

Desain Konseptual PLTN Terapung di Indonesia Timur: Aspek Kelayakan dan Implikasi Ekonomi

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

Departemen Teknik Kelautan, Universitas Hasanuddin

*muhhadidkharuddin17@gmail.com

Abstrak

Indonesia adalah negara kepulauan yang luas, dengan ribuan pulau yang tersebar dari barat hingga timur, namun distribusi dan akses terhadap pasokan listrik belum merata di seluruh wilayah. Tantangan besar ini mendorong perlunya solusi energi yang andal, berkelanjutan, dan terjangkau, khususnya di wilayah Indonesia bagian timur. Dalam upaya mengatasi krisis energi dan mitigasi perubahan iklim, PLTN terapung (*floating nuclear power plant*, FNPP) menjadi alternatif potensial karena kemampuannya menyediakan listrik skala besar dengan emisi rendah, konstruksi lebih efisien dibandingkan pembangunan di darat, dan aksesibilitas proses pendinginan mudah. Penelitian ini mengevaluasi kelayakan penerapan desain FNPP di perairan sekitar Pulau Halmahera Provinsi Maluku Utara. Selain aspek kelayakan teknis, studi ini juga menyoroti implikasi ekonomi, di mana kapasitas 300 MW yang dihasilkan tidak hanya berpotensi menutup kesenjangan energi, tetapi juga memenuhi kebutuhan listrik terjangkau (SDGs 7), juga mendukung pengembangan infrastruktur berkelanjutan (SDGs 9) dan ekonomi biru melalui peningkatan akses listrik, penguatan sektor perikanan, pelabuhan, dan industri kelautan. Dengan demikian, desain konseptual PLTN Terapung diharapkan menjadi solusi strategis untuk meningkatkan ketahanan energi nasional sekaligus mendukung agenda pembangunan berkelanjutan di Indonesia. Rekomendasi desain ini diharapkan menjadi acuan strategis untuk mengurangi kesenjangan energi di wilayah terpencil, meningkatkan ketahanan energi nasional, serta berkontribusi pada agenda pembangunan global.

Kata Kunci: *Indonesia Timur, Kelayakan Energi, PLTN Terapung, Sustainable Development Goals, Implikasi Ekonomi, Ketahanan Energi*

Abstract

Indonesia is a vast archipelagic country with thousands of islands stretching from west to east; however, the distribution and accessibility of electricity supply remain uneven across regions. This challenge necessitates reliable, sustainable, and affordable energy solutions, particularly in the eastern part of the country. To address the energy crisis and climate change mitigation, the Floating Nuclear Power Plant (FNPP) has emerged as a potential alternative due to its ability to generate large-scale electricity with low emissions, more efficient construction compared to land-based plants, and accessible cooling processes. This study evaluates the feasibility of implementing the FNPP design in the waters surrounding Halmahera Island, North Maluku Province. In addition to technical feasibility, the study also highlights economic implications, where the proposed 300 MW capacity not only has the potential to reduce energy disparities but also to provide affordable electricity (SDGs 7), support sustainable infrastructure development (SDGs 9), and promote the blue economy through enhanced access to electricity, strengthened fisheries, port activities, and the maritime industry. Accordingly, the conceptual design of the FNPP is expected to serve as a strategic solution to improve national energy security while supporting Indonesia's sustainable development agenda. Furthermore, this design recommendation is anticipated to serve as a strategic reference to reduce energy disparities in remote areas, strengthen national energy resilience, and contribute to the global development agenda.

Keywords: *Eastern Indonesia, Energy Feasibility, Floating Nuclear Power Plant, Sustainable Development Goals, Economic Implications, Energy Security*

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar di dunia dengan lebih dari 17.000 pulau menghadapi tantangan serius dalam pemerataan akses energi listrik, khususnya di wilayah timur [1], [8]. Keterbatasan infrastruktur dan luasnya bentang geografis menyebabkan pasokan listrik di beberapa daerah masih tidak stabil dan sering mengalami defisit [1], [15]. Kondisi ini tidak hanya berdampak pada aktivitas sosial-ekonomi masyarakat, tetapi juga menghambat percepatan pembangunan di kawasan 3T.



