

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini penelitian dan perkembangan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) telah mencapai tahap generasi IV yang merupakan pengembangan inovatif dari PLTN generasi sebelumnya. Dari satu generasi ke generasi berikutnya menunjukkan tingkat efisiensi, keselamatan, dan keamanan yang semakin baik (Mondjo, 2013).

Salah satu jenis reaktor generasi IV adalah *High Temperature Reactor* (HTR). HTR merupakan salah satu tipe reaktor nuklir yang menggunakan grafit sebagai moderator dan gas helium sebagai pendingin (juga disebut *High Gas-cooled Temperature Reactor*, HTGR). Salah satu kelebihan HTR adalah selain dapat digunakan sebagai pembangkit listrik juga dapat dimanfaatkan untuk proses produksi lainnya, misalnya untuk produksi hidrogen dan desalinasi air laut, sehingga sering disebut dengan reaktor nuklir ko-generasi. Hal tersebut disebabkan karena suhu pendingin yang dihasilkan cukup tinggi yaitu ~ 1223 K (Susilo dan Sembiring, 2017). Salah satu jenis HTR yang telah dioperasikan adalah HTR 10 dengan daya 10 MWt di *Institute of Nuclear Energy Technology* (INET), *Tsinghua University*, China. Suhu rerata helium *inlet* dan *outlet* pada HTR 10 adalah 250°C dan 700°C . HTR 10 mempunyai diameter teras 1,8 m dan ketinggian rata-rata teras adalah 1,97 m yang berisi sekitar 27.000 *pebbles* (Nagaya dkk, 2004). Bahan bakar HTR-10 berbentuk *pebble* yang di dalamnya berisi lapisan TRISO (*Tristructural Isotropic*). Partikel ini tertanam di dalam matriks grafit untuk membentuk elemen

bahan bakar. Matriks grafit berfungsi sebagai moderator dan juga memiliki karakteristik memindahkan panas dari inti secara konveksi (Nursyahid dkk, 2016).

HTGR memiliki dua tipe bahan bakar yaitu tipe prismatic dan tipe *pebble bed*. Pada tipe prismatic, sejumlah partikel TRISO terdispersi dalam elemen bakar silindris, dimasukkan ke dalam blok grafit berbentuk heksagonal. Sedangkan tipe *pebble bed*, partikel TRISO dengan jumlah tertentu didispersikan ke dalam bahan bakar *pebble* berbentuk bola. HTGR tipe *pebble bed* memiliki keunggulan dalam aspek strategi nasional dan tekno-ekonomi dibandingkan tipe prismatic (Alimah dkk, 2014). HTGR dengan bahan bakar jenis TRISO *pebble bed* memiliki bahan bakar bergerak, dimana dalam hal ini bahan bakar dimasukkan dari bagian atas teras reaktor dan secara acak akan turun ke bagian bawah teras hingga bahan bakar mencapai masa *burn up* akhir. Setelah itu, bahan bakar dikeluarkan dari bagian bawah teras reaktor. Jika bahan bakar belum mencapai masa akhir *burn up*, bahan bakar tersebut dapat disirkulasikan kembali ke bagian atas reaktor (Zuhair, 2012).

Pada saat ini, Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Indonesia sedang merencanakan akan membangun fasilitas penelitian reaktor nuklir yang dapat menghasilkan listrik yang diberi nama Reaktor Daya Eksperimental (RDE). Disain RDE mengadopsi tipe teras HTR 10 dengan perkiraan daya nominal 10 MWt berbahan bakar tipe *pebble bed*. Untuk itu, serangkaian penelitian telah dan sedang dilakukan untuk mendukung rencana tersebut dalam berbagai aspek.

Zuhair (2012) telah melakukan investigasi kriticalitas *High Temperature Reactor* (HTR) pada daya 600 MWt berbahan bakar jenis *pebble bed* dengan variasi radius dan *enrichment* bahan bakar. *Enrichment* bahan bakar adalah pengkayaan

isotop dalam bahan bakar. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin besar radius kernel menyebabkan nilai kritikalitas menurun, sedangkan semakin tinggi tingkat *enrichment* bahan bakar menyebabkan semakin tinggi nilai kritikalitas. *Enrichment* bahan bakar yang tinggi menyebabkan semakin meningkatnya nilai *discharge burn up* dan daya pada *pebble* itu sendiri, oleh karena itu tingkat *enrichment* bahan bakar juga perlu dipertimbangkan dalam desain teras reaktor.

