi yang berkelanjutan dari sumber energi berbasis fosil yang terbatas dan berpolusi ke sumber energi terbarukan yang bersih dan berkelanjutan. Transisi energi bertujuan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, mengurangi emisi GRK, dan mengatasi dampak negatif lainnya yang berasal dari penggunaan sumber energi konvensional. Transisi energi juga merupakan upaya dan strategi yang harus dilakukan negara-negara di dunia dalam mencapai kesepakatan Paris 2015, yaitu mencapai *net zero emission* pada 2050 dan Indonesia 2060 melalui ratifikasi perjanjian tersebut<sup>18</sup>.

#### e. Konsep Pertumbuhan Ekonomi Hijau

Pertumbuhan hijau adalah paradigma di mana kebijakan, inovasi, dan investasi ramah lingkungan juga dapat mendorong perkembangan perekonomian berkelanjutan. Secara lebih luas, pertumbuhan ekonomi hijau merupakan suatu pendekatan untuk mencapai sejumlah tujuan secara bersama membawa Indonesia lebih dekat untuk mencapai pembangunan berkelanjutan yang sesungguhnya: melalui pembatasan emisi gas rumah kaca, membangun ketahanan terhadap iklim ekstrem dan perubahan jangka panjang, dengan menggunakan sumber daya lebih efisien, memberikan peningkatan PDB dan standar hidup yang berkelanjutan dan terdistribusi secara adil, dan menilai aset-aset alam yang jarang terlihat secara ekonomis, yang telah mendukung keberhasilan perekonomian selama bertahun-tahun. Model pertumbuhan ekonomi hijau yang tepat untuk Indonesia masih terus berkembang, termasuk korelasi terhadap kekayaan intelektual yang didukung akan pemahaman masyarakat dapat mendorong pertumbuhan ekonomi hijau<sup>19</sup>.

<sup>17</sup> <http://universitas.pertamina.ac.id/berita/detail/transisi-energi-pengertian-manfaat-dan-teknologinya#:~:text=Transisi%20energi%20adalah%20jalan%20menuju,%2C%20dan%20baterai%20lithium%20Dion>. Diakses tanggal 11 Februari 2024 Pukul 14.35 WIB.

<sup>18</sup> <https://maritim.go.id/detail/komitmen-net-zero-carbon-tahun-2060-indonesia-seimbangkan-target-emisi-dan-target-pembangunan-ekonomi>. Diakses tanggal 11 Februari 2024 Pukul 14.37 WIB.

<sup>19</sup> Global Green Growth Institute, "Green Growth Concepts and Definitions Working Paper", sumber (Online): <http://greengrowth.bappenas.go.id/wp-content/uploads/2018/05/Green-Growth-Concept->

## 10. Data dan Fakta

### a. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir di Indonesia

Laju pertumbuhan penduduk, pembangunan, industrialisasi dan peningkatan kualitas hidup masyarakat di Indonesia berbanding lurus dengan pemenuhan energi yang dibutuhkan. Seiring dengan perkembangan pola hidup masyarakat dan menyesuaikan dengan tuntutan perkembangan jaman, pada sektor rumah tangga dan sektor industri terus meningkat dari tahun ke tahun. Menurut data dari IAEA, rata-rata penduduk di dunia membutuhkan energi sebanyak 235.000 kWh/orang, dengan estimasi umur hidup 72,6 tahun. Untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut saat ini masih bergantung pada bahan bakar yang bersumber pada fosil berupa batubara, minyak dan gas bumi yang tidak bisa diperbaharui kondisinya semakin menipis dan nantinya akan habis. Penggunaan bahan baku energi fosil dalam pengolahannya menghasilkan limbah karbon yang banyak. Data menunjukkan bahwa proses pembakaran untuk pembangkit listrik dengan bahan baku energi fosil menghasilkan lebih banyak gas karbon ( $\text{CO}_2$ ) daripada penggunaan Uranium, bahan bakar nuklir.

Menurut studi Markal dalam Sutarman (2005), diperkirakan bahwa permintaan akan kebutuhan energi listrik akan terus meningkat, sektor industri merupakan pengguna energi listrik terbesar. Ketersediaan sumber daya energi di Indonesia (di Jawa dan luar Jawa), antara lain berupa cadangan minyak dan gas bumi sebesar 84 milyar barrel, cadangan batubara sebesar 32 milyar ton, potensi energi panas bumi (geotermal) 16.035 MW, dan potensi dari energi air sebesar 15.804 MW<sup>20</sup>. Sedangkan cadangan energi matahari dan belum banyak dimanfaatkan<sup>21</sup>. Rencana penggunaan sumber daya energi non-minyak kedepan untuk kebutuhan energi listrik harus ditambah. Sumber daya air, panas bumi, surya dan angin juga memiliki keterbatasan, pembangkit

---

Definitions-Paper.pdf, Diakses tanggal 11 Februari 2024 Pukul 14.39 WIB.

<sup>20</sup> Sutarman. (2005). "Pembangunan PLTN Sebagai Satu Solusi Krisis Listrik di Indonesia". Buletin Alara, Volume 7 Nomor 1 & 2, Agustus & Desember 2005

<sup>21</sup> NEWJEC INC, Feasibility of the First Nuclear Power Plants at Muria Peninsula Region Central Java, Rev.3, Osaka Japan, April 1995.

energi listrik dengan menggunakan bahan bakar batubara menghasilkan emisi karbon yang menimbulkan masalah pencemaran lingkungan dalam jangka panjang, untuk itu perlu alternatif sumber energi alternatif non-minyak yang mempunyai teknologi ramah lingkungan, salah satu sumber energi listrik yang dipilih adalah energi nuklir.

| No.                                     | Sektor Potensial   | SUMBERDAYA                    |                |                               |                               |                |                               |                 |                               |                  |
|---|--------------------|-------------------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|
|   |                    | Terukur                       |                | Terindikasi                   | Tereka                        |                | Hipotetik                     |                 | Spekulatif                    |                  |
|   |                    | U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> | Th             | U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> | U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> | Th             | U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> | Th              | U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> | Th               |
| 1                                       | Aloban-Sibolga     |                               |                |                               | 490*                          |                |                               |                 |                               |                  |
| 2                                       | Singkep-Riau       |                               |                |                               |                               |                | 1.298*                        | 433**           |                               |                  |
| 3                                       | Bangka-Belitung    | 2.840*                        | 4.729**        |                               |                               |                | 1.224*                        | 10.361**        | 25.715*                       | 111.298**        |
| 4                                       | Ketapang           |                               |                |                               |                               |                | 736*                          | 4.767**         |                               |                  |
| 5                                       | Kalan-Melawi       | 2.394*                        |                | 5.903*                        | 2.914*                        |                | 5.058*                        |                 |                               |                  |
| 6                                       | Mentawa dan Darab  |                               |                |                               | 623*                          |                | 9.669*                        |                 |                               |                  |
| 7                                       | Katingan           |                               |                |                               |                               |                | 572*                          | 2.261**         |                               |                  |
| 8                                       | Kawat-Mahakam Hulu |                               |                |                               |                               |                | 17.861*                       |                 |                               |                  |
| 9                                       | Mamuju             |                               |                |                               | 1.023*                        | 4.006**        | 3.023*                        | 3.138**         | 8.393*                        | 2.823**          |
| <b>JUMLAH TOTAL</b>                     |                    | <b>5,234*</b>                 | <b>4.729**</b> | <b>5.903*</b>                 | <b>5.050*</b>                 | <b>4.006**</b> | <b>39.441*</b>                | <b>20.960**</b> | <b>34.108*</b>                | <b>114.121**</b> |
| <b>TOTAL U<sub>3</sub>O<sub>8</sub></b> |                    |                               |                |                               |                               |                |                               |                 |                               | 89,737*          |
| <b>TOTAL Th</b>                         |                    |                               |                |                               |                               |                |                               |                 |                               | 143,816**        |

Catatan: (\*) Satuan ton U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>  
(\*\*) Satuan ton Th

Gambar 1. Status Sumber Daya Mineral Radioaktif hingga Desember 2021  
Sumber: BRIN, 2021

Memang tidak mudah dalam membangun PLTN yang memerlukan persiapan yang matang dan waktu yang lama, aplikasi ilmu pengetahuan dan teknologi yang tinggi prioritas pada sistem keselamatan dan keamanan agar tidak menimbulkan masalah besar pada masa praoperasi, operasi, dan pasca operasi atau dekomisioning (*decommissioning*). Pembangunan PLTN dapat menjadi pertimbangan sebagai salah satu sumber energi listrik alternatif di Indonesia. Untuk memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia masih kekurangan sebesar 7.000 MW, hal tersebut dapat dipenuhi dengan menggunakan energi nuklir sebagai energi alternatif. Berdasarkan pengalaman dari negara-negara maju, teknologi PLTN dalam keadaan operasi normal mempunyai keunggulan karena relatif aman, ekonomis, dan bersih/ramah lingkungan<sup>22</sup>. Dalam pemanfaatan PLTN di Indonesia maupun dunia,

<sup>22</sup> Wardiman Djoyonegoro, Peran Nuklir dalam Pembangunan Industri Energi Indonesia, Seminar

keraguan dalam keamanan dan keselamatan menjadi faktor yang utama. Peristiwa kecelakaan nuklir di *Chernobyl* pada tahun 1986 dan PLTN *Fukushima* tahun 2011 menjadi trauma terkait standar keselamatan dan keamanan yang tinggi pada konstruksi dan pengoperasiannya. Pada tahun 2009 dalam persiapan pembangunan PLTN pertama di Indonesia IAEA telah melakukan evaluasi kesiapan dan menyimpulkan bahwa dari 19 kriteria yang telah ditetapkan hampir semua isu area infrastruktur dapat ditindaklanjuti ke Fase II, kecuali komitmen negara, manajemen dan keterlibatan *stakeholder*<sup>23</sup>.

Indonesia belum memiliki pembangkit listrik tenaga nuklir yang beroperasi secara komersial. Namun, pemerintah Indonesia telah menyatakan niatnya untuk mengembangkan pembangkit listrik tenaga nuklir sebagai bagian dari portofolio energi nasional. Pada tahun 2021, Presiden Indonesia mengumumkan bahwa pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir akan dimulai pada tahun 2021 dan ditargetkan akan beroperasi pada tahun 2030. Langkah awal untuk mengembangkan pembangkit listrik tenaga nuklir telah dilakukan, termasuk pembentukan BAPETEN yang bertugas untuk mengawasi dan mengatur segala kegiatan terkait tenaga nuklir di Indonesia. Selain daripada itu, pemerintah juga telah melakukan kerja sama dengan beberapa negara, seperti Rusia, Korea Selatan, dan Amerika Serikat, dalam hal pengembangan teknologi nuklir dan pelatihan tenaga ahli. Namun, rencana pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir di Indonesia juga menghadapi berbagai tantangan, termasuk masalah regulasi, kekhawatiran keselamatan, keberlanjutan lingkungan, dan masalah sosial masyarakat di sekitar lokasi yang dipilih. Prospek pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir di Indonesia masih memerlukan kajian mendalam dan dukungan yang kuat dari berbagai pihak sebelum dapat direalisasikan.

---

Sehari Tentang Teknologi Nuklir, Kerjasama PIIBATAN, Serpong 15 Juli 1992

<sup>23</sup>Fitria Santhani et al. (2018). Analisis identifikasi multikriteria pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN). Fakultas Teknik Universitas Indonesia

## b. Indeks Ketahanan Energi Indonesia

Dewan Energi Nasional (DEN) telah melakukan penilaian ketahanan energi pada tahun 2023 dengan hasil Indeks Ketahanan Energi Indonesia mencapai skor 6,64 atau dalam kategori “tahan”. Dalam beberapa tahun, Indeks Ketahanan Energi Indonesia terus mengalami kenaikan dan dipacu agar mencapai ideal skor 7. Aspek penilaian Indeks Ketahanan Energi tersebut didasarkan pada empat aspek ketahanan energi, yang terdiri dari ketersediaan sumber energi (*availability*) dari domestik maupun luar negeri; kemampuan mengakses sumber energi (*accessibility*) terhadap infrastruktur jaringan energi, termasuk tantangan geografik dan geopolitik; keterjangkauan biaya investasi energi (*affordability*), kebutuhan biaya tahap eksplorasi, saat produksi sampai distribusi dengan mempertimbangkan keterjangkauan harga energi konsumen; porsi EBT dan penurunan emisi, serta intensitas energi dan diversifikasi energi (*acceptability*) terkait penggunaan energi yang ramah lingkungan di darat, laut, udara dan reaksi penerimaan dari masyarakat.

Program peningkatan ketahanan energi Indonesia sudah masuk dalam Rencana Strategis DEN tahun 2021-2025. Penilaian ketahanan energi dilakukan untuk mengidentifikasi tingkat ketahanan energi Indonesia dan isu-isu terkait ketahanan energi sebagai masukan untuk merumuskan rekomendasi peningkatan ketahanan ketahanan energi<sup>24</sup>.

## c. Eksplorasi Bahan Bakar Nuklir di Indonesia

Dalam rangka transisi energi menuju *net zero emission* 2060, Indonesia tengah bersiap untuk mengganti sumber daya fosil menjadi energi nuklir. Dengan adanya tujuan tersebut, pemerintah senantiasa menyiapkan berbagai persiapan untuk dapat mendukung penggunaan nuklir tersebut, salah satunya dengan eksplorasi bahan bakar nuklir, yaitu Uranium dan Thorium. Berdasarkan Laporan Sumber Daya Bahan Galian Nuklir (BRIN, 2021), eksplorasi telah dilaksanakan sejak tahun

---

<sup>24</sup> <https://den.go.id/index.php/berita/den-bahas-indikator-ketahanan-energi-indonesia> Diakses tanggal 2 Mei 2024

1970an oleh BATAN yang bekerja sama dengan CEA<sup>25</sup>. Pelaksanaan eksplorasi bahan galian nuklir telah dilaksanakan dari Aceh sampai dengan Papua yang menghasilkan data potensi Cadangan Uranium dan Thorium di Indonesia (lihat Gambar 2).



Gambar 2. Peta Sumber Daya Mineral Radioaktif tahun 2021

Sumber (BRIN 2021)

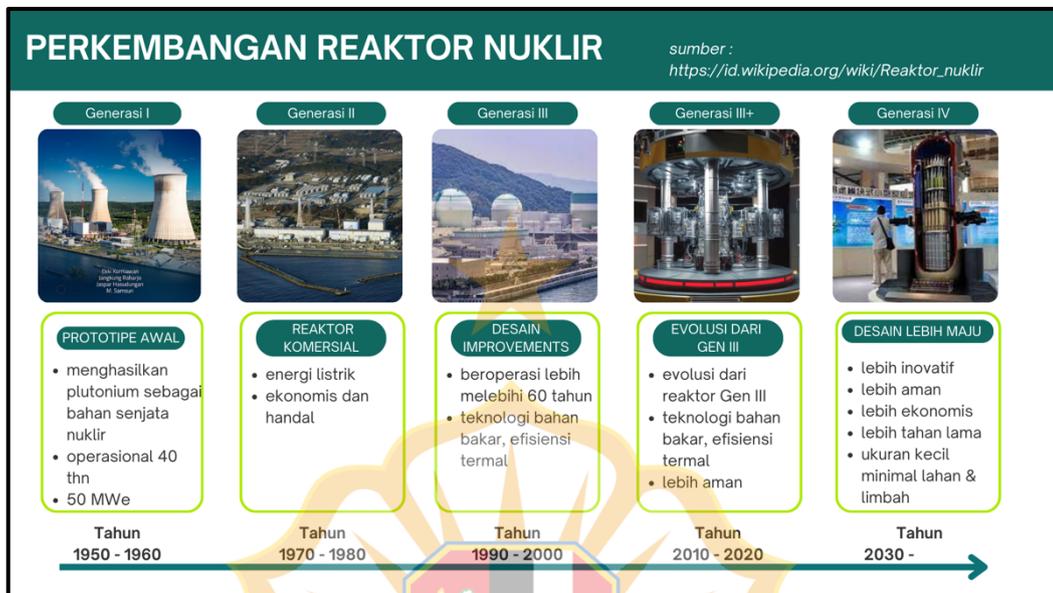
## 11. Lingkungan Strategis

### a. Faktor Global.

Energi nuklir merupakan salah satu alternatif vital untuk memenuhi kebutuhan energi dalam pembangunan suatu negara. Bagi negara yang ingin mencapai kemajuan, kekuatan, dan kesejahteraan, energi nuklir dapat menjadi solusi untuk mengurangi ketergantungan dunia pada bahan bakar fosil yang semakin menipis. Saat ini, sekitar setengah dari kebutuhan energi dunia dipenuhi oleh bahan bakar minyak, diikuti oleh batu bara dan gas. Sumber energi lainnya hanya menyumbang sejumlah kecil kebutuhan energi listrik dunia. Oleh sebab itu, banyak negara sejak abad ke-20 berlomba-lomba untuk mengembangkan energi nuklir. Pengalaman negara-negara di dunia terhadap nuklir sangat bervariasi. Beberapa negara memiliki program nuklir yang berkembang dengan

<sup>25</sup> BRIN. (2021). Laporan Teknis Ringkas Sumber Daya Bahan Galian Nuklir di Indonesia Ed. 2021. Badan Riset dan Inovasi Nasional.

pesat dan berhasil menciptakan banyak PLTN yang andal, sementara negara lain mengalami kegagalan dalam pengembangan teknologi nuklir dan mengalami bencana nuklir yang parah.



Gambar 3. Perkembangan reaktor nuklir di dunia

Sumber: Wikipedia

Perkembangan pemanfaatan tenaga nuklir oleh berbagai negara di dunia sebagai berikut.

#### 1) Amerika Serikat

Saat ini, Amerika Serikat (AS) memiliki 93 PLTN yang beroperasi di seluruh negara, yang menghasilkan sekitar 20 persen dari total pasokan listrik nasional. PLTN di AS digunakan sebagai sumber energi bersih dan andal, serta memberikan kontribusi besar dalam mengurangi emisi gas rumah kaca. Namun, terdapat beberapa insiden PLTN di AS, meski tidak seberat insiden di negara lain seperti *Chernobyl*. Salah satu insiden terbesar terjadi di *Three Mile Island*, Pennsylvania pada tahun 1979, yaitu ketika terjadi kegagalan pada sistem pendingin reaktor menyebabkan ledakan dan kebocoran bahan radioaktif. Insiden ini merupakan bencana nuklir terbesar yang pernah terjadi di AS, meski tidak menimbulkan korban jiwa. Sejak insiden di *Three Mile Island*, AS telah memperketat aturan keselamatan nuklir dan meningkatkan

keamanan di PLTN. Selain itu, PLTN di AS juga telah dirancang untuk memiliki sistem pendingin darurat dan sistem lainnya untuk mencegah terjadinya insiden serupa.

