

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan utama dalam kehidupan manusia. Seluruh aktivitas manusia tidak terlepas dari kebutuhan energi. Meningkatnya populasi manusia berdampak pada kebutuhan energi dunia yang terus mengalami peningkatan. Sebagian besar atau sekitar 80% pasokan energi dunia berasal dari bahan bakar fosil. Setiap tahun pertumbuhan permintaan energi semakin meningkat sementara persediaan bahan bakar fosil sudah semakin berkurang dan permasalahan lain yang timbul dari penggunaan bahan bakar ini adalah semakin meningkatnya emisi gas karbon (ESDM, 2015). Oleh karena itu dibutuhkan alternatif pasokan energi yaitu efisien dan efektif baik dari segi biaya maupun dari keamanan dan ramah lingkungan.

Energi nuklir termasuk salah satu jenis sumber energi baru yang terbukti memiliki kriteria tersebut dan berpotensi untuk menggantikan peran utama sebagai pemasok energi. Dari beberapa jenis reaktor, High Temperature Gas – Cooled Reactor (HTGR) dengan teras *pebble bed* merupakan reaktor yang memiliki fasilitas keselamatan melekat atau dikenal sebagai *inherent safety*. Ini tentu merupakan penawaran yang sangat menarik untuk dikembangkan (Zuhair, 2012).

Dalam pengembangan desain reaktor nuklir banyak parameter yang harus diperhatikan, terutama parameter keselamatan. Salah satu standar yang direkomendasikan oleh *International Agency Energy Atomic* (IAEA) adalah analisis teras, yang meliputi daya teras, temperatur inlet teras, temperatur cladding elemen bahan bakar, sistem tekanan reaktor, aliran teras, distribusi daya aksial-radial dan faktor kanal panas, faktor puncak daya, reaktivitas lebih, kinetika reaktor,

dan lain-lain (Yehia & Boogaard, 2012). Kinetika reaktor atau parameter kinetik merupakan konsekuensi dari reaksi fisi yang bergantung terhadap waktu.

Produksi neutron bebas  $2n$ ,  $3n$  atau lebih terjadi akibat reaksi fisi berantai (Spoor, 2012). Neutron bebas yang terpancar dalam reaksi fisi terlihat seperti terjadi secara spontan, namun faktanya tidak semua neutron berfisi dalam waktu bersamaan (Lamarsh & Baratta, 1982). Hal ini akan menyebabkan terjadinya reaktivitas lebih, sehingga perhitungan parameter kinetik sangat penting dilakukan karena menyangkut keselamatan dan kendali reaktor. Khususnya jika terjadi transien dan ekskursi daya diperlukan perhitungan parameter kinetik yang akurat (Tukiran, Pinem, & Sembiring, 2013).

Parameter kinetik sangat bergantung pada jumlah bahan bakar dalam reaktor, pengakayaan  $^{235}\text{U}$ , konfigurasi dan pustaka data nuklir yang digunakan dalam perhitungan. Parameter ini selalu disediakan oleh manufaktur dalam tahap desain dan tidak berlaku untuk jenis teras yang berbeda, sehingga perhitungan parameter kinetik harus dilakukan untuk setiap reaktor nuklir yang berbeda (Snoj, Kavcic, Zerovnik, & Ravnik, 2010).

Perhitungan parameter kinetik pada reaktor nuklir memiliki peran yang penting dalam analisis keselamatan, namun perhitungan dan pengukuran parameter ini sangat sulit dilakukan. Terdapat beberapa program komputer yang berdasarkan pada teori perturbasi dan metode perhitungan khusus seperti program WIMS, SRAC, MTR\_PC dan MCNP (Hosseini, Vosoughi, Ghofran, & Gharib, 2010). MCNP melakukan simulasi partikel secara acak dan memperhitungkan setiap interaksinya yang secara umum dikenal dengan metode probabilitas. Dalam penelitian perhitungan fraksi neutron kasip efektif menggunakan teknik Monte Carlo, dengan dimodelkan sistem teras *light water reactor* (LWR) dan bahan bakar uranium dimodelkan secara homogen. Beberapa metode perhitungan yang digunakan yaitu metode

