

Desain Konseptual PLTN Terapung di Indonesia Timur: Pemilihan Lokasi Strategis di Daerah Terpencil

A. Muh. Ikram*, Muh. Asyhari Ramadhan, Muh. Hadid Kaharuddin, Fuad Mahfud Assidiq

Departemen Teknik Kelautan, Universitas Hasanuddin

*amuh.ikr4m@gmail.com

Abstrak

Kawasan Indonesia Timur memiliki potensi besar untuk pengembangan energi bersih, namun masih menghadapi keterbatasan infrastruktur kelistrikan dan distribusi energi di wilayah kepulauan dan daerah terpencil. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir Terapung (PLTN Terapung) dipandang sebagai solusi yang efektif untuk menjawab kebutuhan tersebut karena sifatnya yang fleksibel, dan dapat ditempatkan di pulau terluar. Penelitian ini menyajikan desain konseptual PLTN Terapung dengan fokus pada kajian pemilihan lokasi strategis di wilayah perairan Indonesia Timur. Metodologi penelitian meliputi analisis data sekunder melalui satelit yang mencakup aspek oseanografi (gelombang, arus, kedalaman laut), aksesibilitas logistik, jarak dari pusat permukiman, potensi koneksi ke jaringan listrik setempat, serta faktor keselamatan dan mitigasi risiko lingkungan. Dengan memperoleh hasil kala ulang gelombang diharapkan mampu mengidentifikasi lokasi-lokasi yang layak untuk penempatan PLTN Terapung sekaligus memberikan pertimbangan awal bagi perencanaan energi jangka panjang di Indonesia Timur. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi strategis dalam mendukung penyediaan energi berkelanjutan dan memperkuat ketahanan energi nasional.

Kata Kunci: *Daerah Terpencil, Indonesia Timur, Oseanografi, PLTN Terapung*

Abstract

Eastern Indonesia has great potential for clean energy development, but still faces limitations in terms of electricity infrastructure and energy distribution in island and remote areas. Floating nuclear power plant (FNPP) are seen as an effective solution to meet these needs due to their flexible nature and ability to be located on outlying islands. This study presents a conceptual design for a Floating Nuclear Power Plant, focusing on a strategic location selection study in the waters of Eastern Indonesia. The research methodology includes secondary data analysis via satellite covering oceanographic aspects (waves, currents, sea depth), logistical accessibility, distance from population centres, potential connections to local electricity grids, as well as safety and environmental risk mitigation factors. By obtaining wave recurrence results, it is hoped that suitable locations for the placement of floating nuclear power plants can be identified, while also providing initial considerations for long-term energy planning in Eastern Indonesia. This research is expected to serve as a strategic reference in supporting sustainable energy provision and strengthening national energy security.

Keywords: *Eastern Indonesia, Floating Nuclear Power Plants, Oceanography, Remote Areas*

PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai negara kepulauan terbesar di dunia dengan lebih dari 17.000 pulau [2], menghadapi tantangan signifikan dalam elektrifikasi wilayah timur yang terpencil, di mana keterbatasan akses dan kualitas pasokan listrik sering terjadi [14], [15]. Seiring dengan pertumbuhan populasi dan peningkatan kebutuhan energi [17], urgensi pengembangan sumber energi yang andal, bersih, dan berkelanjutan menjadi krusial. Perencanaan Floating Nuclear Power Plant (FNPP) menjadi solusi inovatif meningkatkan pasokan listrik dikarenakan kemampuannya yang mampu mengapung sehingga dapat berpindah tempat untuk menyalurkan listrik di wilayah timur [3], [18]. Namun salah satu tantangan yaitu pemilihan lokasi FNPP di wilayah timur yang mencakup kondisi lingkungan perairan kepulauan, keterbatasan infrastruktur, serta jarak distribusi yang jauh dari pusat energi nasional, yang mengakibatkan hal tersebut dapat mempengaruhi efisiensi penggunaan FNPP, oleh karena itu diperlukan kajian yang tepat untuk menentukan lokasi pembangunan power plant yang mampu memenuhi kebutuhan energi, mempertimbangkan aspek teknis, dan lingkungan, serta mendukung pembangunan berkelanjutan di kawasan tersebut [10], [16]. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini difokuskan pada penentuan lokasi strategis pembangunan power plant di wilayah timur Indonesia, dengan tujuan memberikan rekomendasi lokasi yang optimal sebagai dasar pengambilan keputusan dalam perencanaan infrastruktur energi nasional. kriteria FNPP serta efisien perencanaan yang dimana lokasi FNPP tersebut diharapkan dapat memaksimalkan outputnya [11], [12].

