

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi memainkan peran penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan pembangunan infrastruktur, terutama di negara kepulauan seperti Indonesia. Seiring dengan pesatnya pertumbuhan populasi dan ekonomi, kebutuhan energi di Indonesia terus mengalami peningkatan (Al Hakim, 2020). Berdasarkan laporan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor: 28.Pers/04/SJI/2024 menunjukkan bahwa konsumsi listrik per kapita di Indonesia telah meningkat secara signifikan, dari 1.173 kWh pada tahun 2022 menjadi 1.285 kWh pada tahun 2023 (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2024). Kenaikan ini mencerminkan meningkatnya permintaan listrik di berbagai wilayah, namun distribusi listrik di seluruh Indonesia belum merata. Hal ini dapat dilihat di daerah-daerah perkotaan yang memiliki distribusi listrik merata sedangkan di kawasan Terdepan, Terluar, dan Tertinggal (3T) tidak demikian.

Wilayah 3T menghadapi tantangan besar dalam pemenuhan energi akibat keterbatasan infrastruktur dan ketergantungan tinggi terhadap distribusi bahan bakar fosil. Ketergantungan ini memperbesar risiko energi yang tidak berkelanjutan, di mana ketersediaan dari bahan bakar fosil semakin menipis (Suhaemi, 2018). Untuk itu, diperlukan peralihan menuju sumber energi alternatif yang bersih, andal, dan berkelanjutan. Energi nuklir, dengan efisiensi tinggi dan emisi karbon yang rendah, menjadi salah satu alternatif strategis untuk mempercepat pemerataan energi di Indonesia, khususnya di wilayah 3T (Krūmiņš & Kļaviņš, 2023).

Dalam upaya mengatasi ketimpangan distribusi energi serta ketergantungan bahan bakar fosil, teknologi *Micro Molten Salt Reactor* (MSR) menawarkan solusi yang sangat potensial. *Micro* MSR adalah reaktor modular kecil berbasis garam cair yang mengedepankan keselamatan pasif, umur siklus bahan bakar panjang, dan operasi pada

suhu tinggi dengan tekanan rendah (Mignacca & Locatelli, 2020; IAEA, 2021). Konsep modularitas dan kapasitas operasi skala kecil membuatnya sangat sesuai untuk daerah terpencil tanpa jaringan listrik besar. Selain itu, Micro MSR dirancang untuk dapat beroperasi lebih fleksibel dan minim intervensi dibandingkan reaktor konvensional (Wang et al., 2023a). Namun, penggunaan garam cair sebagai pendingin dan pelarut bahan bakar menghadirkan tantangan material, terutama dalam desain reflektor reaktor. Garam cair bersifat korosif, sehingga material reflektor harus dipilih dengan mempertimbangkan ketahanan terhadap korosi untuk menjamin keandalan dan keselamatan jangka panjang operasi reaktor.

Dalam pengembangan dan penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), salah satu strategi utama untuk mengendalikan kelebihan reaktivitas awal dan menjaga kestabilan operasi reaktor adalah penggunaan *Burnable Poison* (BP). *Burnable poison* dirancang untuk menyerap neutron di awal siklus bahan bakar, sehingga membantu mengendalikan fluktuasi reaktivitas sepanjang waktu (Wang et al., 2020). Pemilihan jenis material dan konsentrasi *burnable poison* yang tepat dapat mengoptimalkan performa neutronik dan memperpanjang umur operasional bahan bakar. Selain penggunaan *burnable poison*, pengendalian aktif reaktivitas melalui *control rod worth* juga menjadi faktor krusial untuk keselamatan operasional, terutama dalam menghadapi perubahan kondisi reaktor secara dinamis (Lamarsh & Baratta, 2001).

Sejalan dengan upaya untuk menyediakan solusi energi berkelanjutan di wilayah 3T, penelitian ini berfokus pada optimalisasi konfigurasi reflektor dan *burnable poison* dalam *Micro Molten Salt Reactor*. Evaluasi dilakukan terhadap parameter k_{eff} , *Temperature Coefficient Reactivity* (TCR), *Void Coefficient Reactivity* (VCR), reaktivitas *burnable poison*, serta reaktivitas *control rod*, dengan tujuan menghasilkan desain reaktor yang efisien, aman, dan sesuai untuk memenuhi kebutuhan energi berkelanjutan di daerah-daerah terpencil Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

- a. Bagaimana pengaruh variasi jenis dan ketebalan reflektor terhadap kritikalitas untuk menentukan konfigurasi reflektor optimal pada *micro molten salt reactor*?
- b. Bagaimana pengaruh variasi jenis material dan konsentrasi *burnable poison* terhadap kritikalitas, performa neutronik, dan keselamatan operasi pada *micro molten salt reactor*?
- c. Sejauh mana konfigurasi reflektor dan *burnable poison* yang dioptimalkan dapat memenuhi kriteria keselamatan operasi reaktor berdasarkan nilai reaktivitas *control rod*, *temperature coefficient reactivity*, dan *void coefficient reactivity* sehingga mendukung penerapan *micro molten salt reactor* sebagai sumber energi berkelanjutan wilayah 3T Indonesia?

1.3 Tujuan Penelitian

- a. Mengetahui pengaruh variasi tebal dan jenis material reflektor terhadap kritikalitas pada *micro molten salt reactor*.
- b. Mengetahui pengaruh variasi jenis material dan konsentrasi *burnable poison* terhadap kritikalitas, performa neutronik, dan keselamatan operasi pada *micro molten salt reactor*.
- c. Mengetahui konfigurasi reflektor dan *burnable poison* yang dioptimalkan dalam memenuhi kriteria keselamatan operasi reaktor berdasarkan nilai reaktivitas *control rod*, *temperature coefficient reactivity*, dan *void coefficient reactivity* untuk mendukung penerapan *micro molten salt reactor* sebagai sumber energi berkelanjutan wilayah 3T Indonesia

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Teoritis

Investigasi neutronik pada *Micro Molten Salt Reactor* (MSR) memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan pengetahuan

teoritis dalam bidang fisika nuklir. Studi ini meningkatkan pemahaman tentang interaksi neutronik dan koefisien reaktivitas yang esensial untuk desain dan operasi reaktor kecil dan modular. Penelitian ini juga memperluas pengetahuan mengenai efisiensi energi dalam reaktor nuklir, terutama dalam kondisi ekstrem seperti suhu tinggi dan tekanan atmosfer. Selain itu, penelitian ini mendukung pengembangan dan validasi model-model simulasi neutronik yang dapat digunakan untuk teknologi reaktor lainnya.

1.4.2 Manfaat Praktis

Penelitian ini memberikan solusi signifikan untuk memenuhi kebutuhan energi di kawasan Terdepan, Terluar, dan Tertinggal (3T) di Indonesia. Teknologi MSR, dengan efisiensi dan kemampuan modularnya, dapat menyediakan sumber energi yang andal di wilayah dengan infrastruktur terbatas. Hal ini membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, memperbaiki distribusi energi secara lebih merata, dan menawarkan alternatif energi yang berkelanjutan serta inklusif untuk kawasan yang sering mengalami kekurangan energi.