spriggs, metode prompt dan metode baru. Metode baru yaitu menggenerasi interaksi neutron dari lahir hingga mati termasuk kemudian fraksi neutron kasip efektif diperoleh dengan membagi rata jumlah fisi yang digenerasi oleh semua neutron. Beberapa pustaka data nuklir yang dapat digunakan seperti JEFF-3.0, ENDF-B/VI.8, dan JENDL-3.3. Semua metode yang digunakan menunjukkan hasil yang baik (Marck & Meulekamp, 2004). Metode baru menunjukkan hasil yang sesuai dengan data eksperimen untuk sistem heterogen. Metode prompt membutuhkan waktu komputasi 40 kali lebih cepat sedangkan metode spriggs tidak menunjukan hasil yang baik untuk sistem homogen karena penambahan beberapa pendekatan. Pustaka data nuklir JENDL-3.3 menunjukkan hasil terbaik dalam perhitungan fraksi neutron kasip efektif.

Perhitungan fraksi neutron kasip efektif dalam reaktor percobaan VR-1 dengan MCNP5 dilakukan dengan memodelkan geometri teras penuh secara presisi. Dalam eksperimen dua batang kendali berada pada posisi berbeda, yaitu R1 berada di atas teras dan R2 berada di bawah teras (Michalek, Hascik, & Farkas, 2008). Hasil simulasi dengan metode prompt memperlihatkan nilai fraksi neutron kasip efektif  $0,007869 \pm 0,00168$  lebih besar 10% dari nilai yang digunakan operator VR-1 yaitu 0,00714. Perbedaan terjadi karena ketidak tentuan metode yang digunakan (Michalek, Hascik, & Farkas, 2008).

Perhitungan parameter kinetik untuk teras *mixed* TRIGA dan teras hipotesis menggunakan program Monte Carlo. Dilakukan dengan memodelkan geometri teras TRIGA Mark-II secara presisi dengan perbedaan jenis pemuatan bahan bakar. Simulasi dengan MCNP5 menggunakan pustaka data nuklir ENDF/B-VII. Waktu generasi neutron rerata sangat bergantung terhadap jenis bahan bakar dan kurang berpengaruh terhadap ukuran teras. Fraksi neutron kasip efektif sangat bergantung terhadap ukuran teras dan kurang bergantung terhadap jenis bahan bakar (Snoj, Kavcic, Zerovnik, & Ravnik, 2010). Rasio fraksi neutron kasip efektif

dan waktu generasi neutron rerata hasil perhitungan dengan eksperimen cukup baik. mengingat eksperimen mempunyai ketidakpastian. Rasio ini diindikasikan oleh pustaka data nuklir ENDF/B-VII yang lebih tepat daripada ENDF/B-VI.8. Nilai perhitungan parameter kinetik relatif berbeda terhadap reaktor satu dengan lainnya sehingga sangat penting untuk mempertimbangkan geometri teras dan komponen reaktor lainnya untuk menjamin keamanan dan efisiensi kinerja reaktor.

Perhitungan fraksi neutron kasip efektif reaktor IPR-R1 TRIGA menggunakan program transport Monte Carlo MCNP5 dikerjakan dengan persamaan batang kendali jatuh bebas (rod drop) dan persamaan per jam (inhour equation). Teras reaktor dimodelkan secara detail, tiga konfigurasi teras disimulasikan dengan model pertama dan kedua dalam kondisi awal siklus (beginning of life, BOL) dimana 56 elemen bahan bakar dimanfaatkan. Model ketiga memanfaatkan 63 elemen bahan bakar (Mary G, Dalle, & Campolina, 2011). Nilai fraksi neutron efektif dengan persamaan per jam adalah  $0.00774 \pm 0.0038$  dengan kesalahan relatif 3.6% dan untuk batang kendali jatuh bebas adalah  $0.00744 \pm 0.0020$  dengan kesalahan relatif 4.8%. Nilai ini dapat dikatakan baik karena manufaktur TRIGA memberikan nilai fraksi neutron kasip tanpa mencerminkan BOL.

Penelitian *benchmarking* parameter kinetik HTR-10 memperhitungkan fraksi neutron kasip efektif dikerjakan dengan MCNP4C dimana dua geometri teras reaktor dimodelkan dengan pemuatan elemen teras secara berbeda. Dalam teras pertama moderator *pebble* berada penuh di bagian konus dan dalam model teras kedua, bahan bakar *pebble* dan moderator *pebble* dimuatkan secara acak. Perhitungan dilakukan dengan metode prompt (Hosseini & Allaf, 2014). Teras pertama menunjukkan perbedaan maksimal untuk fluks termal ditemukan pada bagian tengah teras sebesar  $2.22 \times 10^{-4}$  sedangkan pada teras kedua sebesar  $1.38 \times 10^{-4}$ . Fraksi neutron kasip

efektif yang dihitung hampir sama dengan data eksperimen, yaitu  $0.007 \pm 0.028$ . Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi MCNP dan metode prompt untuk perhitungan parameter kinetik sangat efektif.