Seiring dengan pertumbuhan penduduk dan peningkatan kebutuhan energi, urgensi pengembangan sumber energi yang andal, berkelanjutan, dan rendah emisi menjadi semakin penting [8]. Dalam konteks tersebut, Floating Nuclear Power Plant (FNPP) berbasis Small Modular Reactor (SMR) muncul sebagai salah satu opsi potensial [3], [4], [12], [13]. Teknologi ini dirancang dengan mempertimbangkan mobilitas, modularitas, keselamatan tinggi, serta emisi karbon yang relatif rendah [4], [9], [12]. Keunggulan tersebut menjadikan FNPP sesuai untuk memenuhi kebutuhan energi baseload di wilayah kepulauan terpencil, termasuk Maluku Utara [13], [14].

Penerapan FNPP juga sejalan dengan arah kebijakan nasional dalam diversifikasi energi dan pengurangan ketergantungan pada bahan bakar fosil [2], [8], [20]. Penelitian ini difokuskan pada studi kasus perairan Halmahera Tengah, tepatnya di Desa Dote, yang memiliki karakteristik perairan mendukung untuk implementasi FNPP [1]. Kajian dilakukan untuk menilai kelayakan teknis dan ekonomi FNPP, meliputi perancangan desain konseptual, analisis kebutuhan listrik, serta evaluasi kelayakan finansial menggunakan parameter Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Payback Period (PBP), dan Levelized Cost of Energy (LCOE) [10].

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis ekonomi teknik untuk menilai kelayakan finansial proyek *Floating Nuclear Power Plant* (FNPP) di Maluku Utara. Evaluasi dilakukan menggunakan empat parameter utama, yaitu *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), *Payback Period* (PBP), dan *Levelized Cost of Energy* (LCOE) [10].

Net Present Value (NPV)

NPV digunakan untuk menghitung selisih antara nilai sekarang dari seluruh arus kas masuk dan nilai sekarang dari seluruh arus kas keluar selama umur proyek pada tingkat diskonto tertentu. Secara matematis, NPV dirumuskan sebagai [10]:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (1)$$

Keterangan pada persamaan tersebut adalah CF_t merupakan arus kas bersih (*cash flow*) pada tahun ke- t , r adalah tingkat diskonto (*discount rate*) yang digunakan untuk menghitung nilai sekarang dari arus kas di masa mendatang, n menunjukkan umur proyek atau periode analisis, sedangkan I_0 merupakan investasi awal yang dikeluarkan pada awal proyek. Berdasarkan metode NPV, suatu proyek dinyatakan layak apabila nilai $NPV > 0$, yang menunjukkan bahwa total nilai sekarang dari manfaat atau penerimaan proyek lebih besar dibandingkan total biaya investasi yang dikeluarkan [10].

Internal Rate of Return (IRR)

IRR adalah tingkat diskonto yang menyebabkan nilai NPV sama dengan nol. Dengan kata lain, IRR menunjukkan tingkat pengembalian internal dari investasi proyek. Persamaan IRR dapat ditulis sebagai [10]:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} - I_0 \quad (2)$$

Suatu proyek dinilai layak apabila nilai IRR lebih besar daripada *Minimum Attractive Rate of Return* atau MARR.

Payback Period (PBP)

PBP digunakan untuk mengetahui periode waktu yang diperlukan hingga akumulasi arus kas bersih sama dengan nilai investasi awal. Rumus sederhana PBP adalah [10]:

$$PBP = \frac{I_0}{CF_{annual}} \quad (3)$$

Keterangan pada persamaan *Payback Period* (PBP) tersebut adalah I_0 merupakan investasi awal yang dikeluarkan pada awal proyek, sedangkan CF_{annual} adalah arus kas bersih tahunan yang diperoleh selama masa operasional proyek. Metode PBP digunakan untuk mengetahui seberapa cepat investasi dapat kembali melalui pendapatan yang dihasilkan proyek. Semakin pendek nilai PBP dibandingkan dengan umur operasional proyek, maka proyek dinilai semakin layak untuk

dilaksanakan karena modal investasi dapat kembali dalam waktu yang relatif lebih cepat [10].

