

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi nuklir yang dihasilkan dari sebuah reaktor fisi merupakan sumber energi yang menghasilkan energi listrik yang bersih tanpa emisi gas karbon. Kontribusi energi nuklir untuk pembangunan berkelanjutan tanpa efek gas rumah kaca dapat memenuhi kebutuhan energi dunia hingga lebih dari 50 tahun, terutama untuk negara-negara berkembang (Permana, 2020).

Pada tahun 2017, setidaknya telah ada 454 pembangkit listrik tenaga nuklir yang tersebar di 31 negara dan mensuplai lebih dari 10% kebutuhan listrik dunia. Tujuh puluh persen di antaranya dihasilkan oleh 5 negara dengan penghasil daya listrik tenaga nuklir terbesar, yakni USA, Prancis, China, Rusia dan Korea Selatan. Pada tahun 2018, setidaknya ada 98 unit reaktor nuklir dengan kapasitas total 99 GWe yang beroperasi di US. Sedangkan di Asia, China menjadi negara yang memperbesar kapasitas nuklirnya dengan cepat, menjadi 46 unit dengan kapasitas 43 GWe, melampaui Jepang (Ho et al., 2019).

Perkembangan reaktor nuklir sejak tahun 1950 hingga saat ini telah sampai pada generasi ke-empat. Generasi IV merupakan desain generasi reaktor yang disebut juga sebagai desain revolusioner karena desainnya tidak melanjutkan konsep dari Generasi III/III+ yang fokus pada pengembangan desain *Light Water Reactor* (LWR). Reaktor generasi IV mengusulkan 6 jenis macam desain reaktor, dengan salah satu diantaranya adalah *Molten Salt Reactor* (MSR). MSR telah dikembangkan dalam dua

tipe desain berdasarkan spektrum energi neutron yang digunakan, yaitu PB-AHTR (*Pebble Bed-Advanced High Temperature Reactor*) untuk spektrum termal dan MSFR (*Molten Salt Fast Reactor*) untuk spektrum cepat (Locatelli et al, 2013).

MSFR merupakan reaktor berbahan bakar cair, dimana bahan bakar terdispersi dalam garam cair. Pada MSFR, larutan garam tersebut berfungsi sebagai bahan bakar sekaligus pendingin (Allibert et al, 2016). MSFR memiliki beberapa keunggulan, diantaranya relatif lebih murah dan mudah untuk dibangun dan dioperasikan, siklus bahan bakar yang berkelanjutan (*sustainable*), manajemen limbah radioaktif yang mudah dan murah, dan ketika tercapainya *steady state* maka tidak diperlukan lagi fasilitas pengayaan uraniumnya (Siemer, 2015). Dibandingkan dengan reaktor bahan bakar padat, sistem MSFR membutuhkan persediaan fisil yang lebih rendah, tidak memerlukan fabrikasi untuk membuat bahan bakar padat, dan komposisi bahan bakar isotop homogen dalam reaktor. Karakteristik ini menjadikan MSFR memiliki kemampuan potensial unik untuk pembakaran aktinida dan memperluas sumber daya bahan bakar (Pioro, 2016).

Untuk menghasilkan desain reaktor dengan kinerja yang baik, perlu dilakukan beberapa tahapan analisis reaktor, yaitu analisis neutronik, analisis termal hidrolik dan analisis keselamatan. Analisis neutronik merupakan analisis tahap awal yang sangat penting karena aspek neutronik di dalam teras akan berpengaruh kepada aspek lainnya seperti termalhidrolik maupun penyusutan bahan bakar. Analisis neutronik meninjau beberapa parameter yang berhubungan dengan perilaku neutron di dalam teras reaktor, seperti kekritisan reaktor, distribusi fluks neutron dan distribusi daya. Perhitungan parameter-parameter neutronik akan bergantung secara sensitif terhadap parameter lain

seperti pengayaan bahan bakar, rasio moderator terhadap bahan bakar, geometri teras, lokasi dan tipe batang kendali dan desain bahan bakar (Duderstadt dan Hamilton, 1976).

Degtyarev (2015) telah melakukan analisis neutronik pada MSFR dengan daya 3200 MW. Penelitian ini membuka jalan bagi pengembangan MSFR dengan siklus bahan bakar U-Pu (uranium-plutonium). Di sisi lain, Hu et al. (2017) telah melakukan analisis neutronik sekaligus termal-hidrolik pada suatu desain konseptual MSFR yang disebut MOSART (*Molten Salt Actinide Recycler and Transmuter*) berdaya 2400 MWth.

