# Strategi Implementasi Program PLTN Indonesia berbasis reaktor Maju dan SMR dalam Program NZE Indonesia

## Riset Internasional ITB

Sidik Permana [1], R Dadan Ramdan [2,3], Reza Nurrahman [1], Amna Y.M [1], Dikdik S.P [1,4], Indarta K.A [3,5], Masahiko Nakase [6], Yo Ishigaki[7].

[1] FMIPA ITB, [2] FTMD ITB, [3] PSTIN ITB, [4] BRIN, [5] PT Kakiatna, [6] IST Jepang, [7] UEC Jepang

## Abstract

Penelitian ini dengan judul Evaluasi Implementasi Program PLTN Indonesia berbasis reaktor Maju dan SMR dalam Program NZE Indonesia yangn akan menfokuskan pada evaluasi perencanaan, potensi dan implementasi pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) di Indonesia khususnya pada tipe teknologi reactor maju tipe reactor besar dan Small and Modular Reactors (SMR). Penelitian ini selain dilakukan di dalam negeri, akan melakukan kolaborasi dengan kolega luar negeri atau internasional dalam lingkup penelitian Internasional. Sebagai bagian dari roadmap industri nuklir, proses pengolahan dan pemurnian bahan bakar akan senantiasa beririsan dengan pengolahan bahan tanah jarang yang terkandung di Indonesia dan potensi ko-generasi PLTN. Kegiatan penelitian ini juga akan mengevaluasi pengembangan reaktor nuklir maju dan reaktor generasi ke-4 sebagai basis dengan analisa, pada analisa desain reaktor generasi ke-4 berdasarkan aspek 3S yaitu safety (keamanan), Security (keamanan) dan safeguard (Seifgard) berbasis pada bahan bakar uranium, thorium dan dan campuran bahan bakar lainnya serta beberapa tipe reactor nuklir. Penelitian ini dapat menjadi jembatan koordinasi antar lembaga yang berkaitan dengan pengembangan pemanfaatan teknologi Nuklir (stakeholders), bagi implementasi energi nuklir untuk mendukung kedaulatan energi khususnya program net zero emission (NZE) 2060 Indonesia

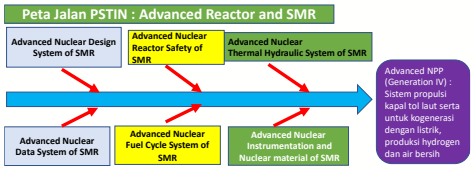
Keyword: PLTN, SMR, 3S, NZE, Stakeholder

## Introduction

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) telah mengumumkan sebuah peta jalan untuk program net zero CO2 emission 2060 yang memperlihatkan kebijakan dalam rangka memperkuat kontribusi energi baru dan terbarukan (EBT) dan secara bertahap EBT akan mendominasi dan saat bersamaan kontribusi energi fosil menurun secara bertahap juga sebelum tahun 2060 (katadata, 2021). Energi nuklir sebagai bagian dari EBT akan berkontribusi pada bauran energi nasional pada tahun 2040 (cnbcindonesia , 2021). Energi nuklir merupakan teknologi penghasil listrik yang paling aman yang diperlihatkan dari laju fatalitas diakibatkan dari operasional pembangkit listrik dibandingkan dengan energi fosil dan dapat dibandingkan dengan EBT (ourworldindata , 2021; Markandya, A., & Wilkinson, P., 2007). Dan saat bersamaan energi nuklir juga merupakan pembangkit listruk yang bersih dari emisi CO2 bersama EBT lainnya dan saat bersamaan juga paling rendah produksi gas rumah kaca lainnya dan polusi diantarnya ammonia, nitrogen dioksida dan PM2.5 (IPCC, 2014; WNA, 2011). Penelitian ini dengan judul Evaluasi Implementasi Program PLTN Indonesia berbasis reaktor Maju dan SMR dalam Program NZE Indonesia yangn akan menfokuskan pada evaluasi perencanaan, potensi dan implementasi pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) di Indonesia khususnya pada tipe teknologi reactor maju tipe reactor besar dan *Small and Modular Reactors* (SMR). Penelitian ini selain dilakukan di dalam negeri, akan melakukan kolaborasi dengan kolega luar negeri atau internasional dalam lingkup penelitian Internasional.