Levelized Cost of Energy (LCOE)

LCOE digunakan untuk menghitung biaya rata-rata produksi listrik selama umur teknis pembangkit. Parameter ini memperhitungkan biaya investasi, operasi, pemeliharaan, bahan bakar, serta total energi listrik yang dihasilkan selama umur proyek [10], [12].

$$LCOE = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \tag{4}$$

Keterangan pada persamaan LCOE tersebut adalah I_t merupakan biaya investasi pada tahun ke- t , M_t adalah biaya operasi dan pemeliharaan pada tahun ke- t , F_t menunjukkan biaya bahan bakar pada tahun ke- t , sedangkan E_t merupakan jumlah energi listrik yang dihasilkan pada tahun ke- t . Selanjutnya, r adalah tingkat diskonto yang digunakan untuk menghitung nilai sekarang dari seluruh biaya dan energi yang dihasilkan, serta n menunjukkan umur proyek atau periode analisis pembangkit listrik. Dengan pendekatan ini, nilai LCOE dapat menggambarkan biaya rata-rata produksi listrik selama umur operasional FNPP secara lebih komprehensif. Secara sederhana, LCOE juga dapat ditulis sebagai:

$$LCOE = \frac{\text{Total Annualized Cost}}{\text{Annual Energy Production}} \tag{5}$$

Selain aspek keekonomian, penelitian ini juga memperhatikan faktor desain teknis, khususnya sistem penambatan atau *mooring system* yang berpengaruh terhadap stabilitas FNPP di laut [3], [13], [18]. Sistem penambatan 3×3 dirancang untuk mengantisipasi gerak berlebih akibat gelombang ekstrem, sekaligus mempertimbangkan kondisi tanah lunak di perairan Desa Dote dan kedalaman lokasi FNPP sekitar 150 meter. Spesifikasi tali tambat disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Tali Tambat

<i>Length</i> (m)	420
<i>Mass/Unit Length</i> (Kg/m)	370
<i>Equivalent CSA</i> (m ²)	0,09
<i>Stiffness, EA</i> (kN)	800.000
<i>Maximum Tension</i> (kN)	11.981
<i>Added Mass Coefficient</i>	1
<i>Transverse Drag Coefficient</i>	2,4
<i>Equivalent Diameter</i> (m)	0,13
<i>Longitudinal Drag Coefficient</i>	1,15

HASIL DAN PEMBAHASAN

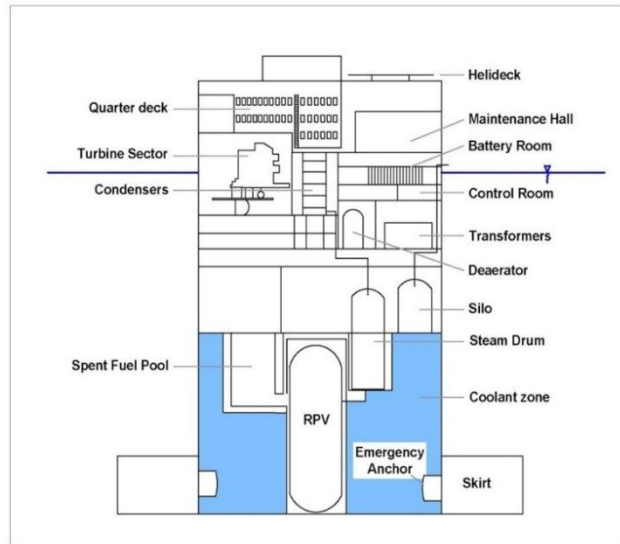
Desain FNPP

Pengembangan *Floating Nuclear Power Plant* (FNPP) di Indonesia didasarkan pada kebutuhan energi yang semakin meningkat, khususnya di wilayah timur yang masih menghadapi keterbatasan infrastruktur kelistrikan [1], [8], [15]. Sebagai negara kepulauan dengan lebih dari 17.000 pulau, tantangan utama Indonesia adalah pemerataan distribusi energi ke daerah-daerah terpencil yang sulit dijangkau jaringan listrik konvensional [1]. Oleh karena itu, FNPP muncul sebagai solusi strategis karena menawarkan mobilitas tinggi, efisiensi instalasi, dan kapasitas daya besar yang dapat diandalkan untuk mendukung elektrifikasi wilayah 3T (*Terdepan, Terluar, dan Tertinggal*) [3], [13], [14].