Setiadipura dkk (2015) telah melakukan optimasi desain teras HTGR *pebble bed* pada siklus *Once Through Then Out* (OTTO). Bahan bakar pada penelitian ini dapat mencapai *discharge burn up* sebesar 131,1 MWd/kgHM dengan daya maksimum pada *pebble* tidak mencapai 4,5 kW. Angka 4,5 kW/*pebble* ini merupakan batas aman dari sebuah bahan bakar pada HTGR tipe *pebble bed*. Nilai *discharge burn up* adalah harga yang menunjukkan rata-rata dari burn up tertinggi pada masing-masing *channel* aliran.

Dalam desain teras reaktor juga harus memperhatikan aspek keselamatan, dan RDE (Reaktor Daya Eksperimental) telah dilengkapi dengan fitur keselamatan pendingin pasif. Setiadipura dkk (2018) telah melakukan kajian terhadap fitur keselamatan pendingin pasif RDE dalam kecelakaan terparah yaitu kecelakaan akibat hilangnya tekanan pada pendingin (*depressurized loss of forced cooling*, DLOFC). Pada jenis kecelakaan ini, tekanan pendingin reaktor turun secara signifikan akibat patahan pada saluran pendingin. Setelah terjadi DLOFC, temperatur bahan bakar terus meningkat hingga 974,9°C. Setelah 9,2 jam temperatur bahan bakar terus menurun. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa

jika kecelakaan DLOFC terjadi, temperatur puncak bahan bakar (*peak fuel temperature*) setelah DLOFC tidak melewati batas aman (1620°C), dengan demikian desain RDE 10 MWt memiliki fitur keselamatan yang baik.

Dalam upaya meningkatkan efisiensi dan lebih menguntungkan secara ekonomi, maka perlu dilakukan pengembangan terhadap RDE 10 MWt agar bisa menghasilkan daya yang lebih besar. Pada penelitian ini dirancang desain teras RDE dengan daya 30 MWt, Ukuran tinggi teras reaktor berpengaruh terhadap reaktivitas teras, semakin tinggi ukuran teras maka semakin besar reaktivitas terasnya. Ukuran teras yang semakin besar menyebabkan ruang gerak bagi inti untuk bereaksi fisi semakin luas sehingga reaksi fisi yang terjadi semakin meningkat dan menghasilkan neutron dengan jumlah yang lebih banyak (Utami dan Yulianti, 2013). Untuk itu, pada desain teras RDE daya 30 MWt perlu dilakukan optimasi ukuran teras terhadap aspek-aspek neutronik, antara lain nilai burn up, distribusi daya dan *fuel residence time* serta aspek keselamatan.

1.2. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah memperoleh ukuran geometri teras RDE 30 MWt yang optimal terhadap aspek-aspek neutronik yaitu *burn up*, distribusi daya, dan *fuel residence time* pada kondisi setimbang dan memiliki aspek keselamatan yang baik. Tercapainya tujuan penelitian ini, diharapkan dapat melengkapi informasi tentang desain RDE 30 MWt.

1.3. Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada reaktor jenis HTR dengan teras geometri silinder berbasis bahan bakar uranium (UO_2) yang beroperasi pada daya 30 MWt,

selanjutnya disebut Reactor Daya Experimental (RDE) 30 MWT. Pengamatan dilakukan terhadap aspek-aspek neutronik dan aspek keselamatan. Batasan-batasan desain teras adalah :

1. Nilai *discharge burnup* yang tidak kurang dari 90 MWd/kg-HM dan tidak melebihi 150 MWd/kg-HM.
2. Maksimum daya pada suatu bahan bakar tidak melebihi 4,5 kW.
3. Temperatur puncak bahan bakar setelah DLOFC tidak melewati batas aman yaitu 1620°C.

Perhitungan dilakukan secara simulasi menggunakan PEBBED6 *code* yang merupakan program binari yang dirilis oleh *Idaho National Laboratory* (INL) pada tahun 2015.

