BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Indonesia khususnya lembaga Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir Badan Tenaga Nuklir Nasional (PTKRN-BATAN) sedang melaksanakan pembangunan dan desain Reaktor Daya Eksperimental (RDE). RDE merupakan jenis reaktor daya non-komersial berdaya 10 MW. RDE adalah jenis reaktor *pebble bed High Temperature Gas Reactor* (HTGR) *modular* dengan bahan bakar berbentuk bola. Pekerjaan desain reaktor RDE bertujuan untuk membangun kemampuan SDM dalam pembuatan desain Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) tipe HTGR dan demonstrasi keselamatan operasi yang sangat potensial dibangun di Indonesia, dan meningkatkan kemampuan penguasaan teknologi PLTN untuk penyebaran listrik yang besar di masa depan.

Untuk mendukung pembangunan RDE, PTKRN-BATAN melakukan Kajian tentang pemanfaatan *High Temperature Gas Reactor* (HTGR) bagi program industrialisasi kedepan, khususnya dalam aplikasi proses panas, kogenerasi listrik dan proses uap, dan pembangkitan listrik untuk pulau terpencil. Reaktor tipe HTR *modular* menjadi pilihan dengan pertimbangan akan mengurangi waktu kontruksi dan biaya. Sesuai dengan kondisi geografis kepulauan di Indonesia yang sulit digabungkan dalam satu jaringan listrik besar. Sehingga kebutuhan listriknya kecil dan terpisah. Khususnya, untuk memenuhi kebutuhan pulau-pulau yang jauh dari

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
SUNAN GUNUNG DJATI
BANDUNG

sumber energi yang terkendala karena tingginya biaya transportasi dan manajemen bahan bakar.

Dalam proses perancangan reaktor nuklir ada beberapa analisis yang dilakukan seperti analisis neutronik, analisis termohidraulika/termal, analisis termodinamika, dan sebagainya. Termohidraulika berkaitan dengan pembangkitan dan konduksi panas dalam bahan bakar nuklir, konsep perpindahan panas dan perpindahan momentum pada sistem aliran satu fase dan dua fase.

Dalam analisis termohidraulika, sistem perpindahan panas dari bahan bakar nuklir ke pendingin merupakan kunci utama keselamatan reaktor nuklir. Sistem pengambilan panas yang buruk akan mengancam integritas bahan bakar yang selanjutnya, dan dapat berdampak pada pelepasan zat radioaktif ke lingkungan secara tidak terkendali sehingga membahayakan keselamatan pekerja reaktor, masyarakat umum, dan lingkungan hidup. Fenomena yang terjadi dalam aliran konveksi termasuk kedalam turbulen atau laminar juga mempengaruhi koefisien perpindahan panas tersebut.

Bola bahan bakar terdistribusi secara acak di dalam teras reaktor, sehinga tidak memungkinkan untuk menempatkan alat ukur temperatur dan tekanan pada bola bahan bakar, karena secara kontinu bola bahan bakar terus bergerak dari atas ke bawah, seiring dengan pola manajemen bahan bakar reaktor. Dengan demikian tidak mungkin mendapatkan data distribusi temperatur bahan bakar dan aliran pendingin dengan akurat menggunakan metode pengukuran langsung secara eksperimental.

Kompleksitas desain aliran termal dari sistem konversi daya HTGR membutuhkan berbagai penggunaan teknik analisis dan alat simulasi. Sistem dinamik simulasi kode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) telah dikembangkan yang memungkinkan pengguna untuk melakukan analisis secara rinci dan desain aliran termal yang kompleks. Kode CFD mampu menentukan distribusi tekanan, laju aliran massa dan temperatur melewati sistem aliran termal yang berubah-ubah. Sistem aliran termal disimulasikan dengan memecahkan persamaan konservasi massa, momentum dan energi.