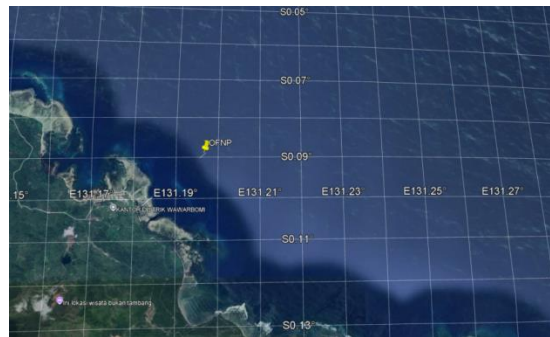
METODOLOGI

Metode penelitian yang dilakukan yaitu dengan mengumpulkan data lingkungan seperti gelombang, angin, batimetri dan morfologi geologi melalui data sekunder atau satelit. Data-data yang diunduh berupa data 10 Tahun Gelombang di website ERA5 dengan menggunakan metode gumbel untuk memperoleh kala ulang gelombang [5], Windrose 29 tahun di website ERA5 [5], Batimetri di website Ina-Geoportal menggunakan software arcgis untuk membuat layout pemetaan [7], serta kriteria standar perencanaan FNPP melalui studi literatur [8], [11].

Saat ini terdapat 2 lokasi perencanaan FNPP di wilayah timur yaitu Perairan Dote dan Perairan Warkori yang dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2 dibawah.



Gambar 1. Lokasi PLTN Terapung di Perairan Dote



Gambar 2. Lokasi PLTN Terapung di Perairan Warkori

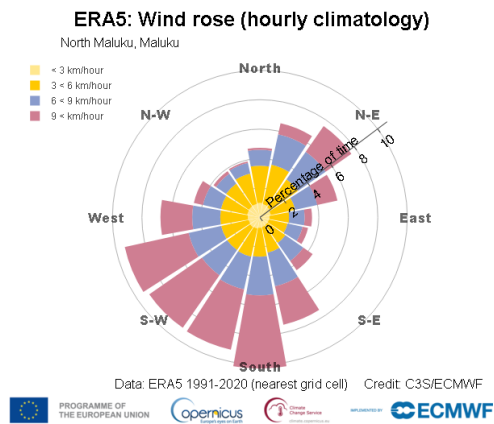
Pada Gambar 1 lokasi koordinat FNPP di perairan Dote yaitu E128,33 dan N0,39 sedangkan Pada Gambar 2 lokasi koordinat FNPP di Perairan Warkori adalah E131,2 dan S0,09.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hidro-Oseanografi di Perairan Dote