2) Rusia

Rusia memiliki sejarah panjang dalam pengembangan teknologi nuklir dan PLTN. Uni Soviet memulai pembangunan PLTN pertama di dunia pada tahun 1954. PLTN Obninsk beroperasi dari tahun 1954 hingga 2002 dan menghasilkan 5 megawatt listrik. Pada tahun 1986, PLTN *Chernobyl* di Ukraina (dahulu bagian dari Uni Soviet) mengalami kecelakaan nuklir yang mengakibatkan bencana nuklir yang sangat besar dan dampak yang merusak. Kecelakaan ini menjadi salah satu kecelakaan nuklir paling parah dalam sejarah. Meskipun demikian, Uni Soviet pernah membangun PLTN terbesar di dunia yang masih beroperasi hingga saat ini, yakni PLTN Kashiwazaki-Kariwa di Jepang memiliki kapasitas 7,96 gigawatt. Rusia terus mengembangkan teknologi nuklir dan memperkenalkan reaktor nuklir generasi baru, termasuk 50 PLTN di Indonesia reaktor nuklir kecil yang dapat diangkut dan reaktor nuklir berpendingin gas.

3) Inggris (Britania Raya)

Pada tahun 1956, telah dibangun PLTN *Calder Hall* sebagai PLTN perdana di dunia yang dapat menghasilkan listrik secara komersial. Selanjutnya, Britania Raya membangun sejumlah PLTN di berbagai lokasi, termasuk di *Sellafield*, *Hinkley Point*, dan *Hartlepool*. Pada puncaknya, Britania Raya memiliki sekitar 26 PLTN yang beroperasi di seluruh negeri. Namun, saat ini mayoritas PLTN Britania Raya sudah mencapai masa pensiunnya dan tidak beroperasi lagi. Britania Raya saat ini sedang mempertimbangkan untuk membangun PLTN baru guna mengurangi emisi karbon dan meningkatkan pasokan listrik yang berkelanjutan.

4) Prancis

Prancis memiliki banyak PLTN yang andal dan aman, dan menjadi salah satu upaya berkelanjutan menuju *net zero emission*

51 negara dengan persentase energi nuklir terbesar di dunia. Di sisi lain, terdapat beberapa kejadian kebocoran dan insiden di PLTN Prancis. Negara ini sangat bergantung pada energi nuklir, yaitu sekitar 70 persen pasokan listrik negara berasal dari PLTN. Sejak awal tahun 1960-an, Prancis telah membangun sekitar 56 reaktor nuklir. Namun, dalam beberapa tahun terakhir, terjadi penurunan dalam penggunaan energi nuklir di Prancis. Pada tahun 2020, pemerintah Prancis memperkirakan akan menutup 14 reaktor nuklir dalam jangka panjang, dan mengurangi kontribusi PLTN pada pasokan listrik negara menjadi 50 persen pada tahun 2035.

#### b. Regional

Kawasan Asia Tenggara, dengan pertumbuhan ekonomi dan populasi yang pesat, menghadapi tantangan serius untuk memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat sambil mengurangi emisi karbon. Menurut laporan *Outlook Energi Asia Tenggara 2022* oleh IEA, permintaan energi di kawasan ini diperkirakan akan naik 80 persen pada tahun 2040. Saat ini, sebagian besar kebutuhan energi ini masih menggunakan bahan bakar fosil yang berdampak negatif terhadap iklim. Dalam konteks ini, energi nuklir kemudian muncul sebagai salah satu solusi potensial karena kemampuannya menyediakan listrik bersih dan stabil tanpa menghasilkan emisi karbon yang tinggi. Laporan IAEA, "*Nuclear Energy for a Net Zero World*" menggarisbawahi peran penting energi nuklir dalam mencapai target *net zero emission* dengan menggantikan pembangkit listrik tenaga batu bara dan mendukung integrasi lebih lanjut dari energi terbarukan. Peningkatan kapasitas nuklir tidak hanya mendukung kestabilan jaringan listrik tetapi juga memfasilitasi transisi energi bersih dengan menyediakan panas dan hidrogen untuk sektor-sektor yang sulit untuk *decarbonize*, seperti industri dan transportasi. Hal ini penting karena ASEAN telah menetapkan target ambisius untuk mencapai *net zero emission*, dengan beberapa negara telah membuat komitmen untuk mencapai target ini pada tahun 2050. Namun demikian, terdapat tantangan signifikan yang

harus diatasi, termasuk kebutuhan investasi yang besar dan pembangunan infrastruktur yang memadai. Misalnya, IEA memperkirakan bahwa investasi sekitar US\$2.5 triliun diperlukan untuk pembangunan infrastruktur energi di ASEAN hingga tahun 2040. Selain itu, perlu adanya peningkatan kesadaran, regulasi yang kuat, dan pendanaan yang cukup untuk mendorong efisiensi energi dan pengembangan energi terbarukan di kawasan ini<sup>26</sup>. Pengembangan energi nuklir di Asia Tenggara tidak hanya menjadi solusi teknis tetapi juga bagian integral dari strategi politik dan ekonomi regional untuk mencapai pembangunan yang berkelanjutan dan *net zero emission*. Kesuksesan inisiatif ini akan sangat bergantung pada kerjasama internasional, inovasi teknologi, dan kebijakan yang mendukung transisi energi.

Energi nuklir di Asia Tenggara terus berkembang sebagai jawaban terhadap peningkatan kebutuhan energi dan sebagai upaya untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil yang lebih polutif. Myanmar menjadi negara yang menginisiasi pembangunan PLTN serta menjadi negara ASEAN yang pertama kali membangun PLTN. Pada 6 Februari 2023 lalu, Pemerintah Republik Persatuan Myanmar menandatangani perjanjian kerja sama dengan Pemerintah Rusia tentang kerja sama energi nuklir. Kedua belah pihak sepakat untuk mengembangkan pembangkit listrik tenaga nuklir skala kecil di Myanmar. Apabila proyek ini terealisasi, Myanmar akan menjadi negara pertama di ASEAN yang mengoperasikan pembangkit energi nuklir. Selain menjadi tonggak bersejarah penting di kawasan Asia Tenggara, proyek kerja sama ini harapannya dapat meningkatkan penguasaan teknologi nuklir bagi Myanmar untuk tujuan damai. Menurut Perdana Menteri Myanmar, kerja sama ini tidak hanya untuk pengembangan pembangkit energi semata, tetapi juga untuk menerapkan teknologi nuklir di berbagai sektor guna meningkatkan pembangunan sosial ekonomi Myanmar<sup>27</sup>.

---

<sup>26</sup> <https://www.carbontrust.com/news-and-insights/insights/accelerating-the-net-zero-transition-in-southeast-asia-five-principles-for-enhancing-energy-efficiency> Diakses tanggal 6 Mei 2024

<sup>27</sup> <https://www.kompas.id/baca/riset/2023/02/28/myanmar-merintis-pembangunan-pltn-pertama-di-asean> Diakses tanggal 6 Mei 2024

Investasi yang besar diperlukan untuk transisi ke energi bersih, termasuk nuklir, yang diperkirakan memerlukan pendanaan sekitar \$367 miliar dalam lima tahun ke depan di Asia Tenggara. Hal ini menunjukkan skala dari apa yang diperlukan untuk mengadopsi energi nuklir secara lebih luas, sekaligus menangani tantangan perekonomian dan infrastruktur yang ada<sup>28</sup>.

### c. Nasional

Perkembangan lingkungan strategis nasional yang berpengaruh terhadap pemanfaatan energi nuklir dapat ditinjau dari beberapa gatra dalam konteks ketahanan nasional, antara lain:

#### 1) Geografi.

Wilayah Indonesia terletak di *Ring of Fire* atau jalur Cincin Api Pasifik, terdapat tingkat aktivitas seismik dan vulkanik sangat tinggi. Hal ini kemudian menimbulkan risiko bencana alam seperti gempa bumi juga letusan gunung berapi yang dapat mempengaruhi keamanan operasional PLTN. Lokasi yang dipilih untuk PLTN juga harus memiliki akses yang baik terhubung dengan infrastruktur seperti jalan, pelabuhan, dan sumber daya air. Hal ini dibutuhkan untuk konstruksi, operasi, dan pemeliharaan fasilitas nuklir. PLTN memerlukan akses ke sumber daya air yang besar untuk proses pendinginan. Oleh karena itu, lokasi yang dekat dengan sumber air besar seperti sungai atau laut harus menjadi pertimbangan dalam penentuan lokasi PLTN. Di sisi lain, faktor lingkungan juga harus dipertimbangkan, termasuk dampak terhadap ekosistem lokal dan keanekaragaman hayati.

#### 2) Demografi.

Populasi penduduk Indonesia sangat besar dan terus bertambah, yang berarti kebutuhan energi juga akan terus meningkat. Dalam penentuan lokasi PLTN harus dipilih dengan mempertimbangkan lokasi populasi untuk meminimalisir risiko

---

<sup>28</sup> <https://www.csis.org/analysis/clean-energy-and-decarbonization-southeast-asia-overview-obstacles-and-opportunities> Diakses tanggal 6 Mei 2024

keselamatan dan sekaligus untuk memastikan distribusi energi yang efisien. Area dengan kepadatan penduduk tinggi mungkin kurang ideal untuk lokasi PLTN karena potensi risiko keselamatan dalam risiko darurat nuklir. Oleh karena itu, area yang lebih terpencil dan kurang padat mungkin dapat digunakan, namun hal ini juga harus mempertimbangkan akses ke infrastruktur dan layanan. Penerimaan masyarakat terhadap teknologi nuklir sangat dipengaruhi oleh tingkat pendidikan dan kesadaran publik, di mana perlu adanya edukasi tentang manfaat dan keamanan energi nuklir untuk mendapatkan dukungan publik. Selain itu pola migrasi dan urbanisasi yang terus berubah dapat mempengaruhi lokasi dan kapasitas yang dibutuhkan untuk infrastruktur energi nuklir. Urbanisasi yang cepat mungkin memicu kebutuhan untuk pembangkit listrik yang lebih besar dan lebih efisien di dekat area urban.

3) Sumber Kekayaan Alam (SKA).

Indonesia memiliki sumber kekayaan alam (SKA) yang melimpah, keberlimpahan ini dapat menjadi peluang untuk pemanfaatan energi nuklir sebagai energi bersih yang lebih efisien. SKA yang dapat dimanfaatkan antara lain ketersediaan bahan dasar untuk reaktor nuklir. Indonesia memiliki cadangan Thorium (Th) yang signifikan, sebagai alternatif bahan bakar nuklir potensial. Penggunaan Thorium dalam teknologi reaktor seperti reaktor garam lebur Thorium menawarkan keuntungan seperti keamanan operasional yang lebih tinggi dan pembakaran yang lebih efisien. Proyek ThorCon yang mengusulkan pembangunan reaktor Thorium garam lebur di Indonesia merupakan salah satu contoh dari pemanfaatan Thorium<sup>29</sup>. Kemudian Uranium (U), meskipun Indonesia tidak dikenal sebagai penghasil Uranium utama, penelitian dan pengembangan teknologi dapat memungkinkan pemanfaatan Uranium dalam skala yang lebih kecil atau

---

<sup>29</sup> <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/nuclear-power-in-indonesia> Diakses tanggal 6 Mei 2024

mengoptimalkan penggunaan bahan bakar nuklir yang tersedia. Pendekatan ini dapat mencakup desain reaktor yang lebih efisien atau yang dapat menggunakan bahan bakar nuklir dengan lebih hemat. Kepulauan Indonesia dengan karakteristik geografis yang unik membutuhkan solusi energi yang fleksibel dan aman. Reaktor modular kecil (*small modular reactor* - SMR) dapat dianggap ideal untuk lokasi terpencil atau yang sulit dijangkau, memberikan solusi energi bersih yang efisien tanpa memerlukan infrastruktur besar seperti reaktor konvensional. Kerjasama baru-baru ini antara Amerika Serikat dan Indonesia mengenai pengembangan SMR mencerminkan potensi pemanfaatan sumber kekayaan alam dan teknologi nuklir yang disesuaikan dengan kebutuhan lokal<sup>30</sup>.

#### 4) Politik.

Pemerintah Indonesia telah menunjukkan minat yang serius terhadap pengembangan energi nuklir. Misalnya, pemerintah telah mengusulkan penggunaan SMR yang mungkin lebih cocok untuk kondisi geografis Indonesia, yang terdiri dari banyak pulau. Hal ini menunjukkan upaya pemerintah untuk mengatasi tantangan geografis dan distribusi energi yang merata. Di sisi lain, regulasi di Indonesia juga mensyaratkan bahwa hanya teknologi nuklir yang terbukti, akan mendapatkan lisensi, di mana hal ini akan mempersulit dalam adopsi teknologi baru seperti SMR apabila belum secara luas diuji dan diterapkan di negara lain.

Masih terdapat pro kontra terhadap pengembangan tenaga nuklir di beberapa bagian Indonesia, yang didorong oleh kekhawatiran isu lingkungan dan keselamatan. Resistensi ini telah menghambat pembangunan reaktor nuklir baru. Pada Desember 2015, misalnya, Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral telah menyatakan bahwa Indonesia belum memerlukan kapasitas tenaga nuklir, menyoroti tidak adanya dukungan politik yang luas untuk tenaga nuklir pada

---

<sup>30</sup> <https://id.usembassy.gov/united-states-indonesia-announce-partnership-on-small-modular-reactor-nuclear-clean-energy/#:~:text=URL%3A%20https%3A%2F%2Fid.usembassy.gov%2F united,100> Diakses tanggal 6 Mei 2024

waktu itu<sup>31</sup>. Dalam kebijakan internasional, Indonesia juga terlibat dalam kerjasama antar negara, seperti kerjasama dengan Rusia untuk pengembangan reaktor nuklir terapung yang dapat mendukung pasokan listrik di pulau-pulau kecil Indonesia. Di mana hal ini menunjukkan bahwa faktor eksternal dan kerjasama internasional juga mempengaruhi pengembangan kebijakan energi nuklir di Indonesia. Diskursus global mengenai transisi energi dan kebijakan iklim juga mempengaruhi politik energi di Indonesia. Kebijakan ini diarahkan untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan mendorong penggunaan energi bersih, termasuk nuklir, sebagai bagian dari strategi lebih luas untuk mengurangi emisi karbon dan mencapai tujuan iklim<sup>32</sup>.

5) Ekonomi.

Pembangunan infrastruktur untuk energi nuklir memerlukan investasi awal yang sangat besar, yang bisa menjadi tantangan bagi ekonomi negara berkembang seperti Indonesia. Dalam mendapatkan pembiayaan untuk proyek energi skala besar seringkali agak sulit. Sehingga pemerintah Indonesia mungkin perlu menciptakan kondisi pasar yang tepat untuk menarik investasi dan memfasilitasi persaingan dalam sektor energi. Sangat diperlukan untuk dilakukan analisis ekonomi yang menyeluruh, termasuk analisis biaya-manfaat, untuk mengevaluasi kelayakan proyek nuklir dibandingkan dengan alternatif lain. Hal ini termasuk mempertimbangkan biaya kesempatan dari sumber daya yang digunakan dan membandingkan biaya dan manfaat ekonomi proyek bagi masyarakat.

6) Sosial Budaya.

Di Indonesia, persepsi masyarakat terhadap risiko dan manfaat energi nuklir sangat mempengaruhi dukungan publik terhadap proyek-proyek pengembangan nuklir. Pengalaman internasional

---

<sup>31</sup> <https://nautilus.org/napsnet/napsnet-special-reports/prospects-and-challenges-of-nuclear-power-and-small-modular-reactors-in-indonesia/> Diakses tanggal 6 Mei 2024

<sup>32</sup> <https://www.cambridge.org/core/journals/business-and-politics/article/political-logics-of-clean-energy-transitions/3EBB1887089929B48CD623309C6751A9> Diakses tanggal 6 Mei 2024

dengan kecelakaan nuklir dapat meningkatkan kekhawatiran masyarakat Indonesia tentang keselamatan energi dan reaktor nuklir. Nilai dan tradisi komunitas lokal dapat mendukung atau menghambat proyek nuklir. Misalnya, nilai-nilai yang mendukung pelestarian lingkungan mungkin dapat bertentangan dengan pembangunan infrastruktur nuklir yang besar karena pertimbangan keberlanjutan lingkungan hidup. Tingkat pendidikan dan kesadaran masyarakat tentang energi nuklir juga dapat mempengaruhi penerimaan masyarakat terhadap energi baru ini. Oleh karena itu, program pendidikan dan kampanye informasi terkait nuklir bahwa dampak negatif pemanfaatan nuklir dapat dihindari apabila energi nuklir dimanfaatkan sesuai aturan dan prosedur keselamatan yang berlaku. Pengembangan kebijakan dan inisiatif energi nuklir di Indonesia harus memperhitungkan faktor-faktor sosial budaya untuk memastikan bahwa pemerintah mendapat dukungan yang luas dan berkelanjutan dari berbagai kelompok masyarakat.

7) Pertahanan dan Keamanan.

Dalam konteks pertahanan dan keamanan, BAPETEN mengawasi berbagai aktivitas nuklir di Indonesia untuk memastikan pelaksanaan prosedur keamanan dan pencegahan penyalahgunaan material nuklir untuk tujuan non-sipil. Keamanan infrastruktur nuklir melibatkan perlindungan dari ancaman terorisme dan sabotase, di mana hal ini memerlukan kerjasama dengan lembaga keamanan nasional. Karena material dasar dan reaktor nuklir sangat berbahaya, maka pengelolaan dan pengawasan yang ketat terhadap material nuklir diperlukan untuk mencegah penyalahgunaan atau pencurian yang bisa mengancam keamanan nasional. Pengembangan rencana tanggap darurat yang komprehensif merupakan kunci untuk mengatasi insiden nuklir dan menjamin keselamatan publik. Pertimbangan dalam aspek keamanan khususnya sangat penting untuk mengembangkan program pemanfaatan energi nuklir yang aman dan terpercaya di Indonesia.

**d. Peluang dan Kendala.** Adapun peluang dan kendala dari pembahasan perkembangan lingkungan strategis tersebut sebagai berikut:

1) Peluang

- a) Energi nuklir menawarkan peluang untuk diversifikasi sumber energi yang dapat mengurangi ketergantungan global pada bahan bakar fosil seperti minyak, batu bara, dan gas. Dalam konteks global, banyak negara berusaha mengembangkan energi nuklir untuk memastikan kemandirian energi dan mengurangi dampak volatilitas harga bahan bakar fosil di pasar internasional. Dengan energi nuklir, negara-negara dapat memastikan pasokan listrik yang stabil dan berkelanjutan, yang sangat penting untuk pertumbuhan ekonomi jangka panjang.
- b) Perkembangan teknologi nuklir global telah menghasilkan reaktor generasi baru yang lebih aman, efisien, dan ramah lingkungan sehingga memberikan peluang bagi Indonesia untuk mengadopsi teknologi terkini.
- c) Salah satu keuntungan utama dari energi nuklir adalah kemampuannya menghasilkan listrik dalam jumlah besar tanpa menghasilkan emisi karbon yang signifikan. Di tengah meningkatnya tekanan untuk mengatasi perubahan iklim, energi nuklir menawarkan solusi yang efektif untuk mengurangi jejak karbon global.
- d) Pengembangan energi nuklir juga mendorong kemajuan teknologi dalam berbagai bidang, termasuk teknologi reaktor, manajemen limbah nuklir, dan keselamatan nuklir.

2) Kendala

- a) Meskipun energi nuklir memiliki banyak manfaat, risiko keselamatan tetap menjadi kendala utama. Bencana di *Chernobyl* (1986) dan *Three Mile Island* (1979) menunjukkan bahwa kecelakaan nuklir dapat memiliki dampak yang sangat merusak dan berkepanjangan. Risiko ini membuat banyak

negara dan masyarakat ragu untuk mengadopsi energi nuklir sebagai bagian dari strategi energi.