Telah dilakukan penelitian simulasi CFD tentang analisis aliran termal pada kisi bola bahan bakar teras Reaktor Gas Temperatur Tinggi 200 MWe (RGTT200K), dengan memodelkan dinamika fluida pendingin dan bahan bakar model susunan bahan bakar *Simple Cubic* (SC) dan perpindahan panas kombinasi tiga moda, yaitu konduksi, konveksi dan radiasi, serta mempertimbangkan adanya turbulen aliran gas (Purwadi, 2012). Model *Discret Ordinate* dan *Reynolds-Averaged Navier-Stokes* (RANS) masing-masing digunakan dalam perhitungan perpindahan panas radiasi dan turbulensi. Dari distribusi temperatur bola bahan bakar hasil pemodelan CFD dengan aliran turbulen pada pendinginnya diketahui bahwa temperatur maksimum bahan bakar bola mencapai 1.036,1°C. Temperatur setinggi ini masih jauh dari temperatur yang dapat menyebabkan kegagalan pengungkungan produksi fisi.

Sebelumnya pernah dilakukan penelitian mengenai aliran turbulen yang disebabkan perpindahan panas di teras *Pebble Bed Modular Reactor* (PBMR) Menggunakan model *Large Eddy Simulation* (LES) dan *Reynold Avereged Navier*

Stokes (RANS), dimana geometri teras PBMR dimodelkan dengan struktur *Body Centered Cubic* (BCC) dan *Face Centered Cubic* (FCC) (Jung-Jae LEE, 2007). Kedua geometri hasil LES dan RANS dibandingkan, dan dihasilkan penurunan tekanan yang besar, medan aliran lebih acak, kecepatan *magnitude* lebih besar dan temperatur tinggi dipermukaan *pebble* ditemukan dalam hasil LES dibandingkan hasil RANS. Dalam kasus LES struktur aliran diselesaikan sampai skala grid. Distribusi aliran dan perpindahan panas dalam teras model susunan BCC tidak beraturan dibandingkan model susunan FCC. Sifat turbulen dari aliran pendingin dalam teras berbahan bakar bola sangat mempengaruhi distribusi temperatur permukaan bahan bakar.

Penelitian analisis termohidraulika *Pebble Bed Water-cooled Reactor* (PBWR) dengan perbedaan diameter (3 mm dan 6 mm) bahan bakar *pebble* pada model susunan BCC menggunakan simulasi CFD telah dilakukan oleh China (Hua Li, 2012). Dengan membandingkan hasil perhitungan kedua diameter dihasilkan bahwa dengan peningkatan diameter, distribusi temperatur meningkat dan penurunan tekanan pendingin menurun, sedangkan gangguan aliran meningkat. Secara umum, gangguan lebih kecil dan penurunan tekanan pendingin bermanfaat untuk operasi reaktor yang aman untuk desain konseptual dan keselamatan operasi PBWR.

Selanjutnya penelitian mengenai efek model susunan BCC dan FCC terhadap karakteristik aliran dan transfer panas pada *pebble* menggunakan metode CFD (Ferng, 2013). Menyatakan bahwa karakteristik termohidraulika *pebble bed* dengan model susunan BCC dan FCC dapat dihitung oleh CFD. karena susunan

FCC lebih rapat dari BCC, sehingga kemampuan transfer panas lebih tinggi dan temperatur permukaan lebih rendah pada susunan FCC.

Dan penelitian terbaru tentang dampak model turbulen pada temperatur dan kecepatan pendingin untuk *high temperature reactor* tipe *pebble-bed* menggunakan model laminar dan model turbulen seperti k-epsilon $(k-\epsilon)$, k-omega $(k-\omega)$ dan *Reynold Stress Model* (RSM) (Subekti, 2016). Dari semua model kemudian dibandingkan dan hasilnya menunjukkan bahwa hasil perhitungan temperatur $k-\epsilon$ dan distribusi aliran pendingin mendekati hasil perhitungan RSM. Perbandingan pada arah axial dan horizontal menghasilkan perhitungan yang hampir sama, sehingga semua model dapat digunakan dalam perhitungan CFD. Dengan mempertimbangkan stabilitas numerik dan waktu komputasi sampai mendekati RSM, sehingga digunakan model $k-\epsilon$ untuk teras HTR-10.

Berdasarkan uraian diatas, pemodelan analisis termohidraulika teras reaktor jenis *pebble bed* HTGR menggunakan metode CFD dengan berbagai model turbulen telah banyak dilakukan. Dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan menyatakan bahwa hal yang paling penting dalam aspek keselamatan reaktor nuklir adalah sistem perpindahan panas dari bahan bakar ke aliran pendingin. Selain itu juga dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti model susunan bahan bakar dan model turbulen yang digunakan dalam memodelkan aliran termohidraulika teras reaktor.