1. Angin

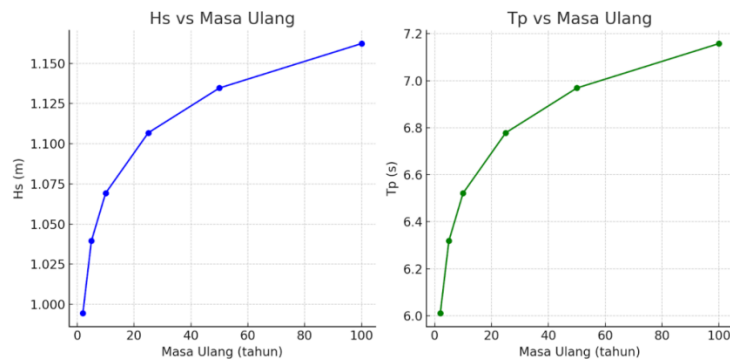
Berdasarkan data prediksi ERA5 angin dominan di perairan Desa Dote bertiup dari sektor selatan hingga barat daya dengan frekuensi tinggi (>10%) dan kecepatan seringkali berkisar 6–9 km/jam, mengindikasikan pengaruh muson barat daya [5] diilustrasikan di Gambar 3.



Gambar 3. Hasil data Angin 29 Tahun (1991-2020) di perairan Dote

2. Gelombang

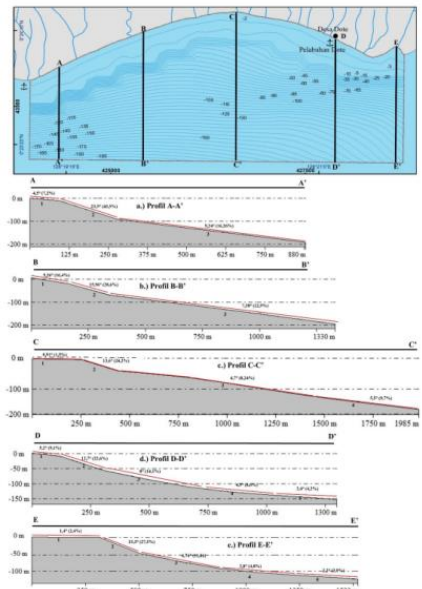
Berdasarkan data gelombang yang diperoleh dari ERA5 [5], setelah dianalisis diperoleh data kala ulang 100 Tahun di perairan dote, dimana tinggi gelombang ekstrim mencapai 1,16 meter dengan periode puncak (T_p) 7,16 detik yang tertera pada gambar 4.



Gambar 4. Kala ulang gelombang di perairan Dote

3. Batimetri

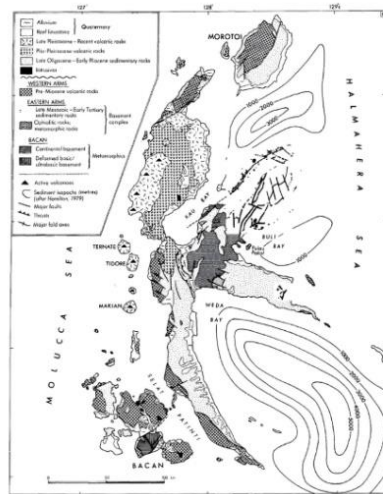
Berdasarkan data sekunder yang didapat dari hasil observasi Erik Febriata didapatkan data batimetri di perairan Dote dimana pada titik B-B' merupakan daerah titik FNPP [6]. Pada Gambar 5 diperoleh bahwa pada jarak 1,45 Km lokasi FNPP ke garis Pantai kedalamannya yaitu rata-rata 166 m dengan slope yang tidak terlalu signifikan yaitu 7,3 derajat.



Gambar 5. Kondisi Relief (Topografi) dasar laut perairan Dote (Laut Halmahera) (Erik Febriarta et all, 2022)

4. Morfologi Geologi

Hasil identifikasi sedimen di dasar laut mengindikasikan adanya lapisan tanah lunak yang tebal dapat dilihat pada Gambar 6. Sebuah faktor penting untuk dipertimbangkan dalam desain sistem penambatan [13].