Dari sisi ketersediaan sumber daya, Indonesia memiliki cadangan bahan bakar nuklir domestik yang cukup besar, yakni sekitar 90 ribu ton uranium dan 140 ribu ton thorium [15]. Potensi ini menjadi faktor penguat dalam pertimbangan implementasi FNPP di kawasan timur, karena dapat mendukung kemandirian energi nasional tanpa ketergantungan penuh pada impor bahan bakar [15]. Selain itu, dukungan kebijakan dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) serta pengawasan ketat dari Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) memastikan setiap tahap desain dan operasi FNPP memenuhi standar keselamatan, keamanan, dan *safeguards* nuklir sesuai regulasi internasional [2], [5], [20].

Pemilihan desain FNPP dalam studi ini menggunakan teknologi *Small Modular Reactor* (SMR) ThorCon, yang berbasis reaktor fisi garam cair (*Molten Salt Reactor/MSR*) [11]. Teknologi ini dipilih karena memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan PLTN konvensional, antara lain operasi pada tekanan rendah, sistem pendinginan pasif, serta kemampuan untuk meminimalkan risiko kebocoran radiasi [4], [9], [12]. Dengan kapasitas panas sebesar 557 MWt yang dapat menghasilkan listrik hingga 250 MWe, desain ini tidak hanya memenuhi kebutuhan energi lokal, tetapi juga mampu menghasilkan surplus daya untuk mendukung pertumbuhan ekonomi regional [11], [12].

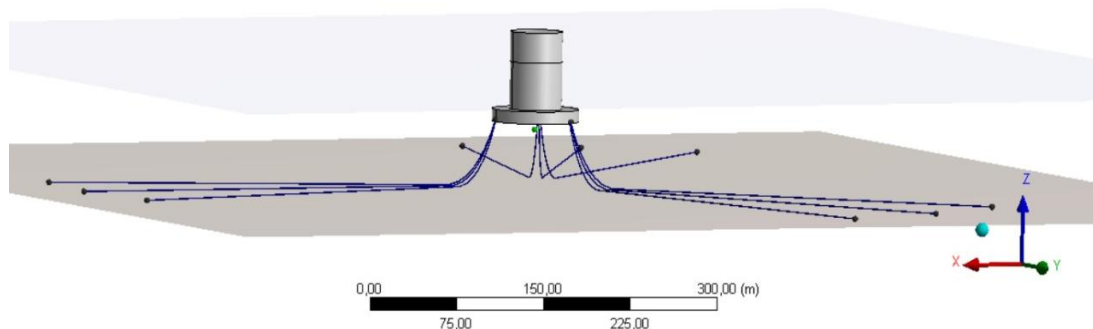
Struktur FNPP dirancang berbentuk silinder dengan diameter 45 m, tinggi total 73 m, serta *draft* 48,5 m. Dimensi ini dipilih untuk menjaga kestabilan hidrostatik dan kekuatan struktur terhadap beban gelombang ekstrem [3], [18]. Perancangan juga memperhitungkan *freeboard* minimum 15 m agar air laut tidak melimpas ke atas platform pada kondisi cuaca buruk [18].



Gambar 1. Tampak samping desain *Floating Nuclear Power Plant* (FNPP)

Gambar 1 menampilkan susunan utama komponen yang terdapat pada FNPP. Di dalam struktur silinder, terpasang reaktor daya (*Reactor Pressure Vessel/RPV*) yang berfungsi sebagai pusat proses fisi, dilengkapi dengan *steam drum*, sektor turbin, serta kondensor yang mengembalikan uap menjadi air pendingin [3], [12]. Selain itu, terdapat ruang kontrol sebagai pusat kendali operasi, transformator untuk distribusi energi, serta fasilitas penyimpanan bahan bakar baru dan *spent fuel pool* sebagai penampung sementara bahan bakar bekas [5], [6].

