

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kecelakaan reaktor nuklir Fukushima Daiichi merupakan salah satu tragedi kecelakaan reaktor nuklir terbesar di dunia. Salah satu penyebab terjadinya kecelakaan ini adalah ledakan gas hidrogen yang diakibatkan oleh melelehnya selongsong berbahan zirkonium. Setelah terjadinya kecelakaan Fukushima Daiichi, penelitian mengenai *Accident Tolerant Fuel* (ATF) banyak dilakukan. *Accident Tolerant Fuel* (ATF) merupakan suatu teknologi bahan bakar yang dikembangkan untuk meningkatkan performa reaktor nuklir dalam kondisi operasi normal, meningkatkan tingkat keselamatan dan meminimalkan dampak kerusakan yang terjadi dalam skenario kecelakaan (Qiu dkk., 2020; Pino-Medina dan François, 2021; Liang dkk., 2022; Shirai dkk., 2023).

Pengembangan ATF tidak hanya berfokus pada bahan bakar yang digunakan, tetapi dapat pula dilakukan modifikasi pada seluruh komponen penyusun batang bahan bakar meliputi bahan bakar itu sendiri, selongsong, *blanket* serta dapat dilakukan penambahan *coating* (lapisan) jika diperlukan (Qiu dkk., 2020; Pino-Medina dan François, 2021; Liang dkk., 2022). Hingga kini, sebagian besar penelitian mengenai ATF lebih berfokus pada pengembangan material selongsong yang digunakan. Material selongsong dipilih berdasarkan ketahanan korosi, stabilitas termal serta dampak penggunaan material tersebut terhadap performa neutronik reaktor (Qiu dkk., 2020; Ramezani dan Aghaie, 2023).

Selama lebih dari enam dekade, material berbasis zirkonium telah banyak digunakan sebagai selongsong bahan bakar nuklir. (Pino-Medina dan François, 2021; Rebak, 2020). Namun, material ini diketahui dapat menimbulkan produksi hidrogen dalam jumlah yang cukup besar ketika bereaksi dengan air seperti yang terjadi dalam tragedi Fukushima Daiichi. Oleh karena itu, kriteria material selongsong kini mencakup pula tingkat produksi hidrogen yang rendah (Qiu dkk., 2020; Rebak 2020). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Cheng (2012), beberapa material seperti Al_2O_3 dan SiC menunjukkan performa yang menjanjikan

sebagai material selongsong alternatif pengganti zirkonium. Kedua material tersebut merupakan jenis material keramik yang memiliki ketahanan korosi yang tinggi serta minim produksi hidrogen (Cheng dkk., 2012). Stabilitas termal dari kedua material tersebut juga sangat baik, sehingga banyak digunakan dalam sistem bertemperatur tinggi (Qian dkk., 2024). Dari segi neutronik, Liang (2022) telah membuktikan bahwa penggunaan SiC sebagai selongsong bahan bakar nuklir dapat meningkatkan performa neutronik reaktor (Liang dkk., 2022). Sementara itu, Ramezani dan Aghie (2023) menyatakan bahwa penggunaan Al_2O_3 sebagai pelapis selongsong dapat mengoptimalkan stabilitas termal selongsong tanpa mempengaruhi performa neutronik reaktor (Ramezani dan Aghaie, 2023).

Sebagai upaya untuk mengetahui potensi kombinasi material Al_2O_3 dan SiC sebagai selongsong alternatif, pada penelitian ini akan dibuat suatu desain ATF dengan selongsong Al_2O_3 berlapis SiC. Salah satu cara untuk mengetahui dampak penggunaan suatu desain ATF terhadap performa neutronik suatu reaktor adalah dengan melakukan analisis neutronik. Analisis neutronik dilakukan untuk mengetahui karakteristik neutronik suatu reaktor (Rajagukguk dkk., 2022). Adapun parameter-parameter yang diamati dalam analisis neutronik meliputi parameter neutronik dasar yaitu faktor multiplikasi neutron, spektrum neutron, fraksi neutron tertunda, waktu pembangkitan neutron rerata dan *fuel burnup* yang dapat mengindikasikan efisiensi serta performa reaktor dalam kondisi operasi normal. Selain itu, dilakukan pula perhitungan koefisien reaktivitas. Parameter ini merupakan parameter neutronik yang mengindikasikan kinerja ATF dalam menghadapi kegagalan sistem pendingin (Assifa dkk., 2024). Sebagai perbandingan, pada penelitian ini dilakukan pula analisis neutronik pada reaktor dengan selongsong M5 yang merupakan bahan berbasis zirkonium serta selongsong Al_2O_3 tanpa lapisan SiC untuk mengetahui performa dari lapisan SiC.

Pada penelitian ini, perhitungan parameter neutronik dilakukan menggunakan simulasi berbasis metode Monte carlo (Arianto dkk., 2014; Pinta, 2024). Adapun perangkat lunak yang digunakan ada Monte Carlo N-Partikel (MCNP) yang merupakan salah satu perangkat lunak berbasis metode monte carlo yang dikenal mampu memodelkan dan mensimulasikan berbagai sistem kompleks

seperti reaktor nuklir (Lamproe dkk., 2023). MCNP juga dapat mensimulasikan kondisi kegagalan sistem pendingin, yakni kondisi ketika temperatur bahan bakar, temperatur moderator dan fraksi void lebih tinggi dari kondisi normal reaktor (Assifa dkk., 2024). Adapun jenis reaktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Pressurized Water Reactor* (PWR) NuScale yang merupakan salah satu reaktor dikembangkan oleh NuScale Power. NuScale Power merupakan suatu perusahaan pengembang reaktor nuklir dari Amerika Serikat. Reaktor NuScale dipilih karena kini NuScale Power diketahui tengah bekerja sama dengan BRIN dan PLN Indonesia dalam pembangunan reaktor berjenis PWR di Indonesia. Sehingga penelitian ini diharapkan mampu menjadi salah satu referensi untuk perkembangan teknologi nuklir di Indonesia.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menentukan karakteristik neutronik inti PWR menggunakan beberapa desain ATF yang berbeda.
2. Mengevaluasi kinerja ATF dengan selongsong Al_2O_3 dan lapisan SiC dalam kondisi kecelakaan kegagalan sistem pendingin dengan menggunakan simulasi MCNP.
3. Mengevaluasi efisiensi serta performa ATF dengan selongsong Al_2O_3 dan lapisan SiC dalam kondisi operasi normal.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu:

1. Penelitian ini dapat membantu dalam evaluasi potensi peningkatan efisiensi serta performa inti PWR.
2. Penelitian ini dapat menjadi salah satu referensi untuk perkembangan teknologi nuklir di Indonesia.
3. Penelitian ini dapat memperkuat Universitas Diponegoro sebagai universitas riset dalam bidang nuklir.