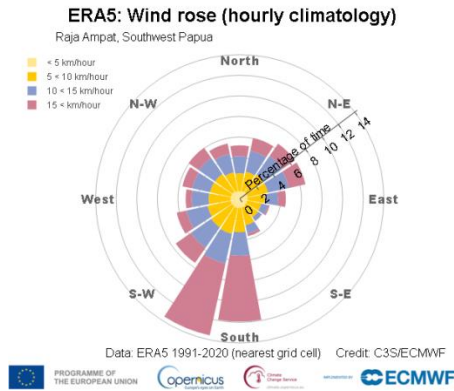


Gambar 6. Peta geologi pulau Halmahera modifikasi dari Apandi dan Sudana (1980), Silitonga dkk., (1981), Supriatna (1980), dan Yasin (1980) (Hall, 1980).

Analisis Hidro-Oseanografi di Perairan Warkori

1. Angin

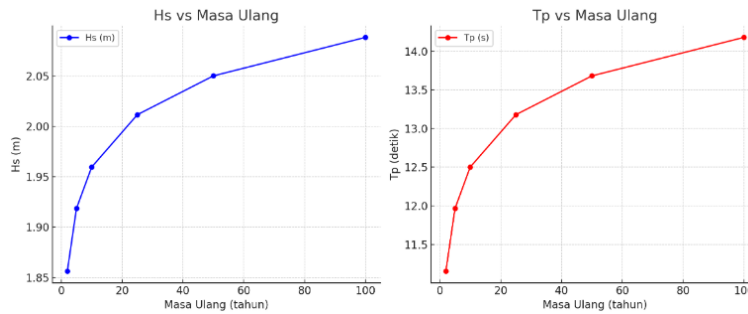
Berdasarkan windrose ERA5 pada Gambar 7 kondisi angin di perairan Warkori dominan dari arah selatan dengan kecepatan <math>< 15 \text{ km/hour}</math> [5].



Gambar 7. Hasil data angin 29 tahun (1991-2020) di perairan Warkori

2. Gelombang

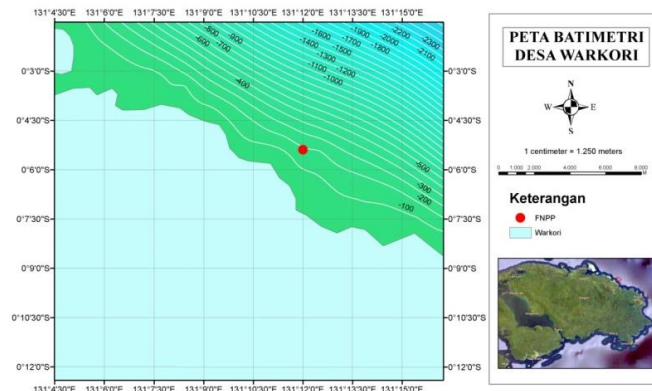
Pada Gambar 8 diperoleh tinggi maksimal gelombang maksimal yaitu lebih dari 2,05 meter dengan periode diatas 14 detik. Hal tersebut dapat membahayakan struktur FNPP dikarenakan gelombang yang cukup tinggi dengan periode yang besar yang dapat menyebabkan resonansi. Sehingga desain FNPP perlu memperhitungkan periode naturalnya agar tidak sama dengan periode gelombang [3], [13].



Gambar 8. Kala Ulang Gelombang di perairan Warkori

3. Batimetri

Permukaan dasar laut perlu diketahui dalam mendesain Floating Nuclear Power Plant (FNPP) agar bangunan apung dapat beroperasi dengan aman di sekitar Perairan Warkori [11]. Pada Gambar 9 diperoleh data batimetri di Perairan desa Warkori, dapat dilihat bahwa kedalaman seabed di lokasi FNPP hampir mencapai 200 meter yang dimana jarak FNPP menuju garis pantai yaitu sekitar 2,17 Km [7].