Penataan komponen tersebut dirancang dengan mempertimbangkan kemudahan akses saat perawatan, keamanan sistem, dan distribusi beban agar setiap unit dapat bekerja secara optimal [18], [19]. Bagian atas struktur dilengkapi dengan *helideck*, yang berfungsi memfasilitasi mobilisasi logistik maupun penanganan keadaan darurat melalui jalur udara. Dimensi silinder yang relatif besar juga memberikan ruang yang cukup bagi sirkulasi udara dan penempatan peralatan, sehingga tercipta konfigurasi yang kompak namun tetap aman untuk operasi jangka panjang [18].

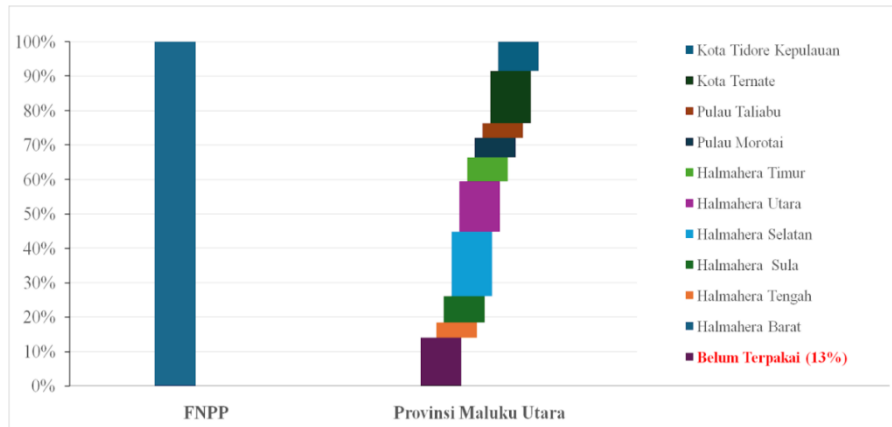


Gambar 2. Desain Struktur dan Tali Tambat FNPP

Sistem penambatan *spread mooring* dengan sembilan tali tambat yang dipasang radial dirancang untuk mengantisipasi gerak berlebih akibat gelombang ekstrem, sekaligus mempertimbangkan kondisi tanah lunak di perairan Desa Dote dan kedalaman lokasi FNPP sekitar 150 meter [3], [18], [19].

Kebutuhan Listrik di Provinsi Maluku Utara

Distribusi kebutuhan listrik di Maluku Utara tampak jauh lebih kecil dibandingkan dengan kapasitas daya yang dapat dipasok oleh FNPP [1], [8]. Pembangkit ini menghasilkan suplai energi yang jumlahnya melampaui total konsumsi listrik provinsi, sehingga proporsi kebutuhan di setiap kabupaten terlihat relatif kecil ketika ditampilkan dalam grafik. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa FNPP tidak hanya cukup untuk menjamin ketersediaan listrik, melainkan juga menyediakan cadangan daya yang signifikan [13], [14].



Gambar 3. Sebaran daya output FNPP terhadap kebutuhan listrik per kabupaten di Provinsi Maluku Utara

Jika diperhatikan lebih rinci, wilayah dengan konsumsi listrik tertinggi adalah Kota Ternate, Halmahera Utara, dan Halmahera Selatan [1]. Sementara itu, daerah seperti Pulau Taliabu, Halmahera Timur, dan Kota Tidore Kepulauan menempati porsi yang lebih rendah. Menariknya, masih terdapat sekitar 13% kapasitas yang belum terserap. Bagian yang ditandai dengan warna merah pada grafik ini mencerminkan adanya kelebihan daya yang dapat dimanfaatkan untuk mendorong pertumbuhan sektor ekonomi baru.

Surplus energi dari FNPP pada dasarnya menghadirkan dua implikasi penting. Pertama, ketersediaan cadangan daya akan meningkatkan keandalan sistem listrik sehingga risiko pemadaman dapat ditekan seminimal mungkin [8]. Kedua, kapasitas yang belum digunakan memberi ruang bagi pengembangan industri berbasis energi, seperti pengolahan mineral, perikanan skala besar, maupun kegiatan maritim [15].

Analisis Kelayakan FNPP

Kajian kelayakan ekonomi pada proyek pembangunan FNPP dilakukan dengan menggunakan beberapa parameter evaluasi standar dalam analisis ekonomi teknik, yaitu *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), *Payback Period* (PBP), serta *Levelized Cost of Energy* (LCOE) [10]. Parameter ini dipilih karena mampu menggambarkan tingkat keuntungan, kecepatan pengembalian modal, dan efisiensi biaya produksi energi secara menyeluruh [10].