- b) Pembangunan dan operasionalisasi PLTN memerlukan investasi awal yang sangat besar. Hal ini menjadi tantangan bagi negara-negara yang memiliki keterbatasan sumber daya finansial. Negara-negara berkembang, khususnya, menghadapi tantangan besar dalam memperoleh pendanaan untuk proyek-proyek energi nuklir skala besar.
- c) Pengembangan energi nuklir memerlukan kerangka regulasi yang kuat dan kebijakan yang mendukung. Namun, di banyak negara, kebijakan dan regulasi terkait energi nuklir masih kurang matang atau belum sepenuhnya mendukung adopsi teknologi baru seperti *Small Modular Reactor* (SMR). Selain itu, resistensi politik dan sosial terhadap energi nuklir seringkali menghambat pengembangan dan penerapan energi ini secara luas.
- d) Penerimaan masyarakat terhadap energi nuklir sangat dipengaruhi oleh persepsi risiko dan manfaat. Di beberapa negara, kekhawatiran ini menghambat dukungan publik terhadap pengembangan energi nuklir, yang pada akhirnya memperlambat implementasi proyek nuklir baru.



### BAB III

## PEMBAHASAN

#### 12. Umum

Merujuk pada latar belakang yang telah dibahas pada Bab I, maka karya tulis ini mengidentifikasi 3 (tiga) persoalan kajian yang diharapkan dapat memecahkan permasalahan-permasalahan yang menghambat upaya pemerintah dan beberapa *stakeholder* dalam pemanfaatan energi nuklir guna mendukung *net zero emission* dalam rangka terwujudnya ketahanan energi nasional. Bagi Indonesia, teknologi nuklir sebenarnya bukan teknologi baru, beberapa reaktor nuklir penelitian yang telah beroperasi selama 50 tahun merupakan pengalaman panjang bagi bangsa Indonesia untuk menguasai teknologi nuklir khususnya pada bidang pertanian, kesehatan, industri dan fabrikasi bahan Uranium. Namun, selama ini pengembangan energi nuklir belum bisa diimplementasikan sesuai dengan yang telah direncanakan. Pemanfaatan sumber-sumber energi non-terbarukan dan terbarukan belum diatur dalam Undang-undang ketenagalistrikan, sehingga tidak mendukung terlaksananya desentralisasi ketenagalistrikan. Masih terjadi tumpang tindih dalam pelaksanaan Kebijakan dan peraturan di sektor listrik yang sangat beragam, sektoral.

Analisa pemecahan persoalan-persoalan pada Bab III ini menggunakan beberapa kerangka teoretis, peraturan, serta perundang-undangan yang dianggap relevan. Analisa dengan melihat pertimbangan pada kondisi perkembangan lingkungan strategis Global, Regional maupun Nasional serta berbagai peluang yang dalam pemanfaatan energi nuklir guna mendukung upaya *net zero emission* dan terwujudnya ketahanan energi nasional. Pokok-pokok kajian yang dibahas dalam bab ini antara lain hambatan dan tantangan dalam pemanfaatan PLTN di Indonesia, pengaruh pemanfaatan energi nuklir terhadap tercapainya *net zero emission*, dan langkah konkret dalam merumuskan strategi pemanfaatan energi nuklir yang dapat mendukung *net zero emission* dalam rangka mewujudkan ketahanan energi nasional.

### 13. Hambatan dan Tantangan dalam Pemanfaatan PLTN di Indonesia

Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di Indonesia menghadapi beberapa hambatan dan tantangan yang signifikan dari berbagai aspek, diantaranya pemahaman masyarakat, sumber daya manusia (SDM), infrastruktur, dan regulasi.

#### a. Beberapa hambatan yang terjadi antara lain:

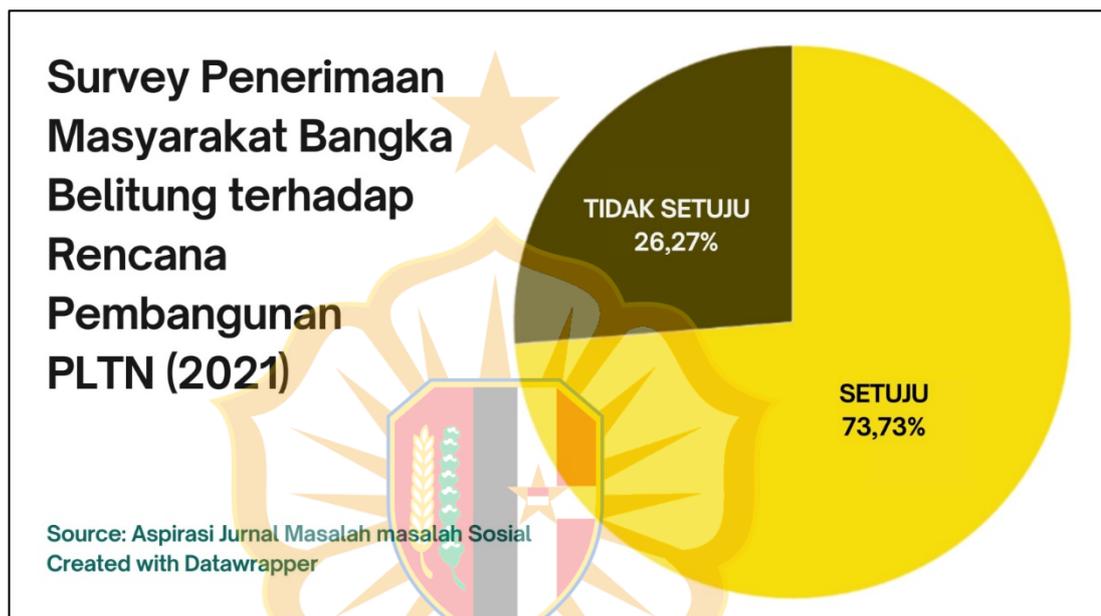
##### 1) Pemahaman Masyarakat terhadap energi nuklir.

Sebagian besar masyarakat Indonesia masih memiliki pemahaman yang terbatas tentang teknologi nuklir dan manfaatnya. Edukasi formal mengenai teknologi nuklir di sekolah-sekolah juga masih terbatas, sehingga pengetahuan mengenai manfaat dan risiko teknologi nuklir tidak tersampaikan dengan baik. Hal ini menyebabkan munculnya banyak salah paham tentang PLTN, terutama terkait dengan risiko keselamatan dan dampak lingkungan. Ketakutan terhadap Risiko kemungkinan terjadinya kecelakaan nuklir seperti yang terjadi di Fukushima atau *Chernobyl* masih sangat kuat di kalangan masyarakat. Ketakutan ini sering diperparah oleh kurangnya informasi yang akurat dan sosialisasi yang efektif. Menurut survei yang dilakukan oleh BATAN pada tahun 2023, 65% dari responden di Indonesia menganggap bahwa teknologi nuklir terutama berkaitan dengan risiko bahaya dan bencana<sup>33</sup>. Stigma dan ketakutan ini membuat masyarakat enggan menerima informasi lebih lanjut atau bahkan menolak teknologi nuklir tanpa memahami manfaatnya. Kekurangpahaman masyarakat terhadap teknologi nuklir merupakan masalah signifikan yang berdampak pada penerimaan dan pengembangan teknologi tersebut di berbagai negara, termasuk Indonesia. Ketidapkahaman ini seringkali disebabkan oleh kurangnya informasi yang akurat dan relevan, serta kurangnya edukasi yang memadai mengenai teknologi nuklir dan dampaknya. Data terkini menunjukkan bahwa kekurangpahaman masyarakat terhadap

---

<sup>33</sup> Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). (2023). Survei Persepsi Masyarakat Terhadap Teknologi Nuklir. Jakarta: BATAN

teknologi nuklir masih menjadi masalah yang besar. Misalnya, penelitian yang dilakukan di Bangka Belitung menemukan bahwa hanya 73,73% masyarakat setuju dengan pembangunan PLTN di wilayah tersebut (lihat Gambar 4), walaupun mayoritas masyarakat (94,27%) setuju dengan manfaat PLTN dan (92,53%) setuju dengan kesadaran masyarakat terhadap risiko PLTN (Drajat Tri Kartono, 2023).



Gambar 4 Hasil Survey Rencana Pembangunan PLTN di Bangka Belitung  
Sumber: Aspirasi Jurnal Masalah Sosial (2021)

## 2) Kapasitas Sumber Daya Manusia.

Hambatan pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di Indonesia dari aspek sumber daya manusia (SDM) meliputi beberapa tantangan utama:

- a) Keterbatasan Tenaga Ahli Nuklir. Indonesia masih menghadapi kekurangan tenaga ahli yang memiliki keahlian khusus dalam bidang teknologi nuklir. Mengoperasikan dan memelihara PLTN membutuhkan pengetahuan mendalam dalam fisika nuklir, teknik reaktor, keselamatan radiasi, dan manajemen limbah. Saat ini, jumlah profesional yang memenuhi kualifikasi tersebut di Indonesia masih terbatas. Padahal, para akademisi dan ahli memiliki pengetahuan yang

mendalam dan bisa menjelaskan manfaat serta risiko teknologi nuklir secara komprehensif. Peningkatan peran akademisi dalam kegiatan sosialisasi dan edukasi bisa membantu masyarakat mendapatkan informasi yang lebih valid dan terpercaya mengenai teknologi nuklir.

- b) Pendidikan dan Pelatihan tentang nuklir belum merata. Ketersediaan program pendidikan dan pelatihan yang fokus pada teknologi nuklir di Indonesia masih terbatas. Program studi terkait nuklir di perguruan tinggi lokal belum sepenuhnya mampu menghasilkan lulusan dengan keterampilan yang dibutuhkan untuk industri nuklir. Selain itu, pelatihan yang berkelanjutan dan sertifikasi internasional yang diakui masih kurang, sehingga menghambat pengembangan kapasitas SDM. Penelitian dan pengembangan (R&D) yang terbatas di bidang teknologi nuklir menghambat inovasi dan peningkatan kompetensi SDM. Investasi dalam R&D sangat penting untuk memastikan bahwa tenaga kerja dapat terus memperbarui keterampilan mereka seiring dengan perkembangan teknologi dan standar keselamatan yang ketat.
- c) *Transfer of Technology (ToT)* yang terbatas. Indonesia perlu melakukan transfer teknologi dan pengetahuan dari negara-negara yang sudah lebih maju dalam teknologi nuklir. Hambatan dalam akses terhadap teknologi terbaru dan keterbatasan kerjasama internasional dapat memperlambat pengembangan kemampuan SDM lokal dalam menguasai teknologi nuklir. Data dari Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi menunjukkan bahwa kurang dari 30% sekolah di Indonesia memberikan materi pendidikan tentang teknologi nuklir secara komprehensif<sup>34</sup>.

---

<sup>34</sup> Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. (2023). Laporan Pendidikan Nasional. Jakarta: Kemendikbudristek

- d) Kurangnya Pengalaman Operasional. Pengalaman operasional di bidang nuklir sangat penting untuk menjamin keselamatan dan efisiensi PLTN. Karena Indonesia belum memiliki pengalaman signifikan dalam pengoperasian PLTN, ada tantangan besar dalam membangun dan memperluas pengetahuan praktis yang diperlukan untuk mengelola PLTN dengan aman.
- 3) Infrastruktur. Hambatan pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di Indonesia dari aspek infrastruktur mencakup beberapa tantangan utama:
- a) Keterbatasan Infrastruktur Pendukung. PLTN memerlukan jaringan transportasi yang khusus dan aman untuk mengangkut bahan bakar nuklir dan limbah radioaktif. Saat ini, infrastruktur transportasi yang diperlukan untuk mengangkut bahan nuklir dengan aman, baik melalui darat, laut, maupun udara, masih belum memadai. Ketiadaan jaringan transportasi yang sesuai dapat memperlambat proses pengiriman dan penanganan bahan nuklir, serta meningkatkan risiko kecelakaan selama transportasi. Sistem transmisi listrik di Indonesia, terutama di daerah-daerah yang direncanakan untuk pembangunan PLTN, mungkin belum cukup andal atau belum siap untuk mendistribusikan energi yang dihasilkan oleh PLTN. Keterbatasan ini dapat menyebabkan inefisiensi dalam distribusi listrik, sehingga PLTN tidak dapat berfungsi secara optimal.
- b) Lokasi Pembangunan PLTN. Mencari lahan yang luas dan stabil untuk pembangunan PLTN tidaklah mudah. Lahan tersebut harus jauh dari pemukiman, bebas dari risiko lingkungan seperti banjir atau tanah longsor, dan harus memiliki akses yang baik untuk transportasi dan infrastruktur lainnya. Keterbatasan lahan yang memenuhi semua kriteria ini seringkali menjadi penghalang bagi pembangunan PLTN.

Indonesia berada di wilayah Cincin Api Pasifik, yang dikenal dengan aktivitas seismik dan vulkanik yang tinggi. Gempa bumi dan letusan gunung berapi adalah ancaman serius yang dapat mempengaruhi stabilitas dan keselamatan PLTN. Memilih lokasi yang aman dari risiko gempa dan aktivitas vulkanik menjadi tantangan besar karena hampir seluruh wilayah Indonesia rentan terhadap bencana alam ini.

- c) Ketersediaan dan Pengelolaan Air dan Limbah Nuklir. Salah satu faktor utama kekurangpahaman adalah adanya stigma/persepsi negatif yang kuat terhadap teknologi nuklir. Banyak masyarakat yang mengaitkan nuklir dengan kejadian-kejadian negatif seperti bencana *Chernobyl* (1986) dan *Fukushima* (2011). Menurut survei yang dilakukan oleh BATAN pada tahun 2023, 65% dari responden di Indonesia menganggap bahwa teknologi nuklir terutama berkaitan dengan risiko bahaya dan bencana<sup>35</sup>. PLTN membutuhkan sumber air yang besar dan stabil untuk sistem pendinginan. Keterbatasan infrastruktur untuk penyediaan air yang memadai di sekitar lokasi PLTN, terutama di wilayah yang rentan terhadap kekeringan, dapat mengganggu operasi reaktor dan meningkatkan risiko keselamatan. Fasilitas untuk penyimpanan dan pengelolaan bahan bakar nuklir, baik sebelum digunakan (bahan bakar segar) maupun setelah digunakan (limbah nuklir), masih sangat terbatas di Indonesia. Ketiadaan fasilitas yang memadai untuk menyimpan bahan bakar nuklir dengan aman dapat menghambat operasional PLTN dan menimbulkan risiko keselamatan.
- d) Kesiapan Teknologi dan Peralatan. Keterbatasan teknologi pendukung, termasuk sistem pengawasan dan kontrol yang canggih, merupakan hambatan signifikan. PLTN memerlukan teknologi yang mampu memantau dan mengendalikan

---

<sup>35</sup> Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). (2023). Survei Persepsi Masyarakat Terhadap Teknologi Nuklir. Jakarta: BATAN

operasi secara real-time dengan tingkat akurasi dan keamanan yang tinggi. Keterbatasan dalam akses terhadap teknologi ini dapat meningkatkan risiko operasional dan mengurangi efisiensi PLTN.

- 4) Regulasi. Hambatan pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di Indonesia dari aspek regulasi mencakup berbagai tantangan yang berkaitan dengan kerangka hukum, perizinan, dan kebijakan pemerintah. Kajian Pembangunan PLTN di Indonesia diprediksikan selesai pada tahun 2030, sedangkan PLTN pertama di Indonesia ditargetkan mulai beroperasi pada tahun 2040. Hal ini dibahas pada Rapat Dengar Pendapat (RDP) antara Komisi VII DPR RI bersama dengan BAPETEN, BRIN, dan Badan Informasi Geospasial (BIG) pada bulan Maret 2024 lalu. Selanjutnya saat ini proyek PLTN di Indonesia menunggu selesainya proses pembahasan RUU Energi Baru Energi Terbarukan (RUU EBET) yang nantinya akan menjadi dasar hukum operasional PLTN di Indonesia. Tata Kelola pengembangan PLTN setelah RUU EBET disahkan menjadi tanggung jawab BAPETEN. Pembangunan PLTN di Indonesia tersebut merupakan salah satu bentuk komitmen pemerintah untuk mencapai target *net zero emission* di tahun 2060<sup>36</sup>. Kekhawatiran mengenai dampak lingkungan dan keamanan penggunaan teknologi nuklir masih menjadi perhatian utama. Masyarakat cenderung khawatir tentang kemungkinan kebocoran radiasi dan limbah nuklir yang sulit diolah. Pemerintah perlu meningkatkan transparansi dan memberikan penjelasan yang komprehensif tentang langkah-langkah keamanan yang diterapkan untuk mengelola risiko tersebut<sup>37</sup>.

---

<sup>36</sup> <https://katadata.co.id/ekonomi-hijau/energi-baru/65f2b0691c4cf/kajian-pembangkit-energi-nuklir-ri-rampung-2030-beroperasi-mulai-2040> diakses pada 19 Juni 2024

<sup>37</sup> <https://katadata.co.id/ekonomi-hijau/energi-baru/66022d9b10ad0/pemerintah-kebut-pembentukan-organisasi-pendukung-energi-nuklir-di-ri> diakses pada 19 Juni 2024

**b. Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di Indonesia juga terdapat tantangan yang ada dan harus dihadapi antara lain:**

- 1) Pemahaman Masyarakat tentang Energi Nuklir. Salah satu tantangan utama adalah meningkatkan literasi masyarakat mengenai energi nuklir dan PLTN. Ini termasuk memberikan edukasi yang menyeluruh tentang manfaat dan risiko, serta langkah-langkah keselamatan yang diterapkan dalam pengoperasian PLTN. Data dari Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi menunjukkan bahwa kurang dari 30% sekolah di Indonesia memberikan materi pendidikan tentang teknologi nuklir secara komprehensif<sup>38</sup>. meski pemerintah sudah mulai menginisiasi program pembangunan PLTN, namun upaya sosialisasi masih perlu ditingkatkan untuk menjangkau seluruh lapisan masyarakat<sup>39</sup>.
- 2) Minimnya Kapasitas SDM. Diperlukan upaya yang sistematis untuk mengembangkan kapasitas SDM melalui program pendidikan, pelatihan, dan kerjasama internasional. Ini mencakup peningkatan kurikulum pendidikan tinggi, pelatihan khusus, dan pengiriman tenaga kerja untuk belajar di luar negeri. Pemerintah dan lembaga terkait perlu menyediakan lebih banyak informasi dalam bahasa Indonesia dan memastikan bahwa informasi tersebut dapat diakses dengan mudah oleh semua kalangan<sup>40</sup>.
- 3) Keterbatasan Infrastruktur. Membangun dan memodernisasi infrastruktur yang diperlukan untuk mendukung PLTN. Hal ini mencakup pembangunan fasilitas nuklir, jaringan distribusi listrik yang efisien, dan fasilitas pengelolaan limbah yang aman. Pengembangan jaringan transmisi yang dapat menyalurkan listrik dari PLTN ke pusat konsumsi secara efisien dan tanpa gangguan, Memastikan transportasi bahan bakar nuklir dan limbah radioaktif

---

<sup>38</sup> Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. (2023). Laporan Pendidikan Nasional. Jakarta: Kemendikbudristek

<sup>39</sup> <https://lestari.kompas.com/read/2023/11/21/061257386/rencana-pembangkit-nuklir-di-indonesia-semakin-nyata-ini-progresnya> diakses pada 19 Juni 2024

<sup>40</sup> Ibid

dilakukan dengan aman dan efisien, Pembangunan fasilitas-fasilitas ini memerlukan perencanaan yang hati-hati dan koordinasi dengan berbagai pihak untuk memastikan keamanan dan keberlanjutan, memerlukan investasi dan perencanaan infrastruktur yang tepat. Menyediakan infrastruktur tambahan ini memerlukan investasi yang signifikan serta waktu dan perencanaan yang matang. Mengembangkan infrastruktur yang tahan terhadap bencana alam sambil memenuhi standar keselamatan internasional memerlukan teknologi yang canggih dan biaya yang besar.