Gambar 9. Peta Batimetri desa Warkori (Ina-Geoportal)

Kriteria Rekomendasi Lokasi FNPP (Floating Nuclear Power Plant)

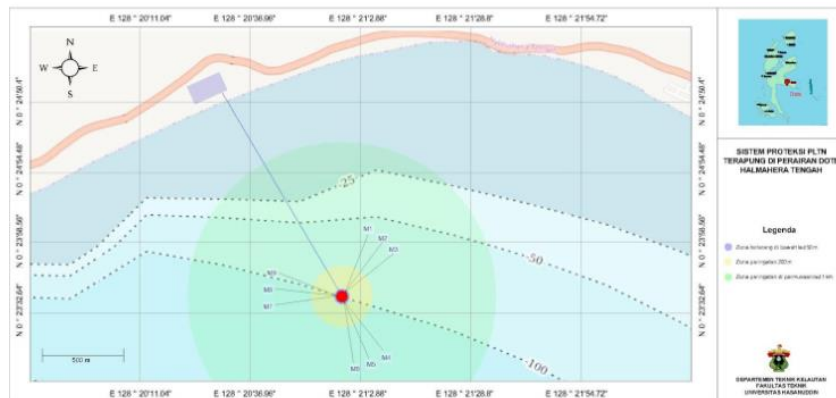
Berdasarkan hasil analisis hidro-oseanografi yang dilakukan maka diperoleh kriteria-kriteria untuk rekomendasi penempatan Floating Nuclear Power Plant (FNPP) yang dimana dapat dilihat pada tabel 1 di bawah [10], [16].

Tabel 1. Kriteria Rekomendasi lokasi FNPP

Kriteria FNPP	Perairan Dote	Perairan Warkori
Angin	Kecepatan angin di perairan dote mencapai 6-9 km/jam sehingga gelombang yang bangkit terbilang kecil cocok untuk menjaga stabilitas bangunan apung terhadap gaya eksitasi	Kecepatan angin mencapai <15 km/jam yang berpotensi membangkitkan gelombang dengan amplitudo besar setidaknya lebih besar dari perairan Dote
Gelombang	Berdasarkan analisis kala ulang gelombang di perairan Dote potensi munculnya gelombang ekstrim 1,16 meter yaitu 1%	Berdasarkan analisis kala ulang gelombang di perairan Warkori potensi munculnya gelombang ekstrim diatas 2,05 meter yaitu 1%
Batimetri	Di perairan Dote lokasi FNPP memenuhi kriteria kedalaman FNPP yaitu mencapai 100 meter	Di perairan Warkori juga memenuhi kriteria kedalaman FNPP yaitu mencapai 100 meter
Morfologi Geologi	Jenis tanah yang berada pada seabed perairan Dote yaitu tanah lunak	-

Berdasarkan Tabel 1. Kami memilih perairan Dote sebagai lokasi perencanaan Floating Nuclear Power Plant (FNPP) dikarenakan gaya eksitasi di perairan Dote lebih kecil dibanding Perairan Warkori.

Faktor keamanan FNPP perlu diperhatikan dengan menyesuaikan standar Internasional dikarenakan Floating Nuclear Power Plant (FNPP) menampung sebuah reaktor yang dapat mengakibatkan kerusakan lingkungan serta keselamatan masyarakat jika terjadi mal fungsi, salah satu standar faktor kewanan yaitu Zona Proteksi yang dapat dilihat pada Gambar 10 [8], [11].



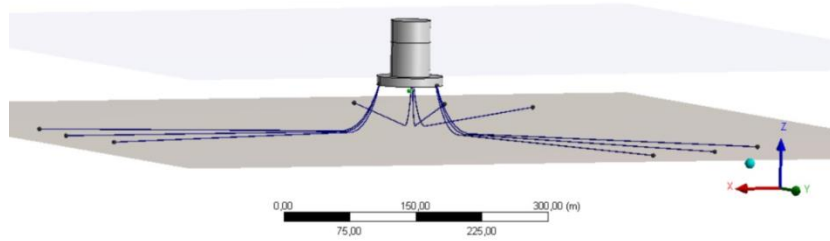
Gambar 10. Zona Proteksi FNPP di Perairan Dote

Berdasarkan Gambar 10. Zona terlarang di bawah laut sejauh 50 meter, zona peringatan 200 meter, dan zona peringatan di permukaan laut 1000 meter dari lokasi operasi [11].

