

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peralihan dalam pemanfaatan sumber energi fosil menjadi energi terbarukan merupakan fenomena yang tak terelakkan saat ini. Secara nasional, minyak bumi dan batu bara menempati peringkat tertinggi sumber energi yang paling banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan, salah satunya sebagai pembangkit listrik. Berdasarkan data RUPTL (Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik) PLN 2018-2027, kenaikan listrik rata-rata mencapai 6,7% per tahun. Sementara itu, energi fosil tidak dapat secara terus menerus dimanfaatkan mengingat konsekuensi peningkatan emisi karbon yang berdampak pada manusia dan lingkungan. Hal ini juga sejalan dengan semakin sulitnya ekstraksi bahan bakar fosil sehingga perolehan energi semakin kecil serta karakteristik energi fosil yang terbatas Brook et al. (2014). Sebagai solusi terhadap kondisi mendesak tersebut, salah satu alternatif sumber energi terbarukan yang dapat dipergunakan dan bersifat ramah lingkungan yaitu penggunaan teknologi energi nuklir.

Energi nuklir telah dikenal sebagai sumber energi dengan emisi karbon rendah. Pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) dapat lebih fleksibel dibandingkan dengan sumber batu bara dan gas karena dapat ditingkatkan dan diturunkan sesuaikan kebutuhan secara cepat untuk menyesuaikan permintaan dan mendukung integrasi pembangkit listrik dengan variabel terbarukan Bertel & Wilmer (2001). Di sisi lain, kecelakaan reaktor pada insiden Chernobyl (1986), Three Mile Island (1979), dan Fukushima (2011) mengakibatkan turunnya kepercayaan publik terhadap program energi nuklir Jin & Kim (2018). Sehingga, keselamatan dan pemahaman bagaimana kecelakaan terjadi menjadi salah satu aspek yang sangat penting dalam pengem-

bangunan teknologi nuklir.

Kecelakaan pada reaktor Fukushima Daichii (tipe Boiling Water Reactor generasi II) diakibatkan oleh gempa bumi berkekuatan 9 skala richter. Saat gempa terjadi dan terdeteksi pergerakan tanah, sistem secara otomatis menonaktifkan tiga reaktor yang masih beroperasi. Setelah dimatikan, reaktor tetap memerlukan pendinginan dengan generator cadangan yang terdapat di basement turbin reaktor mengingat bagian vessel yang masih menghasilkan panas. Setelah selang satu jam, gempa bumi ini mengakibatkan terjadinya tsunami dengan ketinggian 14-15 meter yang memporakporandakan bangunan reaktor sehingga menyebabkan terjadinya Station Blackout (SBO). *Emergency Core Cooling System* pada reaktor tidak beroperasi sehingga memicu kenaikan tekanan transfer panas pada teras reaktor tidak berjalan dengan baik dan mengakibatkan terjadinya ledakan van Tuyl (2016).

Setelah insiden Fukushima ini, aspek keselamatan reaktor semakin menjadi sorotan. Hal tersebut memberikan dampak pada keselamatan reaktor dengan dikembangkannya *Molten Salt Reactor* (MSR) yang dibekali dengan sistem *safety plug*. Ini memungkinkan reaktor tidak bergantung pada listrik, mengingat sistem reaktor Fukushima belum memiliki sistem kerja relokasi bahan bakar saat tidak tersedia pasokan listrik. Dalam hal ini ketika semua listrik akan padam dan reaktor tidak lagi didinginkan secara aktif, bahan bakar akan meninggalkan tangki dan mengalir ke tangki pengaman van Tuyl (2016). Ide ini berasal dari eksperimen MSR yang dilakukan oleh *Oak Ridge National Laboratory* (ORNL) pada tahun 1960-an karena katup mekanis yang terbukti andal dan cocok untuk aplikasi yang belum tersedia saat itu Richardson (1962).

MSR merupakan satu dari enam reaktor generasi IV yang dirancang untuk tingkat keamanan yang lebih tinggi serta penggunaan bahan bakar yang lebih efisien, berkelanjutan, dan ekonomis. Lima lainnya yaitu *Gas-cooled Fast Reactor* (GFR), *Lead cooled Fast Reactor* (LFR), *Supercritical Water cooled Reactor* (SCWR), *Sodium-cooled Fast Reactor* (SFR) dan *Very High Temperature Reactor* (VHTR) Locatelli et al. (2013). MSR adalah jenis reaktor fisi nuklir dengan pendingin utama dan bahan bakarnya sendiri merupakan campuran garam cair. MSR memiliki dua sub jenis utama. Pada sub jenis pertama, bahan fisi dilarutkan dalam garam cair. Pada sub jenis kedua, garam cair berfungsi sebagai pendingin bertekanan rendah ke inti bahan bakar partikel berlapis, mirip dengan yang digunakan pada *High-Temperature*

Reactor (HTR). Untuk membedakan jenis reaktor, varian bahan bakar padat biasanya disebut sebagai Fluoride salt-cooled High-temperature Reactor (FHR) (Forsberg, 2005). MSR beroperasi pada suhu yang jauh lebih tinggi (hingga 700-750 C) dibandingkan *Light Water Reactor* (LWR) dan beroperasi pada tekanan yang mendekati atmosfer. Garam cair menawarkan karakteristik yang menarik sebagai pendingin terutama kapasitas panas volumetriknya yang tinggi dan titik didihnya yang tinggi (Serp et al. (2014)).