- 4) Kerangka hukum dan regulasi. Regulasi yang ada saat ini mungkin belum cukup untuk menjamin keselamatan, keamanan, dan pengelolaan limbah nuklir secara efektif. Proses perizinan dan regulasi yang panjang serta birokrasi yang kompleks dapat memperlambat pengembangan PLTN. Investor dan pengembang mungkin menghadapi kesulitan dalam memenuhi semua persyaratan hukum dan regulasi yang diperlukan. Indonesia belum memiliki PLTN yang beroperasi secara komersial. Namun, pemerintah berniat untuk mengembangkan pembangkit listrik tenaga nuklir sebagai bagian dari portofolio energi nasional. Hal ini disampaikan oleh Presiden RI, Joko Widodo, pada tahun 2021 dengan target pengoperasian PLTN di Indonesia adalah tahun 2030. Langkah pengembangan PLTN tersebut telah ditempuh oleh pemerintah melalui BATAN yang mempunyai tugas mengawasi dan mengatur kegiatan terkait nuklir di Indonesia. Sejalan dengan langkah tersebut, pemerintah telah menjalin kerja sama dengan berbagai negara dunia yang telah mengembangkan teknologi nuklir terlebih dahulu, seperti Rusia, Korea Selatan, dan Amerika Serikat. Dari ketiga kasus yang terjadi di *Three Mile Island* dinilai tidak seberat insiden *Chernobyl* maupun *Fukushima*, dapat diambil kesimpulan bahwa perlu adanya kebijakan standar baku dalam pengelolaan risiko baik pembangunan maupun pengoperasian PLTN di Indonesia. Berikut adalah beberapa kebijakan yang akan dan telah diterbitkan oleh pemerintah:

- a) Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014. Peraturan ini mengatur tentang Keselamatan Radiasi dan Keamanan Sumber Radioaktif. Di dalamnya, diatur standar keselamatan untuk pengelolaan risiko yang berkaitan dengan radiasi dan bahan radioaktif yang digunakan dalam PLTN. Peraturan ini juga menekankan pentingnya penilaian risiko dan pengelolaan risiko yang ketat untuk mencegah dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia.
- b) Standar Nasional Indonesia (SNI) 19-7125-2005 tentang Pengelolaan Risiko Nuklir. Standar ini menetapkan pedoman untuk pengelolaan risiko dalam sistem manajemen keselamatan nuklir. Standar ini mencakup identifikasi, evaluasi, dan mitigasi risiko yang terkait dengan pembangunan dan pengoperasian PLTN, termasuk risiko lingkungan, kesehatan, dan keselamatan publik.
- c) Peraturan BAPETEN Nomor 1 Tahun 2020. BAPETEN mengeluarkan peraturan mengenai Ketentuan Keselamatan dan Keamanan Pembangunan PLTN yang mencakup aspek-aspek pengelolaan risiko dari perencanaan hingga operasi dan dekomisioning. Peraturan ini menetapkan kewajiban bagi operator PLTN untuk melakukan penilaian risiko secara menyeluruh dan menerapkan langkah-langkah mitigasi yang sesuai.
- d) Pedoman Pengelolaan Risiko Fasilitas Nuklir (BAPETEN, 2021). BAPETEN juga menerbitkan pedoman khusus mengenai manajemen risiko untuk fasilitas nuklir, termasuk PLTN. Pedoman ini mencakup metode penilaian risiko, teknik mitigasi, serta prosedur tanggap darurat untuk menghadapi kemungkinan kejadian tak terduga.
- e) Adopsi Standar Internasional IAEA. Indonesia juga telah mengadopsi standar internasional terkait nuklir yang diterbitkan oleh *International Atomic Energy Agency* (IAEA). Adapun standar yang diadopsi adalah GSR Part 1 dan SSR-

2/1. Standar tersebut menetapkan prinsip-prinsip dasar dan persyaratan untuk keselamatan nuklir, termasuk manajemen risiko, penilaian keselamatan, dan tindakan mitigasi. Pemerintah, melalui BAPETEN, telah memastikan bahwa standar yang diadopsi dapat diintegrasikan ke dalam regulasi nasional dan diterapkan oleh semua operator PLTN. IAEA telah melakukan audit atas adopsi standar ini pada tahun 2022 dengan hasil penerapan standar di Indonesia sudah sesuai dengan praktik terbaik internasional. Audit tersebut mencatat bahwa sistem manajemen risiko di PLTN Indonesia memenuhi kriteria keselamatan yang ketat dan telah diterapkan secara konsisten.

Dengan memahami Tantangan dan Hambatan tersebut, upaya edukasi dan sosialisasi mengenai teknologi nuklir di Indonesia dapat ditingkatkan, sehingga masyarakat dapat lebih memahami dan menerima teknologi ini sebagai bagian dari solusi energi berkelanjutan di masa depan. Kekurangpahaman masyarakat akan energi nuklir dan penggunaannya telah mendorong pemerintah untuk lebih giat dalam mensosialisasikan manfaat nuklir kepada masyarakat luas. Diperlukan strategi sosialisasi yang efektif dan berkelanjutan sebagai upaya mengatasi kekurangpahaman masyarakat terkait energi nuklir. Strategi tersebut harus melibatkan pemerintah, organisasi masyarakat, dan industri teknologi nuklir untuk memberikan informasi yang akurat dan relevan kepada masyarakat.

Kebijakan yang diambil oleh pemerintah harus memerhatikan kondisi geografis dan demografis negara. Dalam Teori Kebijakan (William Dunn, 2012), salah satu aspek penting yang perlu diperhatikan adalah analisis situasi, di mana kebijakan diambil berdasarkan hasil analisa situasi terkait. Hal ini juga selaras dengan Teori Manajemen risiko. Dalam kebijakan pengelolaan risiko pembangunan dan pengoperasian PLTN di Indonesia, letak geografis Indonesia yang berada di kawasan Cincin Api Pasifik (*Pacific Rings of Fire*). Kondisi ini menyebabkan Indonesia sering mengalami bencana gempa bumi, letusan gunung berapi dan potensi tsunami. Indonesia juga patut mencontoh dan melakukan *benchmarking* kepada negara-negara yang telah berhasil

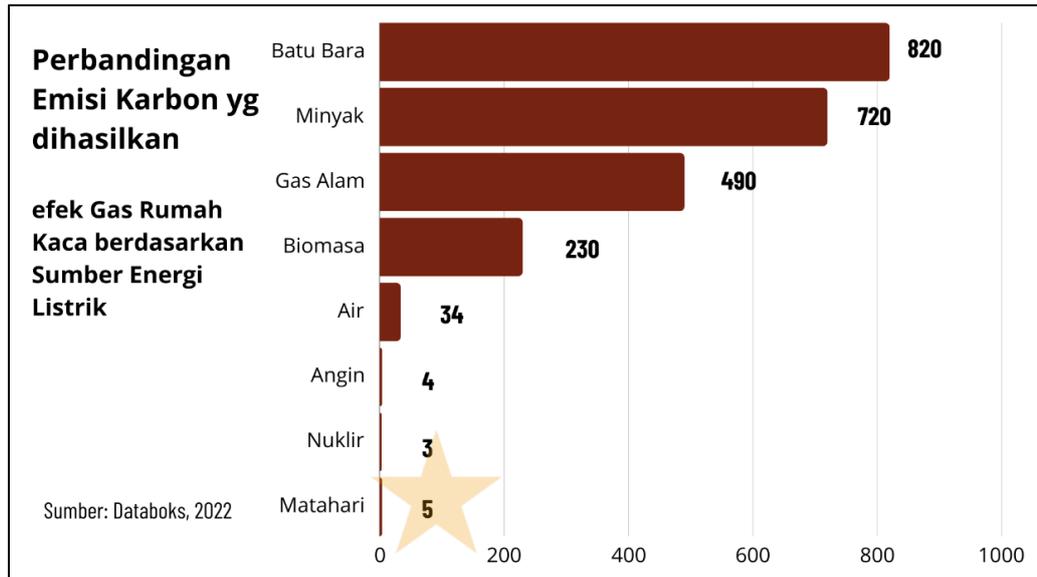
mengelola PLTN dalam rangka membangun kebijakan standar baku pengelolaan risiko pembangunan dan pengelolaan PLTN.

#### **14. Pengaruh Pemanfaatan Energi Nuklir terhadap Tercapainya *Net Zero Emission***

Dalam upaya global untuk mengatasi perubahan iklim, banyak negara, termasuk Indonesia, telah berkomitmen untuk mencapai target *Net Zero Emission* pada tahun 2060 atau lebih cepat. *Net Zero Emission* berarti bahwa jumlah emisi gas rumah kaca (GRK) yang dilepaskan ke atmosfer sama dengan jumlah emisi yang diserap atau dihilangkan melalui berbagai cara, seperti reboisasi, teknologi penangkapan dan penyimpanan karbon, atau pengurangan emisi dari sumber energi bersih. Energi nuklir melalui Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) menjadi salah satu opsi strategis yang dipertimbangkan banyak negara untuk mencapai target tersebut, mengingat potensinya sebagai sumber energi yang rendah karbon.

##### **a. Sumber Energi Rendah Karbon.**

PLTN menghasilkan listrik dengan emisi karbon yang sangat rendah dibandingkan dengan pembangkit listrik berbasis bahan bakar fosil seperti batu bara atau gas alam. Selama siklus hidupnya, PLTN hanya menghasilkan emisi karbon minimal yang terkait dengan konstruksi, operasi, dan penonaktifan fasilitas. Tidak adanya emisi CO<sub>2</sub> selama operasi rutin PLTN membuatnya menjadi salah satu pilihan utama untuk mengurangi jejak karbon sektor energi.

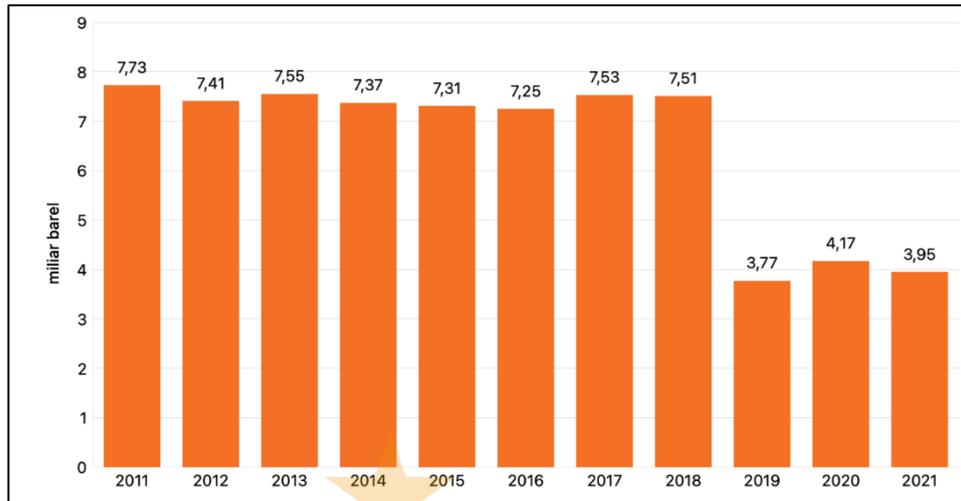


Gambar 5 Emisi GRK Berdasarkan Sumber Energi Listrik  
Sumber: Databoks, 2022

#### b. Penggantian Energi Fosil.

Dengan semakin berkurangnya ketergantungan pada energi fosil, yang merupakan sumber utama emisi karbon, PLTN dapat menggantikan pembangkit listrik berbasis batu bara dan gas alam. Dalam konteks Indonesia, yang masih sangat bergantung pada batu bara, adopsi PLTN dapat secara signifikan mengurangi emisi CO<sub>2</sub> yang berasal dari sektor energi, mempercepat pencapaian target *Net Zero Emission*. Kebutuhan energi listrik di Indonesia semakin meningkat dengan banyaknya kebutuhan primer yang bergantung pada energi listrik. Sedangkan, cadangan energi fosil yang dimiliki oleh Indonesia semakin hari semakin berkurang. Data di tahun 2021 menyatakan bahwa Indonesia hanya memiliki cadangan energi fosil sebanyak 3,95 miliar barel, yang terdiri dari cadangan terbukti sebanyak 2,25 miliar barel dan cadangan potensial sebanyak 1,7 miliar barel<sup>41</sup> (lihat Gambar 6). Cadangan yang dimiliki tersebut diestimasikan hanya bertahan selama 8 tahun ke depan. Oleh karena itu, peralihan dari energi fosil ke EBT sangat diperlukan bagi kelangsungan energi di Indonesia.

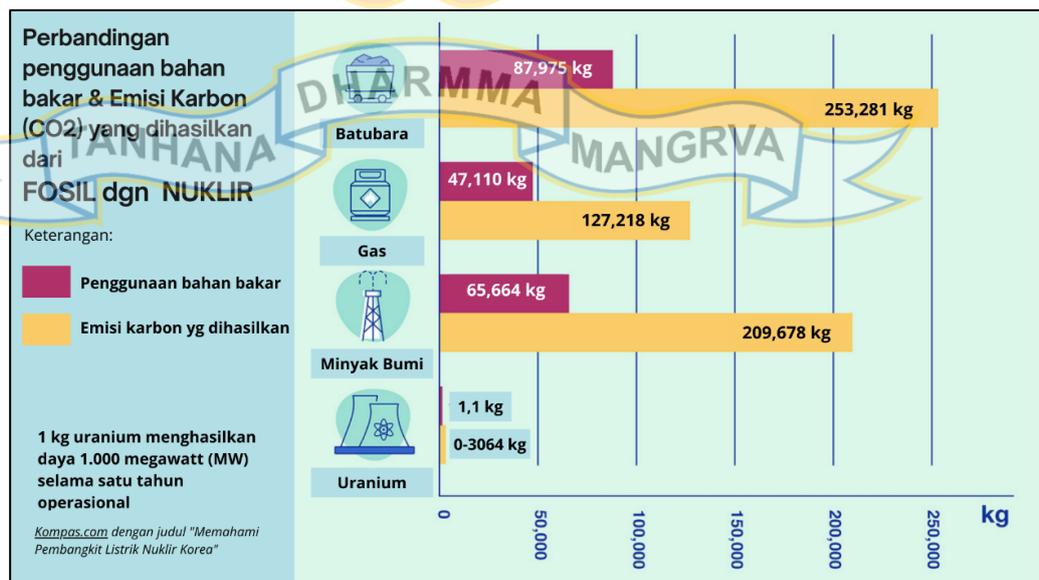
<sup>41</sup> <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/07/22/cadangan-minyak-indonesia-terus-menipis-dalam-10-tahun-terakhir#:~:text=Pada%202021%2C%20data%20Kementerian%20Energi,1%2C7%20miliar%20cadangan%20potensial.> Diakses pada 2 Juni 2024



Gambar 6. Cadangan Energi Fosil Indonesia  
 Sumber: databoks.co.id. 2023

**c. Stabilitas Energi dan Integrasi Energi Terbarukan.**

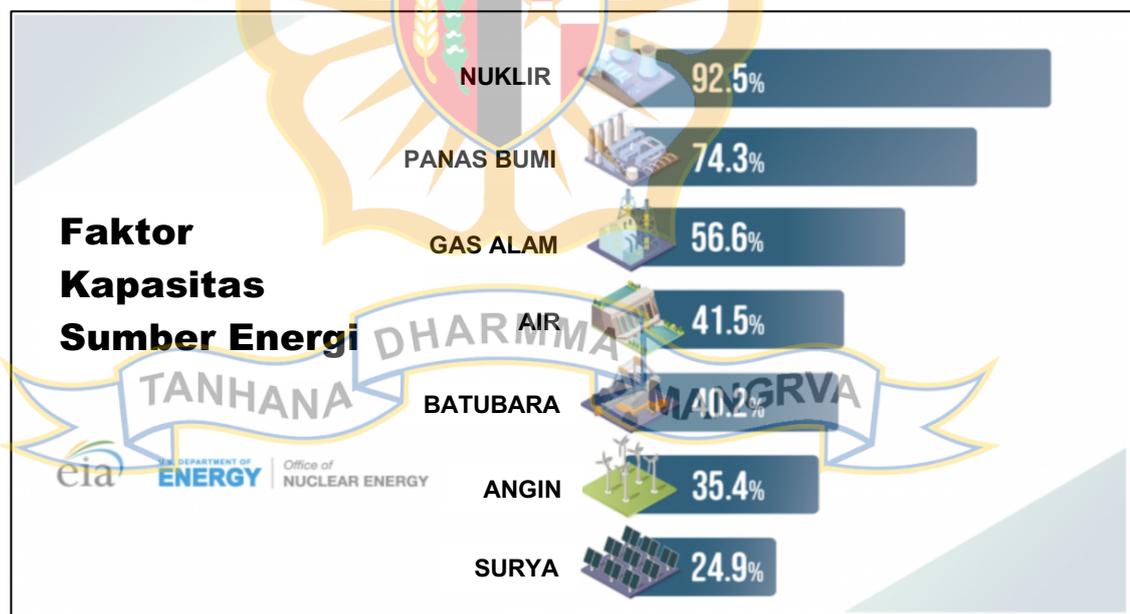
PLTN memiliki kapasitas untuk menghasilkan listrik dalam jumlah besar secara kontinu (*baseload power*), yang berarti dapat menyediakan daya yang stabil dan andal. Ini menjadi sangat penting ketika dikombinasikan dengan energi terbarukan seperti tenaga surya dan angin, yang cenderung memiliki output yang berfluktuasi karena bergantung pada kondisi cuaca. PLTN dapat memastikan stabilitas jaringan listrik sekaligus mendukung penetrasi yang lebih tinggi dari energi terbarukan yang variabel.



Gambar 7. CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh Berbagai Sumber Energi  
 Sumber : IAEA.org

#### d. Diversifikasi Sumber Energi.

PLTN dapat memainkan peran penting dalam diversifikasi sumber energi Indonesia. Dengan PLTN, Indonesia dapat mengurangi ketergantungan pada batu bara, yang saat ini mendominasi bauran energi nasional dan merupakan sumber utama emisi karbon. Nuklir menjadi primadona di berbagai negara karena memberikan manfaat yang begitu besar bagi negara dalam hal pemenuhan kebutuhan energi. Seperti di Amerika Serikat, nuklir menyediakan energi yang konstan, reliable, dan rendah karbon bagi seluruh masyarakatnya. Hal ini dikarenakan nuklir memiliki faktor kapasitas (*capacity factor*) yang tinggi, hampir dua kali lipat dari faktor kapasitas yang dimiliki oleh gas alam dan batubara<sup>42</sup>. Nuklir juga dianggap lebih reliable karena reaktor nuklir dibangun untuk beroperasi dalam jangka panjang dan memerlukan perbaikan yang lebih sedikit. Oleh karena itu, penggunaan energi nuklir akan sangat bermanfaat bagi pemerintah dan masyarakat umum.