Dimensi FNPP

Floating Nuclear Power Plant (FNPP) didesain dengan bentuk silinder dengan diameter 45 meter dan tinggi total 73 meter,

dengan draft sekitar 48,5 meter. Dimensi ini disesuaikan untuk menghadapi kondisi gelombang ekstrem kala ulang 100 tahunan (H_s 1,16 m, T_p 7,16 detik), memastikan freeboard minimum 15 meter untuk mencegah overtopping dan menjamin keselamatan [3], [13]. Untuk model desainnya dapat dilihat pada gambar 11.



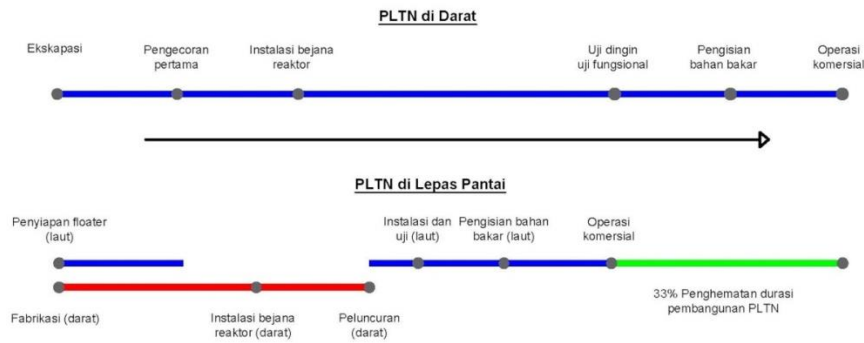
Gambar 11. Desain Struktur FNPP

Manufaktur struktur FNPP direncanakan di galangan Cosco (Qidong) Offshore Co., Ltd., Shanghai, Tiongkok, yang dipilih karena fasilitas perakitan modular berskala besar dan pengalaman dalam proyek lepas pantai. Rute pengangkutan menuju lokasi instalasi dirancang untuk menghindari perairan padat, dengan estimasi durasi 12 hari yang diilustrasikan pada Gambar 12.



Gambar 12. Jalur Pengangkutan FNPP

Selain itu proses instalasi FNPP bersifat paralel, memungkinkan fabrikasi reaktor dan sistem pendukung dilakukan bersamaan dengan persiapan struktur terapung, sehingga mempercepat pembangunan hingga 33% dibandingkan PLTN darat [11]. Untuk skema instalasinya dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Skema Instalasi FNPP

KESIMPULAN

Perairan Dote merupakan letak strategis dalam merencanakan powerplant dikarenakan hasil analisis hidro oseanografi di perairan Dote terbilang tenang, selain itu kondisi batimetri di perairan dote memenuhi kriteria kedalaman FNPP yaitu

mencapai 100 meter dengan kondisi tanah yang landai mempermudah desain mooring system pada FNPP [6], [16]. Jarak instalasi FNPP menuju perairan dote juga terbilang singkat dibandingkan dengan perairan warkori yang dimana hal ini dapat mempengaruhi efisiensi biaya bahan bakar kapal.

Floating Nuclear Power Plant (FNPP) dipilih sebagai sumber energi di wilayah timur dikarenakan daya listrik yang dihasilkan sangat besar untuk 1 reaktor FNPP, memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan PLTN darat salah satunya yaitu proses instalasi FNPP yang bersifat paralel sehingga mampu mengefisiensi waktu instalasi sebesar 33% [3], [11].