MSR memiliki sistem keamanan dan jenis bahan bakar yang unik yaitu dengan adanya *safety plug* (sering disebut juga sebagai *freeze valve*) dan garam cair. Bahan bakar MSR akan mengalir menuju tangki pengaman saat suhunya telah mencapai kritis (saat dibutuhkan) dan akan melewati *freeze valve* yang akan meleleh karena panas peluruhan sebagai respon kecelakaan reaktor (kondisi kritis). Untuk mengembangkan tingkat keamanan MSR agar lebih optimal diperlukan banyak pengembangan pada desain reaktor tersebut (Marcus (2011)). Pada studi ini, fenomena aliran bahan bakar saat terjadi kecelakaan akan dikaji melalui simulasi dengan komputasi untuk mendapatkan gambaran terkait perilaku fluida garam cair dan geometri *freeze valve* yang cocok untuk desain MSR.

Simulasi komputasi yang dapat digunakan untuk mensimulasikan fenomena aliran fluida adalah dengan menggunakan metode Moving Particle Semi-implicit (MPS). Metode MPS adalah metode untuk menganalisis aliran permukaan bebas fluida non-kompresi, tanpa menggunakan grid, yang diperkenalkan oleh Koshizuka dan Oke. MPS termasuk ke dalam metode meshless dalam *framework* Lagrange, memiliki keunggulan dalam menangani permukaan bebas, menghitung fragmentasi fluida, koalesensi dan deformasi besar dibandingkan dengan metode numerik berbasis grid tradisional (Koshizuka & Oka (1996)). Metode ini mendiskritkan domain komputasi menjadi partikel yang membawa informasi posisi, kecepatan, dan tekanan, serta menghitung gerakan partikel menggunakan model interaksi partikel dalam sistem koordinat Lagrange. Metode MPS mengisi celah dalam metode berbasis grid tradisional dalam menghitung deformasi besar dan aliran multikomponen dan multifase. Dengan demikian, tujuan dari penelitian ini adalah menggunakan metode MPS dua dimensi sebagai langkah awal dalam memahami proses aliran bahan bakar pada *freeze valve* MSR. Simulasi dilakukan dengan memvariasikan tiga fluida dengan densitas kinematik dan viskositas yang berbeda, suhu fluida pada bahan bakar MSR, dan geometri *freeze valve*. Dengan penelitian ini diharapkan dapat memberikan

literatur untuk pengembangan desain MSR yang lebih ideal dengan aspek keselamatan yang mumpuni.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas, Penulis merumuskan beberapa masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana aliran bahan bakar fluida pada *freeze valve* MSR saat terjadi kecelakaan nuklir?
2. Bagaimana pengaruh jenis bahan bakar dengan karakteristik yang berbeda terhadap proses aliran fluida saat terjadi kecelakaan pada MSR?
3. Bagaimana pengaruh geometri freeze valve terhadap proses relokasi bahan bakar saat terjadi kecelakaan nuklir pada MSR?
4. Bagaimana pengaruh suhu bahan bakar MSR saat terjadi kecelakaan nuklir terhadap proses aliran fluida?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengkaji proses aliran bahan bakar pada *freeze valve* ketika terjadi kecelakaan nuklir pada MSR dengan menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan relokasi fluida menggunakan metode MPS dan divalidasi dengan eksperimen.

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis aliran bahan bakar fluida pada *freeze valve* MSR saat terjadi kecelakaan nuklir.
2. Menganalisis pengaruh jenis bahan bakar dengan karakteristik yang berbeda terhadap proses aliran fluida saat terjadi kecelakaan pada MSR.
3. Menganalisis pengaruh geometri freeze valve terhadap proses aliran bahan bakar saat terjadi kecelakaan nuklir pada MSR.
4. Menganalisis pengaruh suhu bahan bakar MSR saat terjadi kecelakaan nuklir terhadap proses aliran fluida.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, masalah-masalah ditinjau dengan beberapa batasan sebagai berikut.

1. Kajian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah mengenai proses aliran fluida pada *freeze valve* MSR saat terjadi kecelakaan nuklir.
2. Faktor yang dikaji dalam penelitian ini adalah pengaruh geometri *freeze valve* MSR serta jenis dan suhu bahan bakar terhadap proses aliran fluida saat terjadi kecelakaan nuklir.
3. Penelitian hanya dilakukan dengan analisis 2D (2 dimensi) pada MPS dan validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan eksperimen.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

Bab I: Pendahuluan

Bagian pendahuluan ini berisi latar belakang permasalahan topik yang Penulis jadikan sebuah penelitian dan studi pustaka terhadap penelitian-penelitian terkait topik yang pernah dilakukan. Selain itu juga berisi rumusan masalah dan tujuan dilakukan penelitian tersebut serta batasan masalah yang ditangani dan sistematika penulisan.

Bab II: Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi tentang teori-teori ilmiah yang mendasari topik yang dibahas seperti kecelakaan reaktor nuklir, Molten Salt Reactor (MSR), *freeze valve* pada MSR, dinamika dan proses relokasi fluida, serta teori matematis terkait dinamika fluida dan metode MPS.

Bab III: Metodologi Penelitian

Dalam bab ini dijelaskan secara rinci terkait metode MPS serta proses simulasi dan eksperimen yang dilakukan.

Bab IV: Hasil dan Pembahasan

Bab ini berisi tentang penjelasan hasil penelitian yang dilakukan yaitu berupa hasil simulasi dan analisis pada beberapa faktor pengujian serta proses validasi simulasi dengan eksperimen.

Bab V: Kesimpulan

Bab ini merupakan penutup dari proses penulisan laporan tugas akhir, yang berisi kesimpulan dan penjelasan terkait kekurangan dalam penelitian, dilengkapi dengan saran yang diajukan berkaitan dengan hasil penelitian tersebut untuk pengembangan penelitian yang lebih baik.