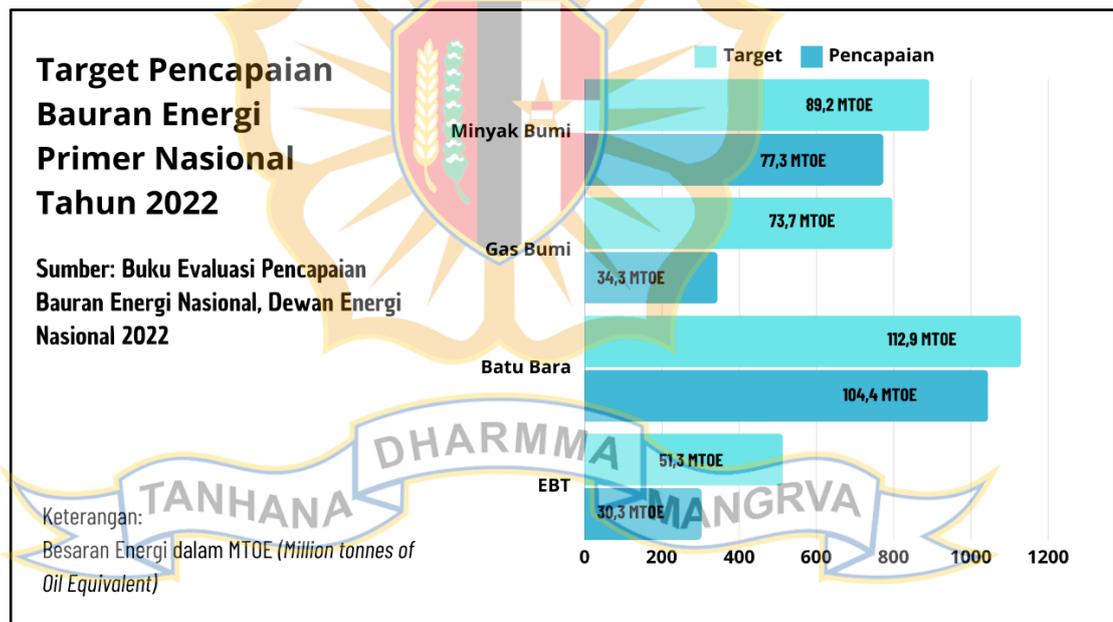


Gambar 8 Faktor Kapasitas yang Dihasilkan oleh Berbagai Sumber Energi  
Sumber : energy.gov

<sup>42</sup> <https://www.energy.gov/ne/articles/nuclear-power-most-reliable-energy-source-and-its-not-even-close> diakses pada 6 Juli 2024.

**e. Komplementer bagi Energi Terbarukan.**

PLTN dapat bekerja secara sinergis dengan energi terbarukan seperti angin, surya, dan hidro untuk menyediakan pasokan energi yang bersih dan andal. PLTN sebagai baseload power dapat mengimbangi ketidakpastian pasokan dari energi terbarukan yang lebih bergantung pada kondisi lingkungan. Indonesia telah bersiap untuk membangun dan mengoperasikan PLTN sebagai sumber energi baru. Hal ini telah dicantumkan dalam PP Nomor 79 Tahun 2014. Penggunaan nuklir di Indonesia dilatarbelakangi oleh cita-cita bangsa untuk dapat mewujudkan ketahanan energi nasional. Di sisi lain, cadangan fosil Indonesia semakin menipis. Sebagaimana telah ditetapkan dalam KEN dan Rancangan Umum Energi Nasional (RUEN), target pencapaian bauran energi primer nasional pada tahun 2022 (lihat Gambar 8).



Gambar 9 Target Pencapaian Bauran Energi Primer Nasional Tahun 2022  
Sumber: Dewan Energi Nasional (2022)

**f. Mempercepat Transisi Energi.**

Pemanfaatan PLTN dapat mempercepat transisi energi di Indonesia menuju sistem energi yang rendah karbon. Dalam jangka panjang, hal ini akan membantu Indonesia mencapai target Net Zero Emission lebih cepat, mengurangi dampak lingkungan, dan

meningkatkan ketahanan energi nasional. Saat ini, pemerintah telah menyusun Rencana Pengembangan Jangka Panjang Transisi Energi Nasional 2025-2045 yang terbagi menjadi 4 tahap. Masing-masing tahap mempunyai rentang waktu 5 tahunan dengan rincian yang ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10 Rencana Pengembangan Jangka Panjang Transisi Energi Nasional 2025-2045  
Sumber : Kepala Pusat Kajian Teknologi Reaktor Nuklir BRIN

## 15. Langkah Konkret dalam Merumuskan Strategi Pemanfaatan Energi Nuklir dalam rangka Mewujudkan Ketahanan Energi Nasional

Pemanfaatan energi nuklir di Indonesia perlu dilakukan dengan komprehensif dan hati-hati. Hal ini berkaitan dengan dampak negatif apabila terjadi kecelakaan yang menyebabkan zat radioaktif yang terkandung dalam nuklir tersebar di atmosfer, seperti halnya kecelakaan *Chernobyl* dan *Fukushima*. Pemerintah juga perlu memperhatikan bagaimana respon Masyarakat terkait dengan isu PLTN yang berkembang. Oleh karena itu, perlu adanya langkah konkret yang harus dijalani oleh pemerintah dalam merumuskan strategi pemanfaatan energi nuklir yang dapat mendukung *Net zero emission* dalam rangka mewujudkan ketahanan energi nasional.

Strategi pemanfaatan energi nuklir apabila dilihat dari faktor-faktor yang terdapat dalam **analisis PESTEL**, adalah sebagai berikut:

Tabel I. Analisis PESTEL

| ASPEK                              | FOKUS KEGIATAN   | SOLUSI   |
|------------------------------------|--|--|
| Politik                            | Kebijakan pemerintah mengenai energi nuklir.                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Meningkatkan transparansi dan keterlibatan publik dalam proses pengambilan keputusan.</li> <li>- Memperkuat kerangka regulasi yang mendukung pengembangan energi nuklir</li> </ul>        |
| Ekonomi                            | - Investasi dan biaya pengembangan PLTN                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mencari pendanaan dari sumber-sumber internasional serta kemitraan dengan pihak swasta.</li> <li>- Membangun skema insentif untuk menarik investasi di sektor energi nuklir.</li> </ul>   |
| Sosbud                             | - Penerimaan masyarakat terhadap energi nuklir.                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Edukasi publik mengenai keamanan dan manfaat energi nuklir.</li> <li>- Melibatkan masyarakat lokal dalam pengambilan keputusan dan memastikan mereka menerima manfaat ekonomi.</li> </ul> |
| Teknologi                          | - Teknologi reaktor nuklir yang aman dan efisien.                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengadopsi teknologi reaktor terbaru yang lebih aman dan efisien.</li> <li>- Meningkatkan kemampuan dan riset domestik dalam teknologi nuklir.</li> </ul>                                 |
| <i>Enviromental/</i><br>Lingkungan | - Dampak lingkungan dari PLTN, termasuk pengelolaan limbah nuklir. | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementasi teknologi pengolahan limbah nuklir yang aman.</li> <li>- Menerapkan standar lingkungan yang ketat untuk mengurangi dampak negatif.</li> </ul>                                |
| <i>Legall/</i><br>Hukum            | Kerangka hukum dan regulasi untuk pembangunan dan operasi PLTN     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Penyusunan undang-undang yang komprehensif terkait pengoperasian dan keamanan PLTN.</li> <li>- Memperkuat perjanjian internasional untuk penggunaan energi nuklir yang damai.</li> </ul>  |

#### a. Faktor Politik

Dari segi politik, Indonesia telah menunjukkan komitmen terhadap pemanfaatan energi nuklir dalam rangka mendukung NZE tahun 2060 mendatang. Komitmen telah diambil untuk mempersiapkan Indonesia sebagai salah satu negara yang memanfaatkan energi nuklir untuk memenuhi kebutuhan energi nasional. Kebijakan pemerintah tersebut tercantum dalam RUEN yang menargetkan mulai operasi PLTN pertama

pada tahun 2040 dengan kapasitas awal 1,5 GW<sup>43</sup>. Adapun Solusi yang dapat dilaksanakan antara lain sebagai berikut:

- 4) Meningkatkan transparansi dan keterlibatan publik dalam proses pemanfaatan PLTN. Pemerintah harus memastikan bahwa informasi tentang proyek dan penggunaan teknologi nuklir disampaikan secara transparan kepada masyarakat.
  - a) Publikasi informasi yang seimbang dan transparan dapat membantu mengurangi ketakutan dan misinformasi. dengan kecanggihan teknologi, penyebaran informasi dapat dilakukan secara online. Pemerintah dapat membangun portal informasi *online* yang khusus menyediakan informasi terkini dan komprehensif, termasuk manfaat dan risiko penggunaan teknologi nuklir. Portal ini dapat dikelola oleh BATAN atau lembaga terkait lainnya dan berfungsi sebagai sumber informasi terpercaya bagi masyarakat.
  - b) BAPETEN dan BRIN dapat memastikan publikasi rutin tentang perkembangan proyek nuklir, hasil penelitian, dan kebijakan terkait melalui situs resmi mereka dan melalui media massa. Transparansi dalam publikasi tersebut sangat penting untuk membangun kepercayaan masyarakat dengan menggunakan *platform* digital seperti YouTube dan blog untuk menyebarkan informasi yang mudah dipahami oleh masyarakat umum.
  - c) Pemerintah dapat bekerja sama dengan awak media massa untuk menyebarluaskan informasi yang benar dan edukatif mengenai teknologi nuklir. Media massa menjadi sarana mencari informasi utama masyarakat saat ini, sehingga kolaborasi dengan para jurnalis media dalam penyebaran informasi tentang teknologi nuklir dapat menjadi solusi pemerintah. Di sisi lain, pemerintah perlu menyediakan pelatihan terlebih dahulu bagi para jurnalis agar penulisan

---

<sup>43</sup> Kementerian ESDM. (2021). *Rencana Umum Energi Nasional 2021*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

informasi di media dilaporkan secara akurat dan tidak sensasional. Hal ini dilakukan agar dapat membantu memperbaiki citra teknologi nuklir di mata publik.

- 5) Memperkuat kerangka regulasi yang mendukung pengembangan energi nuklir. Penyusunan regulasi yang mendukung pengembangan energi nuklir menjadi faktor krusial. Kebijakan pemerintah mengenai energi nuklir yang dapat memperkuat kerangka regulasi dan mendukung pengembangan energi nuklir. Memasukkan energi nuklir sebagai bagian dari Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) untuk memastikan komitmen jangka panjang terhadap pengembangan nuklir sebagai sumber energi.
  - a) Kementerian ESDM dan BAPETEN memiliki tanggung jawab untuk mengembangkan dan mengimplementasikan regulasi yang memastikan keamanan dan efisiensi pemanfaatan teknologi nuklir. Di sisi lain, stabilitas politik memainkan peran penting dalam kelangsungan proyek energi nuklir. Pemerintah perlu memastikan bahwa perubahan kebijakan atau pergantian pemerintahan tidak menghambat perkembangan proyek pembangunan PLTN.
  - b) BAPETEN dapat mengembangkan regulasi keamanan yang ketat dan memastikan implementasi yang efektif untuk melindungi masyarakat dan lingkungan. Dalam hal ini BAPETEN dapat menyusun Rancangan Undang-Undang (RUU) Ketenaganukliran, Peraturan Pemerintah (PP), dan Peraturan Presiden (Perpres) yang relevan. Regulasi tersebut perlu dirumuskan dengan melibatkan berbagai pemangku kepentingan untuk memastikan komprehensivitas dan efektivitasnya. Selain itu, juga akan disusun tiga Peraturan Badan (Perba), dua laporan pembinaan, dua naskah urgensi dan 16 rekomendasi teknis. BAPETEN juga akan melakukan pengembangan sistem pengawasan PLTN dan menyusun

kerangka kebijakan inspeksi PLTN yang akan digunakan untuk koordinasi antara Kementerian dan Lembaga<sup>44</sup>.

- c) Kementerian Keuangan dapat memberikan insentif dan dukungan bagi penelitian dan pengembangan teknologi nuklir serta bagi industri yang ingin mengadopsi teknologi nuklir. Insentif bisa berupa pembebasan pajak, subsidi, atau bantuan finansial untuk proyek-proyek inovatif di bidang teknologi nuklir. Dengan dukungan tersebut, diharapkan lebih banyak pihak yang tertarik untuk berinvestasi dan berkontribusi dalam pengembangan teknologi nuklir di Indonesia

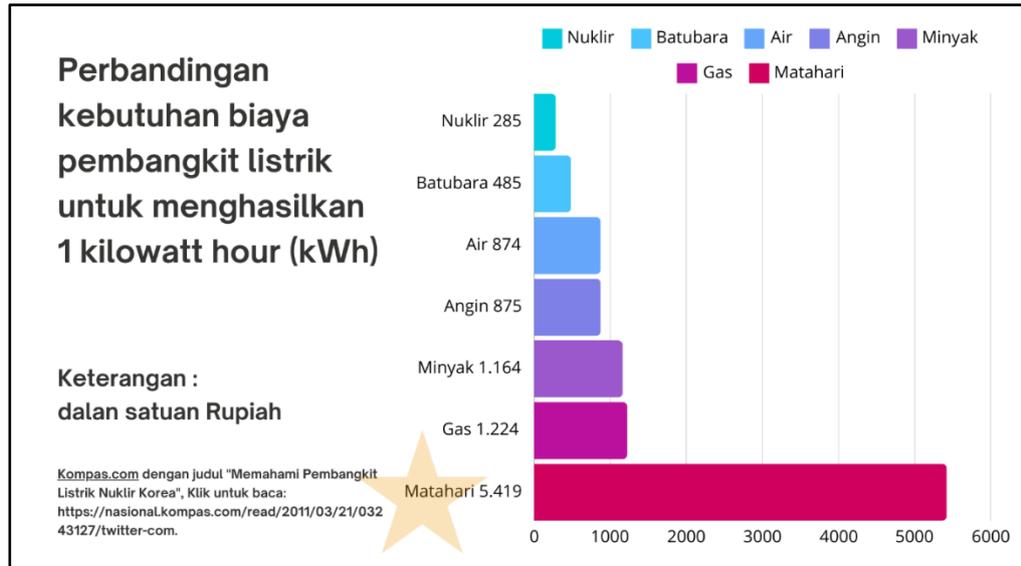
## b. Faktor Ekonomi

Secara ekonomi, pembangunan PLTN di Indonesia memang memerlukan biaya yang tidak sedikit. Namun, dalam jangka panjang, biaya operasional yang rendah dan stabil dapat menjadi keuntungan. Sebagai contoh, analisis biaya dari LIPI menunjukkan bahwa biaya produksi listrik dari PLTN dapat lebih kompetitif dibandingkan dengan energi fosil dalam jangka waktu 20 tahun<sup>45</sup>. Pemerintah dan sektor swasta harus bekerja sama untuk memastikan pendanaan yang memadai dan efisien. Proyek ini juga membutuhkan insentif ekonomi, seperti pembebasan pajak atau subsidi, untuk menarik investor.



<sup>44</sup> <https://katadata.co.id/ekonomi-hijau/energi-baru/65f2b0691c4cf/kajian-pembangkit-energi-nuklir-ri-rampung-2030-beroperasi-mulai-2040> diakses pada 9 Juni 2024

<sup>45</sup> LIPI. (2020). *Studi Kelayakan Ekonomi Pembangunan PLTN di Indonesia*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.



Gambar 11. Perbandingan Kebutuhan Biaya Pembangkit Listrik

Sumber: Kompas .com (2011)

Dari sisi ekonomis, teknologi nuklir menawarkan biaya operasional yang lebih rendah dan stabil dibandingkan dengan sumber energi fosil. Hal ini bisa menjadi faktor ekonomi yang menguntungkan dalam jangka Panjang. Dampak positifnya, penerapan energi nuklir dapat menciptakan lapangan kerja baru dan mendorong perkembangan industri terkait, seperti manufaktur komponen nuklir dan penelitian teknologi energi. Adapun Solusi yang dapat disarankan antara lain sebagai berikut:

- 1) Pengelolaan PLTN untuk menjadi penghasil energi listrik tentunya harus di perhitungkan dari aspek bisnis, yang didalamnya meliputi harus ada kejelasan siapa yang akan menjadi pengelola PLTN atau dengan mitra mana yang akan bekerja sama (PLN/Swasta, Dalam Negeri/Luar Negeri), berapa biaya investasi yang diperlukan, perhitungan biaya operasional, keuntungan sampai kepada berapa lama akan Kembali modal *Break Event Point (BEP)* dan disesuaikan dengan kemampuan daya beli dari Masyarakat ataupun industri yang akan menggunakan.
- 2) Mencari pendanaan dari sumber-sumber internasional serta kemitraan dengan pihak swasta bekerja sama untuk memastikan pendanaan yang memadai dan efisien. Pendanaan tersebut bisa dari pendanaan dari Internasional (Bank Dunia, AIEA, atau dengan

proposal Kerjasama dengan swasta) dengan Proyek ini juga membutuhkan insentif ekonomi, seperti pembebasan pajak atau subsidi, untuk menarik investor.

- 3) Membangun skema insentif untuk menarik investasi di sektor energi nuklir. Dapat mempertimbangkan beberapa pendekatan berupa:
  - a) Memberikan pengurangan pajak untuk perusahaan yang berinvestasi PLTN atau dengan pengecualian pajak untuk pendapatan atau keuntungan yang diperoleh dari operasi PLTN selama periode tertentu. Dapat juga berupa subsidi atau hibah untuk biaya pengembangan awal atau penelitian dan pengembangan teknologi nuklir, pinjaman dengan suku bunga rendah atau jangka waktu tertentu,
  - b) Pemberlakuan Regulasi dan Kebijakan yang jelas dan mendukung investasi nuklir, termasuk kemudahan perizinan dan kepastian hukum. Mempermudah proses perizinan dan administrasi untuk pengembangan dan operasional PLTN.
  - c) Membangun model kemitraan publik-swasta yang memungkinkan pembagian risiko dan manfaat antara pemerintah dan sektor swasta, bentuk konsorsium dengan perusahaan internasional dan domestik untuk membagi investasi dan risiko dalam proyek PLTN.