Tabel 2. Studi Kelayakan Ekonomi FNPP

Kriteria	Syarat Layak	Hasil	Status
NPV	NPV > 0	\$4.719.259.670 > 0	Layak
IRR	IRR > MARR	6% < 8,28%	Tidak layak
<i>Payback Period</i>	PBP < Umur Operasional Proyek	14,2 tahun < 80 tahun	Layak

Analisis kelayakan ekonomi menunjukkan *Net Present Value* (NPV) sebesar USD 4.719.259.670, yang mengindikasikan proyek layak secara finansial [10]. Namun, *Internal Rate of Return* (IRR) sebesar 6% berada di bawah *Minimum Acceptable Rate of Return* (MARR) 8,28%, sehingga menunjukkan adanya tantangan dalam pengembalian investasi [10]. *Payback Period* (PBP) sebesar 14,2 tahun masih lebih singkat dibandingkan umur operasional proyek 80 tahun.

1. Net Present Value (NPV)

Hasil perhitungan menunjukkan nilai NPV sebesar USD 4.719.259.670. Berdasarkan kriteria evaluasi, suatu proyek dikatakan layak jika NPV > 0 [10]. Dengan demikian, FNPP secara finansial dinyatakan layak berdasarkan indikator NPV.

Nilai positif yang cukup besar ini juga menandakan bahwa proyek mampu menghasilkan penerimaan bersih setelah seluruh biaya investasi, operasi, dan pemeliharaan diperhitungkan [10]. Secara praktis, hasil ini menunjukkan bahwa FNPP tidak hanya mampu menutup seluruh pengeluaran modal, tetapi juga menghasilkan nilai tambah ekonomi selama masa operasionalnya.

2. Internal Rate of Return (IRR)

Perhitungan IRR menghasilkan nilai 6%, sedangkan tingkat pengembalian minimum (*Minimum Acceptable Rate of Return/MARR*) ditetapkan sebesar 8,28%. Karena $IRR < MARR$, maka proyek ini tidak memenuhi syarat kelayakan pada indikator IRR [10]. Implikasinya adalah tingkat pengembalian investasi dari FNPP berada di bawah standar keuntungan yang secara umum diharapkan oleh investor. Dengan kondisi ini, secara ketat FNPP sulit menarik investasi komersial murni tanpa adanya dukungan insentif tambahan [14]. Namun, dalam evaluasi proyek eksklusif, NPV sering dianggap sebagai indikator yang lebih andal dibandingkan IRR apabila nilai IRR tidak mendekati MARR [10].

3. Payback Period (PBP)

Hasil analisis menunjukkan bahwa periode pengembalian investasi FNPP adalah 14,2 tahun. Nilai ini masih jauh lebih singkat dibandingkan dengan umur operasional proyek yang mencapai 80 tahun [10]. Oleh karena itu, berdasarkan kriteria PBP, proyek ini layak karena modal yang ditanamkan dapat kembali jauh sebelum berakhirnya umur operasional. *Payback Period* yang relatif singkat ini mengindikasikan bahwa setelah melewati tahun ke-15, seluruh pendapatan yang diperoleh dari penjualan listrik dapat dikategorikan sebagai keuntungan bersih. Dengan umur proyek yang panjang, FNPP dapat memberikan arus kas positif dalam jangka waktu lebih dari enam dekade setelah modal kembali [10].

Analisis LCOE (*Levelized Cost of Energy*)

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa biaya produksi listrik FNPP berada pada kisaran Rp1.877/kWh. Nilai ini relatif tinggi apabila dibandingkan dengan pembangkit berbasis fosil maupun energi terbarukan skala besar di Indonesia [8], [12]. Oleh karena itu, diperlukan solusi komprehensif seperti pelayanan listrik yang stabil, paket tarif bulanan inklusif, sistem langganan tetap, atau kerja sama dengan Pemerintah Provinsi Maluku Utara untuk subsidi tarif [8]. Dalam evaluasi proyek eksklusif, NPV sering dianggap sebagai kriteria yang lebih andal daripada IRR ketika IRR tidak mendekati MARR, karena NPV fokus pada maksimalisasi kekayaan bersih [10].