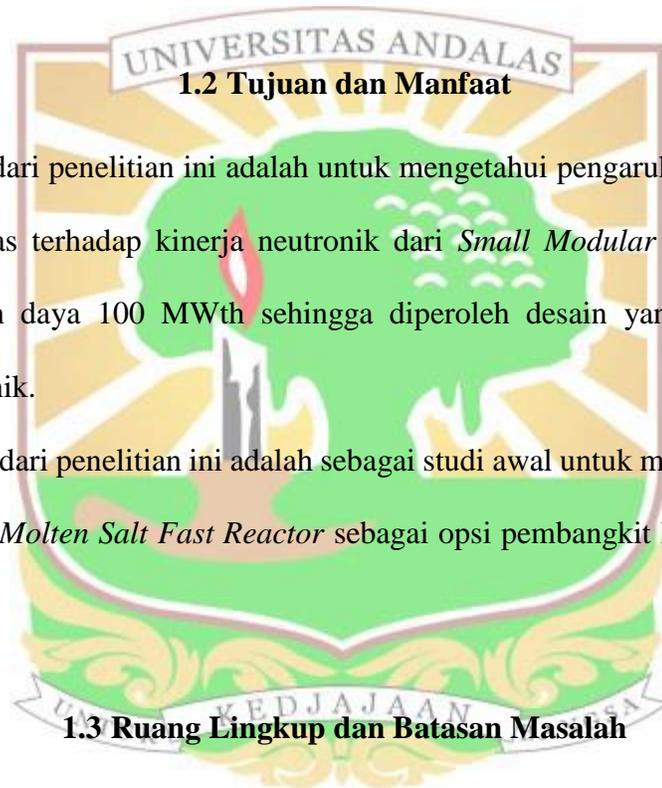
Perkasa (2018) telah melakukan analisis neutronik MSFR berdaya termal 3000 MWt dengan variasi konfigurasi bahan bakar dan didapatkan hasil bahwa konfigurasi penggunaan bakar Th + U-233 memiliki koefisien multiplikasi efektif yang lebih konstan sepanjang masa operasi reaktor.

Penelitian-penelitian mengenai analisis neutronik MSFR tersebut pada umumnya dilakukan pada MSFR dengan daya yang besar. Untuk menghemat biaya pembangunan reaktor, telah diperkenalkan konsep *Small Modular Reactor* (SMR). SMR adalah reaktor dengan daya kurang dari 300 MWe, yang bertujuan untuk menekan biaya pembangunan dan meningkatkan kualitas reaktor. SMR dikembangkan untuk performa reaktor cepat, pemakaian yang memenuhi standar keselamatan yang tinggi dan desain yang lebih sederhana. Hal ini menyebabkan SMR lebih terjangkau untuk banyak negara (Ho et al., 2019).

Dengan konsep SMR tersebut, desain MSFR dengan ukuran teras dan daya yang lebih kecil memiliki peluang yang besar untuk dikembangkan dan diterapkan di negara-

negara berkembang seperti Indonesia. Penelitian ini merupakan bagian dari langkah awal untuk mewujudkan hal tersebut.

Berdasarkan uraian sebelumnya, maka analisis neutronik terhadap reaktor nuklir jenis MSFR dengan konsep SMR berdaya 100 MWth perlu dilakukan. Pada penelitian ini, optimasi desain dilakukan untuk melihat pengaruh ukuran teras dan rasio H/D (*height/diameter*) terhadap parameter-parameter neutronik.



1.2 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh bentuk geometri dan ukuran teras terhadap kinerja neutronik dari *Small Modular Molten Salt Fast Reactor* dengan daya 100 MWth sehingga diperoleh desain yang optimal dalam tinjauan neutronik.

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai studi awal untuk mewujudkan desain *Small Modular Molten Salt Fast Reactor* sebagai opsi pembangkit listrik alternatif di Indonesia.

1.3 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

Penelitian ini akan dilakukan pada reaktor jenis *Molten Salt Fast Reactor* dengan daya 100 MWth dan bahan bakar $\text{LiF-ThF}_4\text{-}^{233}\text{UF}_4$ yang diasumsikan bersifat statis di dalam teras reaktor. Optimasi dilakukan terhadap ukuran dan rasio H/D (*height/diameter*) teras reaktor dengan total sebanyak 9 variasi.

Perhitungan secara numerik dilakukan dengan menggunakan kode *Standard Thermal Reactor Analysis Code System* (SRAC) yang dikembangkan oleh *Japan*

Atomic Energy Agency (JAEA). Parameter neutronik yang akan diamati dan dianalisis adalah faktor multiplikasi efektif, distribusi fluks neutron dan distribusi densitas daya di dalam teras reaktor berdasarkan masing-masing variasi ukuran dan rasio H/D teras.