#### c. Faktor Sosial

Faktor sosial berkaitan erat dengan persepsi dan penerimaan masyarakat akan pembangunan dan pengoperasian PLTN di Indonesia. Sampai dengan saat ini, persepsi dan penerimaan masyarakat terhadap energi nuklir masih menjadi tantangan besar. Survei dari LIPI pada tahun 2021 menunjukkan bahwa hanya 40% masyarakat yang mendukung pembangunan PLTN di Indonesia, dengan alasan utama kekhawatiran terhadap risiko radiasi dan dampak lingkungan<sup>46</sup>. Upaya edukasi dan sosialisasi yang efektif diperlukan untuk mengatasi stigma dan

---

<sup>46</sup> LIPI. (2021). *Survei Persepsi Masyarakat Terhadap Energi Nuklir*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

meningkatkan penerimaan publik. Faktor kesehatan dan keselamatan masyarakat menjadi prioritas dalam pengembangan teknologi nuklir. Oleh karena itu, pemerintah harus transparan dalam mengkomunikasikan langkah-langkah keamanan yang diterapkan untuk melindungi masyarakat dari risiko radiasi. Adapun Solusi yang dapat disarankan antara lain sebagai berikut:

- 1) Edukasi publik mengenai keamanan dan manfaat energi nuklir. Pemerintah dapat memperkuat kurikulum pendidikan di sekolah dan universitas dengan materi tentang teknologi nuklir yang komprehensif dan *update*. Upaya peningkatan ini dapat mencakup penyediaan materi pembelajaran yang mudah dipahami serta pengadaan pelatihan bagi guru dan dosen. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Riset dan Teknologi (Kemendikbudristek) dapat memasukkan materi tentang teknologi nuklir ke dalam kurikulum pendidikan dasar dan menengah. Hal ini akan membantu siswa memahami dasar-dasar dan manfaat teknologi nuklir sejak dini. Dalam hal ini, Kemendikbudristek perlu bekerja sama dengan BRIN dan BAPETEN untuk menyusun materi yang relevan dan komprehensif.
- 2) Pemerintah dapat mengadakan penyuluhan publik bagi masyarakat umum. Survei dari *Programme for International Student Assessment (PISA) 2022* menunjukkan bahwa literasi masyarakat tentang sains dan teknologi masih rendah, termasuk dalam hal pengetahuan akan teknologi nuklir<sup>47</sup>. Oleh karena itu, penyuluhan publik perlu dilakukan oleh pemerintah sebagai sarana mengatasi kekurangpahaman masyarakat. Kementerian Komunikasi dan Informatika (Kominfo) dapat mengadakan kampanye edukatif melalui media massa, media sosial, dan kegiatan komunitas. Misalnya, membuat iklan layanan masyarakat, *talk show*, dan program edukasi di televisi dan radio yang menjelaskan manfaat serta langkah-langkah keamanan yang diterapkan dalam teknologi

---

<sup>47</sup> <https://goodstats.id/article/mengulik-hasil-pisa-2022-indonesia-peringkat-naik-tapi-tren-penurunan-skor-berlanjut-m6XDt> diakses pada 9 Juni 2024

nuklir. Selain itu, Kominfo dapat memanfaatkan *influencer* dan tokoh masyarakat untuk menyebarkan informasi yang benar mengenai teknologi nuklir.

- 3) Di sisi lain juga perlu dilakukannya pengedukasian masyarakat tentang Konsep Bauran Energi dan Ketahanan Energi Nasional. Bauran energi mengacu pada komposisi berbagai sumber energi yang digunakan dalam suatu negara untuk memenuhi kebutuhan energi. Untuk mencapai ketahanan energi, negara harus memanfaatkan berbagai sumber energi, baik konvensional (seperti minyak dan gas) maupun Energi Baru Terbarukan (EBT) (seperti matahari, angin, dan biomassa). Edukasi masyarakat tentang pentingnya diversifikasi sumber energi tersebut dapat meningkatkan dukungan publik terhadap kebijakan energi pemerintah. Masyarakat yang teredukasi akan lebih memahami dampak negatif dari ketergantungan pada energi fosil, seperti polusi udara dan perubahan iklim, dengan demikian, masyarakat dapat lebih mendukung inisiatif untuk beralih ke EBT dan mendukung pengurangan emisi karbon. Pemerintah melalui Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), dapat secara rutin mengadakan kampanye dan sosialisasi mengenai pentingnya diversifikasi energi dan penggunaan EBT melalui penyelenggaraan seminar, *workshop*, dan penyuluhan di berbagai daerah. Pemerintah juga dapat bekerja sama dengan media massa untuk menyebarkan informasi mengenai bauran energi dan ketahanan energi. Selain itu dapat mendorong penelitian dan pengembangan teknologi EBT melalui Kerjasama dengan berbagai lembaga penelitian dan universitas. Hasil penelitian kemudian disosialisasikan kepada masyarakat untuk menunjukkan manfaat dan potensi EBT.
- 4) Untuk meningkatkan sosialisasi teknologi nuklir, BRIN dan BAPETEN dapat mendirikan pusat informasi di berbagai daerah dan mengadakan pameran tentang teknologi nuklir. Pusat informasi ini bisa menjadi tempat bagi masyarakat untuk mendapatkan

informasi yang akurat tentang teknologi nuklir, termasuk bagaimana teknologi ini dapat dimanfaatkan secara aman dan berkelanjutan. Pameran dapat menampilkan model reaktor nuklir, simulasi interaktif, dan presentasi tentang aplikasi teknologi nuklir di berbagai sektor.

- 5) Melibatkan masyarakat lokal, akademisi dan pengusaha memastikan mereka menerima manfaat ekonomi.
- 6) Menyelenggarakan seminar dan lokakarya yang melibatkan para akademisi, ahli, dan praktisi nuklir. Acara ini dapat diadakan secara rutin di universitas dan lembaga penelitian untuk berbagi pengetahuan dan pengalaman. Kemendikbudristek dapat bekerja sama dengan universitas seperti Universitas Gadjah Mada (UGM) dan Institut Teknologi Bandung (ITB) yang memiliki program studi terkait teknologi nuklir.
- 7) BRIN dapat mengembangkan program studi dan riset yang berfokus pada teknologi nuklir dan aplikasinya melalui kerjasama dengan universitas. Hal ini diikuti dengan penyediaan beasiswa untuk mahasiswa yang mengambil studi di bidang teknologi nuklir dan dukungan untuk penelitian yang bertujuan meningkatkan pemahaman dan inovasi dalam teknologi nuklir.

#### **d. Faktor Teknologi**

Teknologi merupakan salah satu aspek penting dalam pengembangan PLTN di Indonesia. Selaras dengan perkembangan zaman, teknologi modern dan aman telah digunakan oleh banyak negara di dunia dalam penggunaan energi nuklir guna mengurangi risiko kecelakaan. Investasi dalam penelitian dan pengembangan teknologi nuklir yang lebih aman dan efisien perlu dipertimbangkan, hal ini mencakup pengembangan reaktor nuklir generasi baru yang lebih aman dan memiliki limbah yang lebih sedikit sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan keamanan operasional. Kerjasama dengan negara-negara maju dalam teknologi nuklir dan organisasi internasional seperti IAEA juga dapat membantu transfer teknologi dan pengetahuan yang

diperlukan untuk mengembangkan industri nuklir di Indonesia. Adapun Solusi yang disarankan antara lain sbb:

- 1) Mengadopsi teknologi reaktor terbaru yang lebih aman dan efisien dengan mengimplementasikan inovasi-inovasi terkini dalam desain dan operasi reaktor nuklir untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi produksi energi nuklir. Teknologi reaktor terbaru, seperti Reaktor Modular Kecil (*Small Modular Reactor/SMR*), reaktor Generasi IV, dan reaktor berbasis Thorium, dirancang untuk mengatasi kelemahan-kelemahan yang ada pada reaktor nuklir sebelumnya. Dengan mengadopsi teknologi reaktor terbaru yang lebih aman dan efisien, negara-negara dapat memanfaatkan energi nuklir dengan risiko yang lebih kecil dan keuntungan yang lebih besar, baik dari segi keamanan nasional, ekonomi, maupun keberlanjutan lingkungan.
- 2) Meningkatkan kemampuan dan riset domestik dalam teknologi nuklir. Meningkatkan kemampuan dan riset domestik dalam teknologi nuklir adalah langkah strategis yang penting bagi suatu negara untuk mengembangkan dan menguasai teknologi nuklir secara mandiri yang melibatkan beberapa aspek yaitu:
  - a) Pengembangan Sumber Daya Manusia (SDM) dengan memastikan bahwa negara memiliki tenaga ahli yang kompeten di bidang nuklir. Hal ini dapat dicapai melalui program pendidikan dan pelatihan khusus dalam ilmu nuklir, teknik reaktor, keselamatan nuklir, dan manajemen limbah nuklir. Universitas dan institusi riset domestik perlu diperkuat untuk menghasilkan ilmuwan dan insinyur yang terampil.
  - b) Untuk mendorong riset dan inovasi dalam teknologi nuklir, diperlukan fasilitas penelitian yang canggih seperti laboratorium untuk penelitian material nuklir, reaktor penelitian untuk eksperimen, dan fasilitas simulasi untuk pengujian keamanan. Investasi dalam infrastruktur penelitian ini memungkinkan peneliti domestik untuk melakukan studi

lanjutan dan mengembangkan teknologi baru yang relevan dengan kebutuhan nasional.

c) Meningkatkan riset domestik juga dapat dilakukan melalui kolaborasi dengan negara lain yang memiliki keahlian lebih dalam teknologi nuklir. Dalam hal ini termasuk program pertukaran ilmuwan, partisipasi dalam proyek riset internasional, dan akses ke teknologi terbaru. Kolaborasi ini tidak hanya meningkatkan pengetahuan tetapi juga mempercepat adopsi teknologi canggih yang sudah teruji di tempat lain.

d) Negara dapat mengarahkan riset domestik pada pengembangan teknologi nuklir yang lebih aman, efisien, dan sesuai dengan kondisi lokal. Hal ini bisa mencakup pengembangan reaktor modular kecil (SMR) yang cocok untuk wilayah terpencil, atau reaktor berbasis thorium yang lebih aman dan efisien. Dengan fokus pada inovasi, riset domestik dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kemandirian energi dan keselamatan nuklir.

**e. Faktor Hukum (Legal)**

Dari aspek hukum, pengembangan regulasi yang ketat dan komprehensif diperlukan untuk memastikan bahwa semua aspek keselamatan dan keamanan teknologi nuklir terpenuhi, termasuk peraturan tentang pembangunan, operasionalisasi, dan pengelolaan limbah nuklir. Berikut adalah analisa perbandingan regulasi PLTN di Indonesia dengan regulasi PLTN di dunia.

Tabel II. Analisa perbandingan regulasi PLTN di Indonesia dengan regulasi PLTN di dunia

| Aspek Regulasi                        | Regulasi PLTN di Indonesia  | Regulasi PLTN di Dunia (Contoh: AS, Prancis, Jepang, dll.)                             | Pengaruh/Analisis  |
|---------------------------------------|---|--|--|
| Badan Pengawas Nuklir                 | BAPETEN sebagai badan pengawas utama.   | Badan-badan seperti NRC (AS), ASN (Prancis), NRA (Jepang).                             | BAPETEN memiliki fungsi yang serupa dengan badan internasional, namun perlu penguatan kapasitas dan independensi untuk sebanding dengan badan dunia. |
| Standar Keselamatan Operasional       | Mengadopsi standar IAEA, namun implementasi dan pengawasan masih berkembang.      | Standar tinggi dan ketat, seperti 10 CFR Part 50 di AS.                                | Indonesia harus meningkatkan kapasitas untuk memastikan standar yang setara dan konsisten dengan regulasi global.                                    |
| Pengelolaan Limbah Radioaktif         | Regulasi awal ada, namun infrastruktur dan teknologi masih berkembang.            | Negara maju memiliki infrastruktur canggih untuk penyimpanan dan daur ulang limbah.    | Pengembangan teknologi dan infrastruktur pengelolaan limbah di Indonesia perlu dipercepat untuk mencapai standar global.                             |
| Penilaian Dampak Lingkungan (AMDAL)   | Diperlukan AMDAL sebelum pembangunan, proses yang sedang diperkuat.               | Proses penilaian lingkungan yang komprehensif dan ketat.                               | Meskipun AMDAL di Indonesia mulai kuat, perlu peningkatan dalam detail, transparansi, dan keterlibatan masyarakat.                                   |
| Manajemen Krisis dan Tanggap Darurat  | Peraturan ada, namun pelaksanaan dan kesiapan masih dalam pengembangan.           | Regulasi tanggap darurat yang sangat terstruktur dan diuji secara rutin.               | Kesiapan Indonesia harus diperkuat melalui pelatihan, simulasi, dan penyempurnaan sistem manajemen krisis sesuai standar global.                     |
| Keterlibatan Publik dan Transparansi  | Masyarakat dilibatkan, tetapi sering terbatas pada tahap tertentu.                | Transparansi tinggi dan keterlibatan publik luas, dengan akses informasi yang jelas.   | Perlu peningkatan transparansi dan keterlibatan publik di Indonesia untuk menyamai praktik terbaik global.   |
| Kerjasama Internasional               | Ada kerjasama, namun perlu diperluas terutama dalam aspek teknologi dan keamanan. | Negara maju aktif dalam kerjasama dan partisipasi di badan internasional seperti IAEA. | Kerjasama internasional Indonesia perlu diperluas untuk mendapatkan teknologi, pengetahuan, dan dukungan regulasi yang lebih baik.                   |
| Pelatihan dan Sertifikasi Tenaga Ahli | Program pelatihan ada, tetapi kapasitas dan jumlah ahli masih terbatas.           | Sertifikasi dan pelatihan tenaga kerja dengan standar tinggi dan terus diperbarui.     | Indonesia harus meningkatkan kualitas dan kuantitas pelatihan serta sertifikasi untuk memastikan tenaga ahli yang kompeten.                          |

Adapun Solusi yang dapat disarankan antara lain sebagai berikut:

- 1) Penyusunan undang-undang yang komprehensif terkait pengoperasian dan keamanan PLTN.

Kebijakan dan regulasi terkait keselamatan dan operasional PLTN diatur oleh BAPETEN yang mengikuti standar internasional dari IAEA. Pemerintah telah mengeluarkan Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Keselamatan Radiasi untuk memastikan keamanan fasilitas nuklir. Kementerian ESDM saat ini tengah mengakselerasi pembahasan dari Rancangan Peraturan Pemerintah Kebijakan Energi Nasional (RPP KEN) yang baru. Didalam kebijakan tersebut, energi nuklir akan dimasukkan ke dalam pengembangan energi baru terbarukan (EBT) dan ditetapkan persentase porsi baurannya dalam KEN. Pemerintah saat ini juga sedang membahas tentang pembentukan struktur organisasi dalam rangka percepatan pengembangan nuklir yang melibatkan multi stakeholder yang nantinya akan menjadi satu badan yang menentukan penerapan energi dan teknologi nuklir. Organisasi yang akan ditunjuk Kementerian ESDM tersebut adalah Organisasi Pelaksana Program Energi Nuklir (*Nuclear Energy Program Implementation Organization / NEPIO*) yang bertanggung jawab langsung kepada Presiden RI. Untuk itu, Kementerian ESDM juga telah mengeluarkan regulasi baru melalui Keputusan Menteri (Kepmen) ESDM Nomor 34.K/HK.02/MEM/2024 tentang Tim Persiapan Pembentukan Organisasi Pelaksana Program Energi Nuklir (NEPIO). Regulasi baru tersebut merevisi Kepmen ESDM 250.K/HK.02/MEM/2021 tentang tim persiapan pembentukan NEPIO sebagai upaya pemenuhan syarat IAEA dalam membangun PLTN<sup>48</sup>. Masa kerja Tim Persiapan Pembentukan NEPIO terhitung mulai tanggal 1 Januari 2024 sampai dengan terbentuknya organisasi/tim pelaksana Program Energi Nuklir (NEPIO). Terdapat beberapa poin penting yang

---

<sup>48</sup> <https://katadata.co.id/ekonomi-hijau/energi-baru/66022d9b10ad0/pemerintah-kebut-pembentukan-organisasi-pendukung-energi-nuklir-di-ri> diakses pada 19 Juni 2024

dilakukan revisi dalam aturan tersebut terkait perubahan atas tugas tim persiapan, antara lain:

- a) Melakukan koordinasi lintas sektor dengan kementerian atau lembaga terkait dengan mempercepat pembentukan NEPIO.
  - b) Menyusun rancangan peraturan perundangan-undangan atau rancangan penetapan atau rancangan penetapan mengenai pembentukan NEPIO.
  - c) Menyusun laporan pelaksanaan tugas sebagai bahan persidangan Dewan Energi Nasional.
- 2) Memperkuat perjanjian internasional untuk penggunaan energi nuklir yang damai.

Memperkuat perjanjian internasional untuk penggunaan energi nuklir yang damai adalah langkah penting untuk memastikan bahwa teknologi nuklir digunakan dengan aman, bertanggung jawab, dan hanya untuk tujuan yang bermanfaat bagi kemanusiaan, Selain itu kepatuhan terhadap standar dan peraturan internasional, seperti yang ditetapkan oleh IAEA, sangat penting untuk memastikan bahwa penggunaan energi nuklir di Indonesia aman dan dapat diterima di tingkat global. Salah satu perjanjian utama dalam penggunaan energi nuklir secara damai adalah Traktat Non-Proliferasi Senjata Nuklir (NPT), yang ditandatangani pada tahun 1968. NPT bertujuan untuk mencegah penyebaran senjata nuklir dan teknologi terkait, mempromosikan kerja sama dalam penggunaan energi nuklir untuk tujuan damai, dan mendorong perlucutan senjata nuklir. Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA) memainkan peran sentral dalam memantau kepatuhan terhadap perjanjian internasional terkait energi nuklir. IAEA menyediakan panduan teknis, melakukan inspeksi, dan memastikan bahwa program nuklir negara-negara anggota hanya digunakan untuk tujuan damai. Selain perjanjian internasional seperti NPT, negara-negara juga dapat memperkuat perjanjian bilateral dan multilateral yang mengatur penggunaan energi nuklir. Perjanjian ini bisa mencakup kerjasama dalam pengembangan teknologi nuklir,

transfer teknologi, serta program pengawasan dan keselamatan nuklir.

**f. Faktor Lingkungan (*Environment*)**

Dampak lingkungan dari PLTN, termasuk pengelolaan limbah nuklir harus diperhatikan dalam pemanfaatan PLTN di Indonesia. Salah satu keuntungan dalam pemanfaatan energi nuklir adalah kemampuannya untuk menghasilkan energi dalam jumlah besar tanpa emisi karbon, yang sangat penting dalam upaya mencapai target *net zero emission*. Menurut laporan dari *World Nuclear Association*, PLTN hanya menghasilkan sekitar 12-gram CO<sub>2</sub> per kWh listrik, jauh lebih rendah dibandingkan dengan batu bara yang mencapai 820-gram CO<sub>2</sub> per kWh<sup>49</sup>. Di samping itu, Pengelolaan limbah nuklir merupakan tantangan lingkungan utama. Pemerintah harus memastikan bahwa limbah nuklir dikelola dengan cara yang aman dan bertanggung jawab untuk meminimalkan dampak lingkungan dalam jangka panjang. Adapun Solusi yang dapat disarankan antara lain sebagai berikut:

1) Implementasi teknologi pengolahan limbah nuklir yang aman.