## Research Method

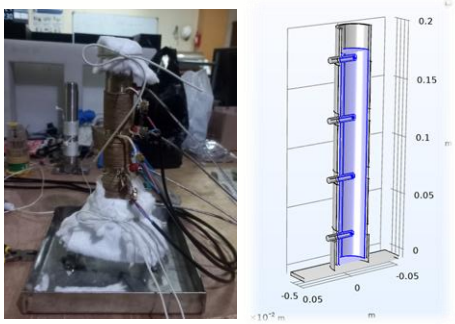
Penelitian secara lebih teknis akan diawali dengan desain awal beberapa reaktor standar yang secara komersial. Penelitian ini adalah bagian dari penelitian yang berkesinambungan kami yang akan menjadi bagian dari kontribusi pada program riset inovasi ITB bersama dengan peneliti lainnya serta para mahasiswa baik sarjana dan pasca sarjana. Kemudian peningkatan pada evaluasi serta kerjasama penelitian antar peneliti terkait bidang ini baik di level universitas maupun lembaga pemerintah baik dalam maupun luar negeri. Peta jalan penelitian PSTIN terkait Reaktor Nuklir Maju dan SMR diperlihatkan pada **Gambar 1** dengan target PLTN maju untuk Listrik dan Ko-generasi pembangkit. Dimulai dengan Desain reaktor nuklir, Keselamatan Reaktor, Termohidrolika, data nuklir, manajemen dan daur ulang bahan bakar nuklir sampai pada aspek instrumentasi dan material nuklir.




***Gambar 1**. Peta Jalan Penelitian PSTIN Terkait Advanced Reactor and SMR*

Pengembangan reaktor nuklir generasi IV, khususnya *Small Modular Reactor* (SMR) berbasis *Molten Salt Reactor* (MSR), memerlukan pemahaman mendalam mengenai dinamika termal fluida kerja pada berbagai kondisi operasional. Laboratorium ini telah membangun peta jalan riset yang sistematis, dimulai dari karakterisasi fundamental hingga rekayasa kendali termal tingkat lanjut. Sinergi antara studi fase transisi material dan validasi aparatus distribusi panas ini merupakan tulang punggung (*backbone*) bagi perancangan sistem loop garam cair yang lebih kompleks di masa depan.

Riset saat ini merupakan peningkatan (*advancement*) signifikan yang bergeser dari sekadar studi material menuju ke studi integritas sistem dan pemetaan termal spasial. Terdapat tiga aspek krusial yang membedakan sekaligus melengkapi riset tahap kedua ini seperti pada **Gambar 2.**




***Gambar 2** Aparatus transisi fasa garam dan diagram skematik fase pengembangan*

Diperlukan road map pengembangan nuklir sebagai salah satu produk luaran yang mudah-mudahan dapat menjadi referensi, juga produk naskah akademik berupa diktat maupun buku untuk kegiatan pendidikan dan penelitian khusunya terkait PLTN berbasis teknologi SMR

## Discussion & Result

The integration of Latour's Five Loops framework reveals that the feasibility of Nuclear Power Plants (NPP) in Indonesia in the 2026–2060 roadmap period is not only a function of reactor technology but also depends heavily on upstream up to the localization process. An integrated downstream scheme is needed, with the Rare Earth Metal (LTJ) commodity sales process cross subsidizing the full separation OPEX and the effectiveness of the nuclear fuel product localization process. This chain effect reduces fuel transfer prices to be lower, thereby stabilizing the Levelized Cost of Electricity (LCOE) of domestic SMR reactors lower in the range of USD 60–85/MWh. From the nuclear fuel product localization scenario, 20–30% savings are obtained from the front-end cost component of the full domestic scenario and 10–12% savings from the partial domestic scenario.

Safety system design in nuclear reactors has been advanced to ensure both the prevention of reactor failure and the autonomous reliability of the safety mechanisms. Active and passive safety system are limited by their component dependency, while inherited safety system only uses natural phenomenon. This research studied the correlation between cooling power and pipe diameter on a simulated reactor loop.

Establishing a robust pre-operational radiological baseline is essential for distinguishing pre-existing environmental variability from changes associated with future nuclear medicine operations. This study characterizes the ambient gamma-radiation field at a proposed medical cyclotron facility in South Cikarang, West Java, Indonesia.

## Conclusion

Consolidating financing alliances for mineral down streaming and resolving issues at the nodes of public representation, alliance consolidation, and nodes and links is imperative to realize the first core loading of a national reactor and to ensure that Indonesia's NPP program is implemented effectively and in a well-controlled manner.

These findings provide critical empirical validation for the scaling laws used in next-generation passive safety systems, demonstrating how structural geometries (such as flow channel diameters) directly influence natural circulation velocity and heat removal efficiency in advanced small modular reactors (SMRs).

The integrated measurement, uncertainty, statistical, and spatial-analysis framework provides a practical basis for long-term environmental surveillance and regulatory evaluation of medical cyclotron and related nuclear medicine facilities. The findings establish a site-specific pre-operational radiological baseline and demonstrate a transferable framework integrating measurement validation, uncertainty analysis, and spatial modelling for environmental surveillance around planned radiological facilities.

## Collaborations



Prof. Masahiko Nakase, TIT/IST, Tokyo



Prof. Yo Ishigaki, UEC, Tokyo