Sehingga dalam penelitian ini, untuk mempelajari desain panas dan aliran, serta menghitung distribusi kecepatan aliran pendingin dilakukan metode simulasi numerik menggunakan CFD dengan beberapa pendekatan seperti model susunan

bola bahan bakar SC, BCC, dan FCC, serta medium berpori teras reaktor RDE dengan model turbulen $k - \epsilon$ menggunakan perangkat lunak FLUENT.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latarbelakang yang telah diuraikan diatas maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana desain termal dan aliran pendingin teras reaktor RDE dengan menggunakan perangkat lunak FLUENT?
2. Bagaimana distribusi kecepatan aliran pendingin yang melalui model susunan bahan bakar SC, BCC, FCC, dan teras reaktor RDE?

1.3. Pembatasan Masalah

Tugas akhir ini akan difokuskan pada mekanisme perpindahan panas aliran pendingin berdasarkan model susunan bahan bakar SC, BCC, FCC, dan media berpori teras reaktor RDE yang meliputi perhitungan distribusi temperatur, kecepatan aliran pendingin menggunakan model turbulen $k - \epsilon$.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mempelajari desain termal dan aliran pendingin teras reaktor RDE dengan menggunakan perangkat lunak FLUENT.
2. Mengetahui distribusi kecepatan aliran pendingin yang melalui model susunan bahan bakar SC, BCC, FCC, dan teras reaktor RDE.

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
SUNAN GUNUNG DJATI
BANDUNG

1.5. Metode Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini digunakan tiga metode pengumpulan data, yaitu:

1. Studi Literatur yaitu metode pengumpulan data penelitian dengan mengumpulkan informasi materi yang berhubungan dengan penelitian. Beberapa jurnal nasional dan internasional, laporan, buku tentang termohidraulika teras reaktor, dan skripsi orang lain digunakan sebagai referensi.
2. Kajian model menggunakan perhitunan CFD, yaitu mengkaji literatur berbasis perhitungan CFD, diantaranya model turbulen, seperti *k-epsilon* $(k-\epsilon)$, *k-omega* $(k-\omega)$ dan *Reynold Stress Model* (RSM). Perhitungan berbasis *pressure based* dan Mengkaji *mesh* (*trial by error*), agar mendapat ukuran *mesh* yang stabil sehingga bisa digunakan dalam simulasi hasil perhitungan CFD.
3. Pemodelan komputasi, untuk mendapatkan desain panas dan aliran pendingin pada model susunan bahan bakar dan media berpori teras reaktor RDE maka diperlukan pemodelan dan proses perhitungan simulasi numerik *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan perangkat lunak GAMBIT dan FLUENT. Pemodelan dilakukan di GAMBIT dan perhitungan dilakukan di FLUENT.

1.6. Sistematika Penulisan

Pembahasan Pokok dari penelitian ini untuk setiap bab diuraikan secara singkat sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan, mendeskripsikan latar belakang yang menunjang analisis aliran pendingin teras reaktor RDE, rumusan masalah, tujuan, metode pengumpulan data dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan pustaka berisi tentang sejarah *High Temperature Gas-coole Reactor* (HTGR), berkembangnya HTR-*module*, dan Karakteristik HTR-10 dan teori-teori penunjang yang berhubungan dengan penelitian seperit parameter desain teras reaktor RDE dan simulasi CFD.

BAB III Metode Penelitian berisi tentang tahap penelitian secara lengkap meliputi, tahap optimalisasi mesh, pemodelan susunan bahan bakar dan media berpori teras reaktor RDE skala global, penentuan kondisi batas dan perhitungan menggunakan CFD.

BAB IV Hasil dan Pembahasan berisi tentang hasil dari simulasi perhitungan aliran termal susunan bola bahan bakar teras RDE meliputi distribusi temperatur, kecepatan aliran serta penurunan tekanan pada aliran pendingin dengan model susunan bahan bakar SC, BCC, dan FCC, serta media berpori teras reaktor RDE skala global menggunakan perangkat lunak FLUENT dengan pembahasan dan analisisnya.

BAB V Penutup berisi kesimpulan dari hasil penelitian serta saran untuk pengembangan selanjutnya.

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
SUNAN GUNUNG DJATI
BANDUNG