Limbah nuklir yang dihasilkan dari operasional PLTN mengandung bahan radioaktif yang berpotensi berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Oleh karena itu, pengolahan dan penyimpanan limbah ini harus dilakukan dengan teknologi yang canggih dan prosedur yang ketat untuk memastikan keselamatan jangka Panjang, dapat dilakukan melalui beberapa metode:

- a) Pengurangan Volume Limbah. Teknologi seperti vitrifikasi (mengubah limbah menjadi kaca) dapat mengurangi volume limbah nuklir, sehingga lebih mudah untuk disimpan dan lebih aman.
- b) Penyimpanan Jangka Panjang. Limbah nuklir yang memiliki radioaktivitas tinggi disimpan dalam fasilitas penyimpanan

---

<sup>49</sup> World Nuclear Association. (2021). *Laporan Dampak Lingkungan Energi Nuklir*. World Nuclear Association

geologis yang dirancang untuk menahan radiasi dan memastikan keamanan selama ribuan tahun.

- c) *Reprocessing* (Daur Ulang). Teknologi reprocessing memungkinkan daur ulang sebagian bahan bakar nuklir yang masih bisa digunakan, sehingga mengurangi jumlah limbah yang perlu disimpan.
- 2) Menerapkan standar lingkungan yang ketat untuk mengurangi dampak negatif.

PLTN meskipun dikenal sebagai sumber energi yang bersih dan efisien, tetap memiliki potensi risiko lingkungan, terutama terkait dengan pengelolaan limbah radioaktif, risiko radiasi, dan dampak terhadap ekosistem lokal. Oleh karena itu, penerapan standar lingkungan yang ketat diperlukan untuk memastikan bahwa PLTN beroperasi dengan aman dan tidak merusak lingkungan. Indonesia harus mengadopsi standar lingkungan internasional yang diakui, seperti yang dikeluarkan oleh *International Atomic Energy Agency (IAEA)*. Standar ini mencakup semua aspek operasional PLTN, mulai dari desain dan konstruksi, hingga operasi, pemeliharaan, dan penonaktifan (decommissioning) PLTN. Pemantauan Berkelanjutan: Pemantauan terus-menerus terhadap lingkungan di sekitar PLTN harus dilakukan untuk mendeteksi radiasi dan memastikan tidak ada kebocoran atau kontaminasi. Hal ini melibatkan penggunaan teknologi sensor yang canggih dan audit lingkungan secara rutin.

- a) Penilaian Dampak Lingkungan (AMDAL). Sebelum pembangunan PLTN, harus dilakukan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) yang komprehensif untuk mengidentifikasi potensi dampak negatif dan mengembangkan rencana mitigasi.
- b) Filter dan Sistem Penangkapan Emisi. PLTN harus dilengkapi dengan teknologi filter dan sistem penangkapan emisi yang dapat mengendalikan dan meminimalkan pelepasan bahan radioaktif atau polutan lainnya ke udara, air, dan tanah.

- c) Zonasi Perlindungan. Penerapan zonasi perlindungan di sekitar PLTN, yang membatasi akses publik dan aktivitas tertentu, dapat mencegah paparan radiasi dan melindungi ekosistem sekitar.
- d) Keterlibatan Masyarakat. Masyarakat sekitar harus dilibatkan dalam proses pengambilan keputusan dan diberikan informasi yang transparan mengenai potensi risiko dan upaya mitigasi yang dilakukan. Ini membantu membangun kepercayaan dan dukungan publik terhadap operasi PLTN.
- e) Laporan Lingkungan Publik. PLTN harus secara berkala melaporkan kinerja lingkungannya kepada publik dan badan pengawas, memastikan bahwa operasionalnya sesuai dengan standar lingkungan yang telah ditetapkan.

Dari hasil analisis PESTLE di atas, beberapa langkah yang dapat ditempuh pemerintah dalam merumuskan strategi pemanfaatan energi nuklir yang dapat mendukung *Net zero emission* dalam rangka mewujudkan ketahanan energi nasional adalah sebagai berikut:

- a. Menyusun kebijakan pemerintah mengenai energi nuklir dengan meningkatkan transparansi dan keterlibatan publik dalam proses pemanfaatan PLTN dan memperkuat kerangka regulasi yang mendukung pengembangan energi nuklir berupa *Roadmap* pemanfaatan PLTN.
- b. Menentukan pengelolaan PLTN dengan tepat, mencari pendanaan dari sumber-sumber internasional serta kemitraan dengan pihak swasta dan membangun skema insentif untuk menarik investasi di sektor energi nuklir.
- c. Mewujudkan penerimaan masyarakat terhadap energi nuklir dengan melaksanakan edukasi publik mengenai keamanan dan manfaat energi nuklir dan melibatkan masyarakat lokal dalam pengambilan keputusan dan memastikan mereka menerima manfaat ekonomi.

- d. Meningkatkan kemampuan SDM dengan menerapkan teknologi reaktor nuklir yang aman dan efisien dengan mengadopsi teknologi reaktor terbaru yang lebih aman dan efisien dan meningkatkan kemampuan dan riset domestik dalam teknologi nuklir.
- e. Menyiapkan infrastruktur yang tepat dengan menerapkan standar Lokasi yang tepat dan lingkungan yang ketat untuk mengurangi dampak negatif.
- f. Menyusun undang-undang yang komprehensif terkait pengoperasian dan keamanan PLTN. Memperkuat perjanjian internasional dan kerjasama untuk penggunaan energi nuklir.



## BAB IV PENUTUP

### 16. Simpulan

Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di Indonesia menghadapi berbagai tantangan yang signifikan dan menjadi salah satu solusi strategis untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang terus meningkat seiring dengan jumlah penduduk dan pertumbuhan ekonomi yang meningkat. Adanya Sumber Kekayaan Alam yang dimiliki Indonesia tidak boleh menjadi lengah karena itu akan menjadi habis, ketergantungan terhadap energi fosil ini membawa tantangan besar, seperti fluktuasi harga global, keterbatasan sumber daya, dan dampak negatif terhadap lingkungan. Pemahaman masyarakat yang masih terbatas, kurangnya informasi dan edukasi, serta stigma negatif yang kuat terhadap teknologi nuklir menjadi tantangan untuk menjadi perbaikan.

Mengingat kompleksitas dan risiko yang tinggi dari teknologi nuklir maka keberhasilan pemanfaatan PLTN di Indonesia sangat bergantung pada disiplin yang tinggi dan komitmen semua elemen bangsa dalam melaksanakan terhadap aturan dan regulasi yang telah dibuat dan disepakati bersama, serta penguasaan teknologi nuklir oleh SDM Indonesia yang kompeten. Dengan memenuhi faktor ini, Indonesia dapat mengoperasikan PLTN dengan aman, efisien, dan berkelanjutan, serta berkontribusi pada ketahanan energi nasional dan pencapaian target pengurangan emisi karbon. komitmen Indonesia untuk mengurangi efek emisi gas rumah kaca sebagai kontribusi dari upaya masyarakat global melawan-p dampak perubahan iklim.

Untuk mengimplementasikan strategi ini, pemerintah harus melakukan beberapa langkah konkret untuk mengurangi emisi dari sektor energi. *Pertama*, menyusun kebijakan pemerintah mengenai energi nuklir dan regulasi berupa *Roadmap* pemanfaatan PLTN; *Kedua* menentukan pengelolaan PLTN, pendanaan dan konsep kerjasama; *Ketiga* mewujudkan penerimaan masyarakat terhadap energi nuklir; *Keempat* meningkatkan kemampuan SDM dengan menerapkan teknologi reaktor nuklir; *Kelima* menyiapkan infrastruktur dan Lokasi yang tepat ;

*Keenam* Menyusun undang-undang yang komprehensif terkait pengoperasian dan keamanan PLTN. Dengan langkah-langkah ini, Indonesia diharapkan dapat mencapai ketahanan energi nasional dan mendukung pencapaian *Net zero emission*.

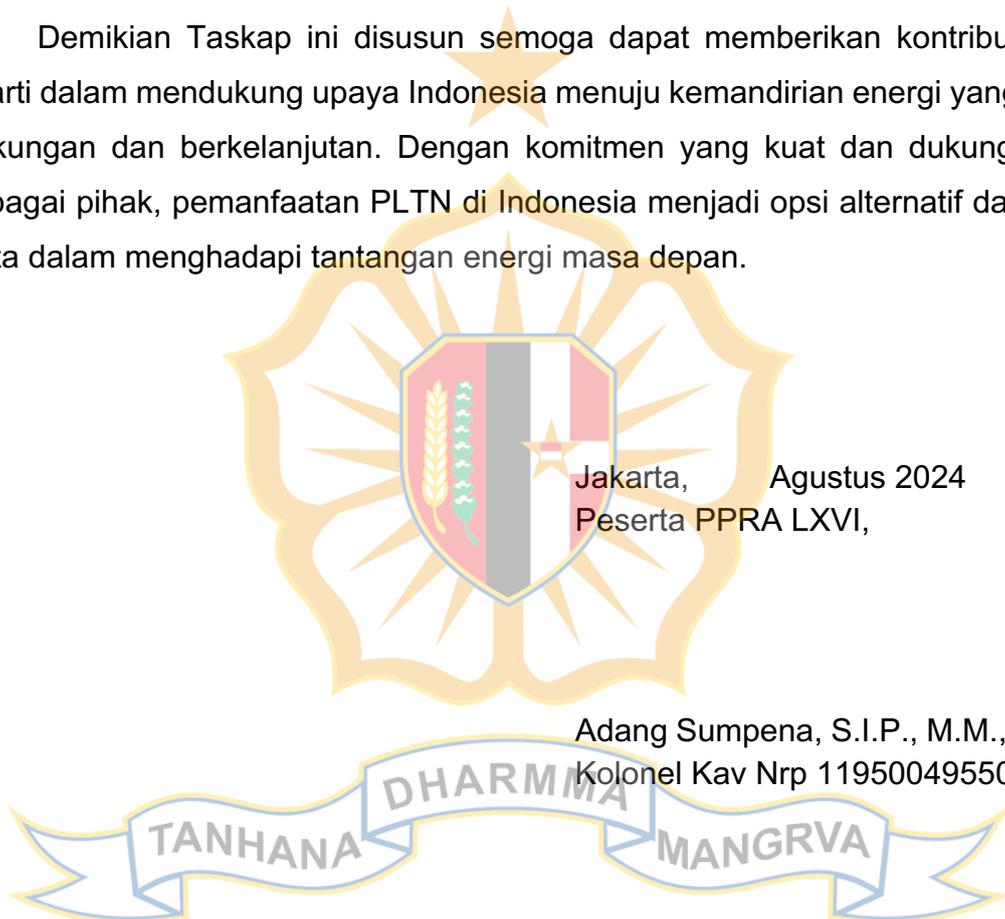
## 17. Rekomendasi

Berdasarkan pembahasan dan kesimpulan yang telah dijabarkan, maka beberapa rekomendasi yang dapat diberikan kepada *stakeholder* yang terkait adalah sebagai berikut:

- a. Kementerian ESDM perlu berkoordinasi dengan instansi terkait diantaranya PLN, Para ahli dan akademisi di BRIN maupun BATAN, dan BAPETEN. mengembangkan kerangka kebijakan yang mendukung percepatan adopsi energi nuklir sebagai bagian dari strategi nasional menuju *Net Zero Emission*; mendorong pengembangan dan adopsi teknologi reaktor nuklir terbaru yang lebih aman, efisien, dan sesuai dengan kondisi geografis Indonesia, Reaktor Modular Kecil (SMR) atau reaktor berbasis Thorium dapat menjadi pilihan yang sesuai untuk Indonesia. Menentukan kerjasama dengan BUMN, Swasta DN/LN untuk pengelolaan yang efektif.
- b. Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi, berkoordinasi dengan Kementerian Perindustrian, Kementerian Badan Usaha Milik Negara (BUMN), DPR, memastikan bahwa investasi jangka panjang tersedia untuk pemanfaatan dan pengelolaan PLTN, termasuk kesiapan infrastruktur pendukung seperti sistem pendinginan, jaringan distribusi listrik, dan fasilitas penyimpanan limbah nuklir. Investasi ini harus direncanakan dengan baik dan menguntungkan secara ekonomi dan memastikan keamanan, efisiensi, dan keberlanjutan energi nuklir di Indonesia.
- c. Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi berkoordinasi dengan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), Kemenkominfo, Organisasi Lingkungan Hidup WALHI dan Himpunan Masyarakat Nuklir Indonesia (HIMNI) untuk menindaklanjuti dengan mengintegrasikan pendidikan terkait nuklir ke dalam kurikulum

pendidikan dan mengadakan penyuluhan terkait dengan peningkatan literasi kepada masyarakat luas khususnya mengenai teknologi nuklir. Mendukung penelitian dan pengembangan teknologi nuklir serta peningkatan kapasitas sumber daya manusia melalui pendidikan tinggi dan program riset. Melaksanakan penilaian dampak lingkungan (AMDAL) dan memastikan bahwa pembangunan serta operasional PLTN mematuhi standar lingkungan yang ketat.

Demikian Taskap ini disusun semoga dapat memberikan kontribusi yang berarti dalam mendukung upaya Indonesia menuju kemandirian energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Dengan komitmen yang kuat dan dukungan dari berbagai pihak, pemanfaatan PLTN di Indonesia menjadi opsi alternatif dan solusi nyata dalam menghadapi tantangan energi masa depan.



Jakarta, Agustus 2024  
Peserta PPRA LXVI,

Adang Sumpena, S.I.P., M.M., M.Han.  
Kolonel Kav Nrp 11950049550573

## DAFTAR PUSTAKA

### Buku dan Jurnal Penelitian

- BRIN. (2021). Laporan Teknis Ringkas Sumber Daya Bahan Galian Nuklir di Indonesia Ed. 2021. Badan Riset dan Inovasi Nasional.
- Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). (2023). Survei Persepsi Masyarakat Terhadap Teknologi Nuklir. Jakarta: BATAN
- BMKG. (2020). Laporan Tahunan 2020. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.
- Budi Prayitno. (2008). Kedaruratan Nuklir di Indonesia dan Penanggulangannya. Jurnal ISSN 1979-2409 No. 01/ Tahun I. April 2008
- Fitria Santhani et al. (2018). Analisis identifikasi multikriteria pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN). Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- Kementerian ESDM. (2021). Rencana Umum Energi Nasional 2021. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Lembaga Penelitian Nuklir Nasional. (2022). Kajian Media Mengenai Teknologi Nuklir. Jakarta: LPNN
- LIPI. (2021). Studi Risiko Tsunami di Indonesia. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- LIPI. (2020). Studi Kelayakan Ekonomi Pembangunan PLTN di Indonesia. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- LIPI. (2021). Survei Persepsi Masyarakat Terhadap Energi Nuklir. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
- World Nuclear Association. (2021). Laporan Dampak Lingkungan Energi Nuklir. World Nuclear Association
- Nabila Putri Zahira dan Dening Putri Fadillah. 2022. Pemerintah Indonesia Menuju Target Net Zero Emission (NZE) Tahun 2060 Dengan Variable Renewable Energy (VRE) Di Indonesia. Jurnal Ilmu Sosial Vol. 2, No. 2 December (2022)
- Prof Maurizio Bragagni and Dr Lorenc Xhaferraj. (2024). Red Sea Route Disruption and Supply Chain. Research Gate Publication January 2024 DOI: 10.13140/RG.2.2.22142.97603
- Ruslan. (2021). Status Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan dan Opsi Nuklir Dalam Bauran Energi Nasional. Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, 23(1), 39–49.
- Sutarman. (2005). “Pembangunan PLTN Sebagai Satu Solusi Krisis Listrik di Indonesia”. Buletin Alara, Volume 7 Nomor 1 & 2, Agustus & Desember 2005
- Tim Pokja Bahan Ajar Geostrategi Indonesia dan Ketahanan Nasional. 2024. Bidang Studi Geostrategi Indonesia dan Ketahanan Nasional. Jakarta : Lemhannas RI
- William N, Dunn. 2012. Pengantar Analisis-Kebijakan Publik. Yogyakarta: Gadjah-Mada Press

## **Peraturan Perundang-undangan**

Undang-Undang RI Nomor 30 Tahun 2007 Tentang Energi

Undang-Undang RI Nomor 30 Tahun 2009 Tentang Ketenagalistrikan

Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional

Peraturan Menteri ESDM Nomor 4 Tahun 2020 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik

## **Sumber Lainnya**

Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. (2023). Laporan Pendidikan Nasional. Jakarta: Kemendikbudristek

NEWJEC INC, Feasibility of the First Nuclear Power Plants at Muria Peninsula Region Central Java, Rev.3, Osaka Japan, April 1995.

Paparan Kepala Pusat Kajian Teknologi Reaktor Nuklir BRIN dalam kegiatan Kajian Strategik Lemhannas RI 25 September 2023

Wardiman Djoyonegoro, Peran Nuklir dalam Pembangunan Industri Energi Indonesia, Seminar Sehari Tentang Teknologi Nuklir, Kerjasama PIIBATAN, Serpong 15 Juli 1992

Autorité de Sûreté Nucléaire. "Nuclear Safety in France." ASN, 2022

Korea Atomic Energy Research Institute. "Public Education on Nuclear Energy." KAERI, 2023

U.S. Nuclear Regulatory Commission. "NRC Regulations and Guidance." NRC, 2023

## **Rujukan Elektronik**

<https://den.go.id/publikasi/hasil-kajian> Diakses pada 14 Maret 2024 pukul 00.55 WIB

<https://www.ft.com./content/a-981-5bca-1b9d-4ba0-8d01-96ede77b-a06a> Diakses pada 14 Maret 2024 pukul 00.45 WIB

<https://ebtke.-esdm.go.id/post/2022/02/07/3075/rencana>.

pengembangan\pembangkit.listrik. menuju. target,net.zero.

emission?lang=id. Diakses tanggal 11 Februari 2024 Pukul 14.17 WIB

<https://den.go.id/berita/2032-indonesia-akan-miliki-pembangkit-bertenaga-nuklir> Diakses pada 14 Maret 2024 pukul 01.05 WIB

<https://zonaebt.com/nuklir/dilema-nuklir-di-indonesia-keuntungan-dan-risiko-dalam-pembangunan-pembangkit-nuklir/> Diakses pada 14 Maret 2024 pukul 01.25 WIB

[https://lestari.kompas.com./red/2023/03/20/100000686/pro-kontra-pembangkit\\_istrik-tenaga-nuklir-untuk\\_kesinambungan-ketahanan?page=all](https://lestari.kompas.com./red/2023/03/20/100000686/pro-kontra-pembangkit_istrik-tenaga-nuklir-untuk_kesinambungan-ketahanan?page=all) Diakses pada 14 Maret 2024 pukul 01.30 WIB

<https://www.kompas.id/baca/opini/2023/04/19/energi-nuklir-di-indonesia-ya-atau-tidak> Diakses pada 14 Maret 2024 pukul 01.20 WIB

<https://internasional.kompas.com/read/2021/10/19/131407370/nuklir-pengertian-dan-pemanfaatan> diakses tgl 1 Maret 2024

[https://irid.or.id/wp-content/uploads/2022/07/2022.04.01-Dasar-Dasar-Net-Zero-Emission\\_SPREADS.pdf](https://irid.or.id/wp-content/uploads/2022/07/2022.04.01-Dasar-Dasar-Net-Zero-Emission_SPREADS.pdf) diakses tgl 1 Maret 2024

<https://www.kompas.com/skola/read/2022/10/31/130000969/pltn--pengertian-prinsip-kerja-keuntungan-dan-kerugiannya> diakses tgl 1 Maret 2024

<https://wartapemeriksa.bpk.go.id/?p=42254> Diakses tanggal 11 Februari 2024 Pukul 14.31 WIB

