

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) merupakan salah satu sumber energi listrik yang telah banyak digunakan di dunia dan hingga saat ini masih terus dikembangkan dengan berbagai inovasi untuk mencapai reaktor maju (*reactor advance*). PLTN mengkonversi energi dari reaktor nuklir menjadi sumber energi listrik. Energi nuklir dihasilkan melalui reaksi fisi berantai yang terkendali. Energi nuklir merupakan teknologi yang memanfaatkan bahan bakar dengan jumlah sedikit namun dapat menghasilkan energi lebih besar.

PLTN masih menjadi polemik yang menimbulkan pro-kontra di masyarakat Indonesia maupun di sebagian negara. Walaupun demikian, kecelakaan reaktor yang pernah terjadi di Chernobyl dan Fukushima menjadi salah satu pemicu pesatnya perkembangan teknologi reaktor. Saat ini penelitian dan perkembangan teknologi PLTN telah mencapai tahap generasi IV yang merupakan pengembangan dari PLTN generasi sebelumnya. Perkembangan PLTN dari satu generasi ke generasi, selalu menunjukkan tingkat efisiensi, keselamatan dan keamanan yang semakin baik. Keunggulan dari reaktor generasi IV meliputi aspek ekonomi yaitu pengurangan biaya pokok, aspek keamanan nuklir yang ditingkatkan, limbah nuklir diperkecil dan pengurangan lebih lanjut dalam resiko pembuatan senjata.

High Temperature-Gas Cooled Reactor (HTGR) merupakan salah satu kandidat reaktor nuklir generasi IV yang menawarkan keuntungan dalam produksi hidrogen dan ramah lingkungan karena tidak menghasilkan nitrogen oksida, sulfur dan karbondioksida yang mencemari lingkungan. HTGR didesain menggunakan

bahan bakar keramik dengan *inherent safety* (Syarifah dkk., 2015). *Inherent safety* pada HTGR didasarkan pada tingginya kapasitas termal grafit dalam teras untuk mentransfer panas ke permukaan luar reaktor dengan konduksi dan radiasi pada kondisi tidak adanya pendingin (Zuhair dkk., 2011).

Salah satu jenis HTGR adalah *Pebble Bed Reactor* (PBR) yang merupakan HTGR dengan bahan bakar jenis *Pebble Bed*, yaitu bahan bakar berlapis yang berada di dalam suatu *shell* berbentuk bola. Reaktor serupa telah dioperasikan di Cina sejak tahun 2003 dengan nama HTR-10. Reaktor ini dapat menghasilkan daya termal sebesar 10 MW. Selain itu, Cina juga mengoperasikan HTGR komersial pertama di dunia, yaitu *High Temperature Reactor Pebble Modular* (HTR-PM). HTR-PM memiliki daya sebesar 250 MWt, dengan geometri teras reaktor yang besar. Ketinggian teras HTR-PM mencapai 11 meter dan diameter teras sebesar 3 meter.

Setiadipura dkk (2015), melakukan penelitian yang bertujuan untuk mendesain HTGR dengan nilai *burnup* tinggi menggunakan siklus *Once Through Then Out* (OTTO) dan menghasilkan daya 200 MWt. Dari hasil penelitian tersebut bahwa bahan bakar mampu mencapai *burnup* sebesar 131,1 MWd/kg-HM dengan daya maksimum per-*pebble* tidak melewati 4,5 kW. Nilai 4,5 kW/*pebble* merupakan batas selamat dari sebuah bahan bakar pada HTGR *pebble bed*.

Penelitian Zuhair dkk (2017) tentang optimasi teras HTR *pebble bed* dengan menggunakan bahan bakar Plutonium Oksida dan daya 25-100 MWt, menyimpulkan bahwa rasio *Height/Diameter* (H/D) yang rendah dan *heavy metal* bahan bakar yang tinggi adalah opsi paling ideal untuk HTR *pebble bed* dari sudut

pandang ekonomi neutron. Indratoro dkk (2016) melakukan penelitian tentang reaktor berbasis HTR-PM minimalis yaitu ketinggian dan radius teras sebesar 1,5 meter dan 6,63 meter dengan daya 150 MWt. Berdasarkan hasil penelitian tersebut radius 1,5 meter merupakan batas selamat dari HTGR. Ketika radius HTGR diperbesar melebihi 1,5 meter maka panas di dalam teras akan sulit untuk mengalir keluar teras dan mengakibatkan menurunnya faktor keselamatan.

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 Cooled*, DLOFC). Pada jenis kecelakaan ini, tekanan pendingin reaktor turun secara signifikan akibat patahan pada saluran pendingin. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa jika kecelakaan DLOFC terjadi, temperatur puncak bahan bakar setelah DLOFC tidak melewati batas aman (1620 °C).

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan mengenai desain HTGR, reaktor ini merupakan reaktor yang berpotensi untuk dikembangkan dan digunakan sebagai pembangkit listrik di Indonesia. Desain HTGR yang paling optimal masih terus disempurnakan sehingga serangkaian penelitian perlu dilakukan agar reaktor dapat menghasilkan daya yang besar dengan kinerja neutronik dan keselamatan yang baik. HTR-PM menjadi acuan desain reaktor pada penelitian ini. Penelitian yang akan dilakukan pada PBR yaitu meningkatkan daya dari 250 MWt hingga 300 MWt. Daya yang lebih besar diharapkan dapat mengalirkan listrik untuk cakupan luas daerah yang lebih besar. Pada setiap kenaikan daya perlu diperhatikan aspek-aspek neutronik lainnya diantaranya nilai

burnup dan distribusi daya serta aspek keselamatannya. Hal ini dilakukan untuk menjamin bahwa kondisi kesetimbangan teras tetap terjaga sehingga keselamatan reaktor tetap aman dengan daya yang besar.

1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah memperoleh desain reaktor PBR yang memiliki daya 300 MWt dengan aspek neutronik dan aspek keselamatan yang baik. Diharapkan penelitian ini juga dapat bermanfaat untuk melengkapi informasi mengenai desain PBR.

1.3 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

Referensi reaktor untuk penelitian ini adalah HTR-PM (*High Temperature Reactor-Pebble Modular*) dengan melakukan *upgrade* daya dari 250 MWt hingga 300 MWt. Untuk memperoleh kinerja teras yang paling baik, maka pada penelitian ini juga akan dilakukan pengaturan variasi *enrichment*, variasi *heavy metal* (HM) *loading* dan variasi H/D. Desain reaktor yang diinginkan yaitu mempunyai analisis kecelakaan setelah DLOFC adalah 1620 °C. Analisis neutronik yang diinginkan yaitu mendapat nilai *burnup* yang maksimal dan *power density* yang optimal. Perhitungan dilakukan menggunakan PEBBED6 *code* yang merupakan program binari yang dirilis oleh *Idaho National Laboratory* (INL) pada tahun 2015.