REFERENSI

- [1] D. Ardani Putri, “Analisis Gelombang Laut di Perairan Selatan Jawa Timur,” Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, 2022.
- [2] Badan Informasi Geospasial, “Pulau Indonesia Bertambah Jadi 17.380, Mengapa Angkanya Berubah Setiap Tahun?,” 2024. [Online]. Available: <https://sipulau.big.go.id/news/11>. [Accessed: Sep. 16, 2025].
- [3] J. Buongiorno, J. Jurewicz, M. Golay, and N. Todreas, “The offshore floating nuclear plant concept,” Nuclear Technology, vol. 194, no. 1, pp. 1–14, 2017. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.13182/NT15-49>.
- [4] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, “Rekomendasi Kebijakan Pra Perizinan PLTN di Indonesia,” 2023. [Online]. Available: <https://cloud.bapeten.go.id/index.php/s/iZYKZmc3H5SC3RR#pdfviewer>.
- [5] ECMWF, “ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present,” 2018. [Online]. Available: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>. [Accessed: Sep. 16, 2025].
- [6] E. Febriarta, S. Vienastra, N. Khakmim, and A. Larasati, “Morfologi dasar laut Dote (Laut Halmahera), Kabupaten Halmahera Tengah,” Jurnal XYZ, vol. 20, no. 2, pp. 289–303, 2022. [Online]. Available: <https://share.google/QXO6ml9wtjzitAQhO>.
- [7] Ina-Geoportal, “Ina-Geoportal,” 2025. [Online]. Available: <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/>. [Accessed: Sep. 17, 2025].
- [8] International Maritime Organization, “Future Guidelines for Floating Nuclear Power Plants,” 2019. [Online]. Available: https://www.imocontest.org/images/award/2019/04_2019IMO_Ocean's%203.pdf.
- [9] I. Julian, “RI eyes floating nuclear power plants for Eastern regions, targets first on-grid reactor by 2029,” 2025. [Online]. Available: <https://indonesiabusinesspost.com/4357/energy-and-resources/ri-eyes-floating-nuclear-power-plants-for-eastern-regions-targets-first-on-grid-reactor-by-2029>.
- [10] S. M. Lumbanraja and R. A. P. Rijanti, “Kajian awal kawasan lepas pantai di Indonesia sebagai lokasi tapak PLTN,” in Prosiding Seminar Nasional Infrastruktur Energi Nuklir, Yogyakarta, Indonesia, Oct. 25, 2018, pp. 253–262.
- [11] International Atomic Energy Agency, “Advances in Small Modular Reactor Technology Developments,” 2022. [Online]. Available: https://aris.iaea.org/Publications/SMR_Book_2022.pdf. [Accessed: Sep. 17, 2025].
- [12] International Atomic Energy Agency, “Floating Nuclear Power Plants: A Technical Overview,” Vienna, Austria, 2019.
- [13] M. D. Carelli, D. T. Ingersoll, and P. E. MacDonald, “Small modular reactor design considerations for offshore deployment,” Progress in Nuclear Energy, vol. 85, pp. 180–189, 2015.
- [14] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, “Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2023,” Jakarta, Indonesia, 2023. [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/>. [Accessed: Sep. 17, 2025].
- [15] PT PLN (Persero), “Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2021–2030,” Jakarta, Indonesia, 2021. [Online]. Available: <https://web.pln.co.id/>. [Accessed: Sep. 17, 2025].
- [16] B. R. Septriono and H. S. Prabowo, “Kajian potensi pembangunan PLTN terapung di wilayah Indonesia Timur,” Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, vol. 24, no. 1, pp. 45–56, 2022.
- [17] United Nations, “World Population Prospects 2022,” 2022. [Online]. Available: <https://population.un.org/wpp/>. [Accessed: Sep. 17, 2025].
- [18] World Nuclear Association, “Floating Nuclear Power Plants,” 2024. [Online]. Available: <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/floating-nuclear-power-plants.aspx>. [Accessed: Sep. 17, 2025].
- [19] A. Likhov, “Nuclear power in small grids: Challenges and opportunities,” OECD Nuclear Energy Agency, Paris, France, 2011.
- [20] Badan Pusat Statistik, “Statistik Indonesia 2024,” Jakarta, Indonesia, 2024. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/>. [Accessed: Sep. 17, 2025].