KESIMPULAN

Rancangan *Floating Nuclear Power Plant* (FNPP) di perairan Halmahera, Maluku Utara dinilai layak sebagai opsi penyediaan energi di wilayah timur Indonesia. Kapasitas listrik 300 MW tidak hanya mencukupi kebutuhan provinsi tetapi juga menghasilkan surplus energi yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan sektor ekonomi daerah. Nilai NPV positif sebesar USD 4,7 miliar dan *Payback Period* 14,2 tahun menunjukkan kelayakan proyek. Meskipun IRR 6% berada di bawah MARR 8,28%, NPV dianggap lebih representatif untuk proyek infrastruktur jangka panjang. Tarif listrik sebesar Rp1.877/kWh tergolong masih relatif tinggi sehingga memerlukan dukungan kebijakan, seperti subsidi atau skema tarif khusus, agar tetap terjangkau. Secara keseluruhan, FNPP berpotensi menjadi solusi strategis dalam mengurangi ketimpangan energi, memperkuat ketahanan energi nasional, serta mendukung pencapaian SDGs 7 dan 9.

REFERENSI

- [1] A. Abdurrahman, *Kabupaten Halmahera Tengah Dalam Angka 2024*, 1st ed. Badan Pusat Statistik, 2024.
- [2] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, *Rekomendasi Kebijakan Pra Perizinan PLTN di Indonesia*. BAPETEN, 2023.
- [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.
- [4] International Atomic Energy Agency, *Advances in Small Modular Reactor Technology Developments*. Vienna, Austria: IAEA, 2020.
- [5] International Maritime Organization, *Future Guidelines for Floating Nuclear Power Plants*. London, U.K.: IMO, 2019.
- [6] International Maritime Organization, *International Code for the Safe Carriage of Packaged Irradiated Nuclear Fuel, Plutonium and High-Level Radioactive Waste on Board Ships (INF Code)*. London, U.K.: IMO, 2022.
- [7] I. Julian, "RI eyes floating nuclear power plants for eastern regions, targets first on-grid reactor by 2029," *Indonesia Business Post*, 2025.
- [8] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Konsumsi listrik masyarakat meningkat, tahun 2023 capai 1.285 kWh/kapita," 2024.



- [9] J. Liou, “What are small modular reactors (SMRs)?,” International Atomic Energy Agency, 2023.
- [10] I. N. Pujawan, *Ekonomi Teknik*, 2nd ed. Surabaya: Penerbit Guna Widya, 2010.
- [11] ThorCon Power, “ThorCon ajukan permohonan pembangunan PLTN pertama di Indonesia,” 2025.
- [12] International Atomic Energy Agency, *Small Modular Reactors: Advances in SMR Developments 2024*. Vienna, Austria: IAEA, 2024.
- [13] International Atomic Energy Agency, *Deployment of Floating Nuclear Power Plants: Benefits and Challenges*. Vienna, Austria: IAEA, 2025.
- [14] World Nuclear Association, *Facilitating Global Deployment of Floating Nuclear Power Plants*. London: World Nuclear Association, 2025.
- [15] World Nuclear Association, “Nuclear power in Indonesia,” *World Nuclear Association Information Library*, 2026.
- [16] Q. Wang, X. Li, Y. Zhang, and J. Liu, “The development of floating nuclear power platforms,” *Sustainability*, vol. 15, no. 4, art. no. 3022, 2023.
- [17] V. Röben, “Floating nuclear power plants under the law of the sea,” *The International Journal of Marine and Coastal Law*, vol. 40, no. 2, pp. 350–386, 2025.
- [18] American Bureau of Shipping, *Pathways to Low Carbon: Floating Nuclear Power Plants*. Houston, TX: ABS, 2024.
- [19] M. A. Dowling, “Class requirements for floating nuclear power plants,” in *Proc. IAEA Conference on Small Modular Reactors and Their Applications*, Vienna, Austria, 2024.
- [20] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, *Laporan Kinerja BAPETEN Tahun 2023*. Jakarta: BAPETEN, 2024.