<https://fiskal.kemenkeu.go.id/kajian/2014/06/26/083338456782406-ketahanan-energi-konsep-kebijakan-dan-tantangan-bagi-indonesia> Diakses tanggal 11 Februari 2024 Pukul 14.33 WIB

<http://universitas.pertamina.ac.id/berita/detail/transisi-energi-pengertian-manfaat-dan-teknologinya#:~:text=Transisi%20energi%20adalah%20jalan%20menuju,%20C%20dan%20baterai%20lithium%20Dion.> Diakses tanggal 11 Februari 2024 Pukul 14.35 WIB

<https://maritim.go.id/detail/komitmen-net-zero-carbon-tahun-2060-indonesia-seimbangkan-target-emisi-dan-target-pembangunan-ekonomi>. Diakses tanggal 11 Februari 2024 Pukul 14.37 WIB

<https://den.go.id/index.php/berita/den-bahas-indikator-ketahanan-energi-indonesia> Diakses tanggal 2 Mei 2024

<https://www.iea.org/reports/southeast-asia-energy-outlook-2022> Diakses tanggal 6 Mei 2024

<https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/iaea-releases-report-on-nuclear-energy-for-a-net-zero-world-ahead-of-cop26-climate-summit> Diakses tanggal 6 Mei 2024

<https://www.carbontrust.com/news-and-insights/insights/accelerating-the-net-zero-transition-in-southeast-asia-five-principles-for-enhancing-energy-efficiency> Diakses tanggal 6 Mei 2024

<https://www.kompas.id/baca/riset/2023/02/28/myanmar-merintis-pembangunan-pltn-pertama-di-asean> Diakses tanggal 6 Mei 2024

<https://www.csis.org/analysis/clean-energy-and-decarbonization-southeast-asia-overview-obstacles-and-opportunities> Diakses tanggal 6 Mei 2024

<https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/nuclear-tanah-indonesia> Diakses tanggal 6 Mei 2024

<https://id.usembassy.gov/united-states-indonesia-announce-partnership-on-small-modular-reactor-nuclear-clean-energy/#:~:text=URL%3A%20https%3A%2F%2Fid.usembassy.gov%2Funitid,100> Diakses tanggal 6 Mei 2024

<https://nautilus.org/napsnet/napsnet-special-reports/prospects-and-challenges-of-nuclear-power-and-small-modular-reactors-in-indonesia/> Diakses tanggal 6 Mei 2024

<https://www.cambridge.org/core/journals/business-and-politics/article/political-logics-of-clean-energy-transitions/3EBB1887089929B48CD623309C6751A9> Diakses tanggal 6 Mei 2024

<https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/07/22/cadangan-minyak-indonesia-terus-menipis-dalam-10-tahun-terakhir#:~:text=Pada%202021%2C%20data%20Kementerian%20Energi,1%20C7%20miliar%20cadangan%20potensial.> Diakses pada 2 Juni 2024

<https://ebtke.esdm.go.id/post/2022/10/25/3303/fase.pengembangan.nuklir.sebagai.sumber.energi.terbarukan.indonesia> diakses pada 2 Juni 2024

<https://www.cnnindonesia.com/teknologi/20231017194609-199-1012503/brin-sebut-pltn-pertama-indonesia-dibangun-2030> diakses pada 2 Juni 2024

<https://lestari.kompas.com/read/2023/11/21/061257386/rencana-pembangkit-nuklir-di-indonesia-semakin-nyata-ini-progresnya> diakses pada 19 Juni 2024

[https://www-ans-org.translate.google/news/article-5070/public-support-for-nuclear-stays-at-record-highs-but-misconceptions-remain-a-problem/?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=id&\\_x\\_tr\\_hl=id&\\_x\\_tr\\_pto=tc](https://www-ans-org.translate.google/news/article-5070/public-support-for-nuclear-stays-at-record-highs-but-misconceptions-remain-a-problem/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=id&_x_tr_hl=id&_x_tr_pto=tc) diakses pada 9 Juni 2024

<https://katadata.co.id/ekonomi-hijau/energi-baru/65f274a45f930/bapeten-anggarkan-rp-4-5-miliar-untuk-susun-payung-hukum-pltn>

De Guzman, Emmanuel, M. (2002). "Towards Total Disaster Risk Management Approach". ADRC-UNOCHA-RDA : Spain dalam [https://disaster.geo.ugm.ac.id/index.php/berita/istilah-manajemen\\_bencana](https://disaster.geo.ugm.ac.id/index.php/berita/istilah-manajemen_bencana) Diakses tanggal 8 Maret 2024 Pukul 18.03 WIB

Global Green Growth Institute, "Green Growth Concepts and Definitions Working Paper", sumber (Online): <http://greengrowth.bappenas.go.id/wp-content/uploads/2018/05/Green-Growth-Concept-Definitions-Paper.pdf>, Diakses tanggal 11 Februari 2024 Pukul 14.39 WIB

Sudibyakto A. (2011). Manajemen Bencana Indonesia Kemana?. Gajah Mada University Press : Yogyakarta dalam <https://disaster.geo.ugm.ac.id/index.php/berita/istilah-manajemen-bencana> Diakses tanggal 8 Maret 2024 Pukul 18.11 WIB

<https://biz.kompas.com/read/2021/10/31/152653028/resmikan-politeknik-teknologi-nuklir-indonesia-kepala-brin-semoga-jadi-pusat> diakses pada 19 Juni 2024

<https://katadata.co.id/ekonomi-hijau/energi-baru/65f2b0691c4cf/kajian-pembangkit-energi-nuklir-ri-rampung-2030-beroperasi-mulai-2040> diakses pada 19 Juni 2024

<https://katadata.co.id/ekonomi-hijau/energi-baru/65f2b0691c4cf/kajian-pembangkit-energi-nuklir-ri-rampung-2030-beroperasi-mulai-2040> diakses pada 19 Juni 2024

<https://katadata.co.id/ekonomi-hijau/energi-baru/66022d9b10ad0/pemerintah-kebut-pembentukan-organisasi-pendukung-energi-nuklir-di-ri> diakses pada 19 Juni 2024

<https://goodstats.id/article/mengulik-hasil-pisa-2022-indonesia-peringkat-naik-tapi-tren-penurunan-skor-berlanjut-m6XDt> diakses pada 9 Juni 2024

<https://katadata.co.id/ekonomi-hijau/energi-baru/65f2b0691c4cf/kajian-pembangkit-energi-nuklir-ri-rampung-2030-beroperasi-mulai-2040> diakses pada 9 Juni 2024

<https://katadata.co.id/ekonomi-hijau/energi-baru/66022d9b10ad0/pemerintah-kebut-pembentukan-organisasi-pendukung-energi-nuklir-di-ri> diakses pada 19 Juni 2024

<https://www.energy.gov/ne/articles/nuclear-power-most-reliable-energy-source-and-its-not-even-close> diakses pada 6 Juli 2024

ALUR PIKIR

PEMANFAATAN ENERGI NUKLIR GUNA MENDUKUNG *NET ZERO EMISSION* DALAM RANGKA  
TERWUJUDNYA KETAHANAN ENERGI NASIONAL



## LAMPIRAN 2

### DAFTAR PENGERTIAN

- a. **Energi Nuklir.** Energi nuklir merupakan bentuk energi yang diperoleh dari reaksi-reaksi yang terjadi pada inti atom, termasuk fusi nuklir di mana inti atom terpecah menjadi beberapa bagian, dan fusi nuklir yaitu ketika inti atom bergabung bersama. Proses ini melepaskan sejumlah besar energi yang bisa diubah menjadi listrik. Secara khusus, saat ini energi nuklir yang dimanfaatkan untuk pembangkitan listrik umumnya berasal dari fisi nuklir. Teknologi untuk menghasilkan listrik dari fusi nuklir masih dalam fase penelitian dan pengembangan<sup>50</sup>. Di sisi lain, energi nuklir juga menghasilkan limbah radioaktif yang bisa berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Proses pembuangan dan daur ulang limbah nuklir merupakan tantangan signifikan yang perlu ditangani dengan serius untuk mencegah kerusakan ekosistem dan risiko kesehatan publik.
- b. **Net Zero Emission.** Istilah *Net-Zero Emission* (NZE) di Indonesia menjadi istilah yang sering disebut, terutama ketika berbicara mengenai komitmen Indonesia di bidang perubahan iklim<sup>51</sup>. NZE atau nol emisi karbon adalah situasi dimana jumlah karbon yang dilepaskan ke atmosfer tidak melebihi apa yang diserap bumi sehingga tidak menimbulkan dampak Rumah Kaca. Untuk mencapai hal tersebut, transisi dari sistem energi saat ini ke sistem energi yang lebih bersih diperlukan untuk mencapai keseimbangan antara aktivitas manusia dan keseimbangan alam<sup>52</sup>. NZE, secara tertulis dalam bentuk konsep, mulai muncul di COP21 Paris pada tahun 2015 yang lalu. Walaupun tidak secara literal muncul di dalam Persetujuan Paris, pada Pasal 4.1 dari Persetujuan Paris mencantumkan konsep dari NZE itu sendiri. Pernyataan *“balance between anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of greenhouse gases”* merupakan konsep yang menggambarkan kondisi NZE, yang digambarkan dengan kondisi di mana emisi yang dihasilkan oleh

---

<sup>50</sup> <https://internasional.kompas.com/read/2021/10/19/131407370/nuklir-pengertian-dan-pemanfaatan> diakses tgl 1 Maret 2024

<sup>51</sup> UU RI Nomor 7 Tahun 2017 Pasal 1 Angka 1

<sup>52</sup> Nabila Putri Zahira dan Dening Putri Fadillah. 2022. Pemerintah Indonesia Menuju Target Net Zero Emission (NZE) Tahun 2060 Dengan Variable Renewable Energy (VRE) Di Indonesia. Jurnal Ilmu Sosial Vol. 2, No. 2 December (2022)

manusia dengan penyerapan emisi rumah kaca yang ada, menjadi seimbang. Pada saat kondisi ini tercapai, maka kondisi NZE akan terpenuhi<sup>53</sup>.

- c. **Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN).** PLTN adalah suatu sistem yang mengkonversikan panas hasil reaksi fisi di dalam reaktor nuklir menjadi energi listrik. Panas yang dibangkitkan dari dalam reaktor nuklir dipindahkan ke air pendingin yang kemudian dimanfaatkan untuk membangkitkan uap dan dalam *steam* generator. Uap yang dihasilkan kemudian digunakan untuk memutar turbin. Perputaran turbin tersebut yang digunakan untuk menggerakkan generator yang menghasilkan energi listrik. Sebagai pembangkit daya termal digunakan satu atau beberapa reaktor nuklir sebagai sumber panasnya<sup>54</sup>.
- d. **Ketahanan Energi Nasional (KEN).** KEN adalah kondisi terpenuhinya kebutuhan energi bagi masyarakat yang terlihat dari ketersediaan dengan jumlah dan kualitas yang memenuhi standar secara aman, merata, dan terjangkau<sup>55</sup>.
- e. **Ketahanan Nasional (Tannas).** Tannas diartikan sebagai suatu kondisi dinamik bangsa Indonesia pada segenap aspek kehidupan nasional dalam delapan gatra yang saling terintegrasi, berisi keuletan dan ketangguhan dalam meningkatkan kekuatan nasional, untuk mengatasi dan menghadapi potensi ancaman, gangguan, hambatan dan tantangan yang datang baik dari dalam maupun dari luar, dalam rangka menjamin identitas, integritas, kelangsungan hidup bangsa dan negara, serta perjuangan bangsa dalam mencapai tujuan nasionalnya<sup>56</sup>.
- f. **Reaktor.** Reaktor didefinisikan sebagai peralatan proses di mana bahan kimia diubah menjadi produk melalui reaksi kimia. Reaktor harus dikontrol dengan baik untuk mengoptimalkan yield dan selectivity produk<sup>57</sup>.
- g. **Stigma.** Stigma diartikan sebagai konstruksi sosial yang melibatkan kekuatan untuk memaksakan atau mempertahankan perbedaan status yang menguntungkan kelompok dominan dan merugikan yang terstigmatisasi.

---

<sup>53</sup> [https://irid.or.id/wp-content/uploads/2022/07/2022.04.01-Dasar-Dasar-Net-Zero-Emission\\_SPREADS.pdf](https://irid.or.id/wp-content/uploads/2022/07/2022.04.01-Dasar-Dasar-Net-Zero-Emission_SPREADS.pdf) diakses tgl 1 Maret 2024

<sup>54</sup> <https://www.kompas.com/skola/read/2022/10/31/130000969/pltn--pengertian-prinsip-kerja-keuntungan-dan-kerugiannya> diakses tgl 1 Maret 2024

<sup>55</sup> UU RI Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi

<sup>56</sup> Tim Pokja Bahan Ajar Geostrategi Indonesia dan Ketahanan Nasional. 2024. *Bidang Studi Geostrategi Indonesia dan Ketahanan Nasional*. Jakarta : Lemhannas RI

<sup>57</sup> Luyben, M. L. (2007). *Chemical reactor design and control*. John Wiley & Sons.

Proses ini melibatkan lima komponen: labeling, stereotyping, pemisahan, kehilangan status, dan diskriminasi dalam konteks kekuasaan<sup>58</sup>.

- h. **Mutasi.** Mutasi merupakan perubahan materi genetik suatu sel yang diwariskan kepada keturunannya. Mutasi dapat disebabkan oleh kesalahan replikasi materi genetik selama pembelahan sel yang disebabkan oleh radiasi, bahan kimia (mutagen), virus, atau dapat terjadi selama proses meiosis<sup>59</sup>.
- i. **Fisi.** Fisi adalah pemisahan inti atom yang berat menjadi inti atom yang lebih ringan. Fisi nuklir adalah pemisahan inti atom yang berat menjadi dua inti atom yang lebih ringan<sup>60</sup>.
- j. **Fusi.** Fusi adalah penggabungan inti atom untuk membentuk inti atom yang lebih besar dan lebih berat. Konsekuensi dari fusi adalah penyerapan atau pelepasan energi<sup>61</sup>.
- k. **Sains.** Sains adalah suatu deretan konsep serta skema konseptual yang berhubungan satu sama lain, dan tumbuh sebagai hasil eksperimentasi dan observasi, serta berguna untuk diamati dan dieksperimentasikan lebih lanjut. Sains memiliki ruang lingkup yang terbatas yaitu hanya pada hal yang dapat dipahami oleh indera kita seperti penglihatan, pendengaran, rabaan, sentuhan dan juga ucapan<sup>62</sup>.
- l. **Radioaktif.** Radioaktif merupakan kata sifat yang mempunyai arti senantiasa memancarkan energi yang kita kenal sebagai energi radiasi. Zat radioaktif dapat diartikan sebagai suatu zat yang senantiasa memancarkan energi. Radiasi yang dihasilkan dapat berupa radiasi gamma, radiasi beta, dan radiasi alfa atau sinar-X. Energi radiasi memiliki energi yang tinggi sehingga dapat menyebabkan terbentuknya ion, atau sering disebut pula dengan radiasi pengion (*ionizing radiation*)<sup>63</sup>.

---

<sup>58</sup> Link, B. G., & Phelan, J. C. (2006). Stigma and its public health implications. *The Lancet*, 367(9509), 528-529.

<sup>59</sup> <https://www.gramedia.com/literasi/mutasi/> diakses pada 17 Juli 2024

<sup>60</sup> [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical\\_and\\_Theoretical\\_Chemistry\\_Textbook\\_Maps/Supplemental\\_Modules\\_\(Physical\\_and\\_Theoretical\\_Chemistry\)/Nuclear\\_Chemistry/Fission\\_and\\_Fusion/Fission\\_and\\_Fusion](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_(Physical_and_Theoretical_Chemistry)/Nuclear_Chemistry/Fission_and_Fusion/Fission_and_Fusion) diakses pada 17 Juli 2024

<sup>61</sup> Ibid.

<sup>62</sup> Siregar, Vera Yunita, 2022. *Sains Dalam Perspektif Filsafat*. Universitas Islam Negeri Sumatera Utara.

<sup>63</sup> <https://infopublik.id/kategori/nasional-sosial-budaya/438643/apakah-radioaktif-itu-ini-penjelasan-dari-batan> diakses pada 17 Juli 2024

- m. **Uranium (U).** Uranium adalah unsur yang terbentuk secara alami dan bersifat radioaktif ringan. Dalam Tabel Periodik Unsur digambarkan dengan simbol “U” dan nomor atom 92. Uranium berbentuk logam padat berwarna putih keperakan. Pembangkit listrik tenaga nuklir menggunakan Uranium untuk menghasilkan panas dan merebus air menjadi uap. Uranium memiliki atom terbesar dari unsur-unsur yang terdapat secara alami di Bumi, sehingga lebih mudah terbelah daripada atom-atom lainnya<sup>64</sup>.
- n. **Thorium (Th).** Thorium merupakan sumber energi baru terbarukan, dan termasuk bahan bakar nuklir alternatif. Thorium disebut nuklir hijau dan digunakan juga sebagai sumber bahan bakar PLTN<sup>65</sup>.



---

<sup>64</sup> <https://www.enec.gov.ae/discover/fueling-the-barakah-plant/about-uranium/> diakses pada 17 Juli 2024

<sup>65</sup> <https://indonesia.go.id/kategori/kuliner/1446/thorium-harapan-baru-indonesia?lang=1> diakses pada 17 Juli 2024.

## LAMPIRAN 3

### DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Adang Sumpena, S.I.P., M.M., M.Han.  
Pangkat/Gol : Kolonel Kav  
Tpt/Tgl Lahir : Bandung / 01-05-1973  
Jabatan : Pamen Mabasad  
Instansi : Mabasad  
Agama : Islam



#### A. Pendidikan Umum.

SD, SMP, SMA, S-1 (Ilmu Politik), S-2 (Manajemen SDM), S-2 (Strategi dan Kampanye Militer-UNHAN)

#### B. Pendidikan Militer.

1. AKMIL (1995), SESSARCAB, SELAPA, SESKO AD, SESKO TNI.
2. Sus Para, Suspa Intel BIA, Sus Danki, Sus Danyon, Sus Dandim, Sus Ops Gab TNI, Sus Staf Renstra.

#### C. Pengalaman Jabatan

1. Danton, Kasi Intel, Danki Panser Yonkav 7/Sersus Dam Jaya (Jakarta)
2. Pasiter, Danramil Kodim 0507/Bekasi (Bekasi)
3. Pasi Orgas Binsat Dirbinsen Pusenkav (Bandung)
4. Kasilog Rindam IX/Udayana (Denpasar)
5. Wadanyon dan Danyon Kav 2 Tank Dam IV/Diponegoro (Ambarawa)
6. Pabandya Mat Slogdam XVI/Patimura (Ambon)
7. Dandim 0705/Magelang (Jateng)
8. Pabandya 1 Jakstra Srena Mabasad (Jakarta)
9. Dirbinlitbang Pussenkav (Bandung)
10. Staf Ahli Bidang OMP Dam XVII/Cenderawasih (Jayapura)
11. Dirbinrenproggar Pussenkav (Bandung)
12. Kabagren Biroren Settama Lemhannas RI (Jakarta)

#### D. Data Keluarga

1. Nama Istri : Dr. Diah Puspita
2. Nama Anak : Wahyu Rifki Aditama