Penelitian terbaru tentang perhitungan parameter kinetik reaktor Moroccan TRIGA Mark-II yang menggunakan program Monte Carlo MCNP memodelkan reaktor secara presisi dan perhitungan dikerjakan menggunakan metode prompt. Fraksi neutron kasip efektif, umur neutron serempak dan waktu generasi neutron rerata hasil perhitungan menunjukkan nilai yang cukup baik dibandingkan dengan data referensi (Mghar, Chetaine, & Darif, 2015) dengan sedikit perbedaan yang terjadi karena perbedaan variasi komponen reaktor dan pustaka data nuklir yang digunakan.

Berdasarkan uraian di atas, perhitungan parameter kinetik reaktor nuklir menggunakan metode prompt dengan program transport Monte Carlo MCNP telah banyak dilakukan dengan hasil perhitungan yang telah tervalidasi. Beberapa hasil penelitian menyatakan bahwa dalam perhitungan parameter kinetik sangat penting untuk memodelkan geometri teras reaktor secara detail. Penggunaan pustaka data nuklir juga akan menentukan akurasi hasil perhitungan. Banyak faktor yang mempengaruhi parameter kinetik diantaranya pengkayaan, distribusi bahan bakar dalam teras, jenis elemen bahan bakar, dan material lainnya yang terdistribusi dalam teras. Perhitungan terhadap parameter kinetik reaktor sangat penting dilakukan karena menyangkut sistem keamanan dan efisiensi kinerja reaktor.

Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan studi perhitungan parameter kinetik pada reaktor HTR *Pebble Bed* yang meliputi fraksi neutron kasip efektif, umur neutron serempak dan waktu generasi neutron rerata. Perhitungan menggunakan metode prompt dan program transport Monte Carlo MCNP dimana teras reaktor dimodelkan terdiri hanya atas bahan bakar saja (Full

Power). Pengkayaan bahan bakar dan fraksi *packing* TRISO divariasikan. Hasil yang baik diharapkan dapat berkontribusi pada BATAN sebagai salah satu referensi dalam studi *safety assessment* yang disyaratkan dalam pembangunan Reaktor Daya Eksperimental (RDE) di BATAN, Sebagai tambahan perhitungan parameter kinetik menggunakan program transport Monte Carlo belum pernah dilakukan di Indonesia.

## 1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan di atas maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana desain dan model reaktor *pebble bed* dengan teras yang terdiri hanya atas bahan bakar *pebble* menggunakan program transport Monte Carlo MCNP?
2. Bagaimana pengaruh program transport Monte Carlo yang digunakan terhadap parameter kinetik?
3. Bagaimana pengaruh pengkayaan dan fraksi *packing* TRISO terhadap parameter kinetik?

## 1.3. Pembatasan Masalah

Tugas akhir ini akan difokuskan pada bahasan aspek neutronik parameter kinetik reaktor dengan bahan bakar *pebble* yang meliputi perhitungan kritikalitas, fraksi neutron kasip efektif, umur neutron serempak dan waktu generasi neutron rerata, terhadap variasi pengkayaan dan fraksi *packing* TRISO. Kemudian perbedaan hasil perhitungan antara MCNPX dan MCNP6 dianalisis untuk melengkapi penelitian ini.

## 1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mempelajari desain dan model teras reaktor *pebble bed* dengan teras yang terdiri hanya atas bahan bakar *pebble* menggunakan program transport Monte Carlo MCNP.
2. Mengetahui komparasi parameter kinetik antara perhitungan dengan program transport Monte Carlo MCNPX dan MCNP6.
3. Mengetahui pengaruh pengkayaan dan fraksi *packing* TRISO terhadap parameter kinetik.

### 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 kinetika reaktor dan tesis digunakan sebagai referensi.
2. Pemodelan komputasi menggunakan program transport Monte Carlo MCNP6 dan MCNPX yang dikembangkan oleh Los Alamos National Laboratory (LANL) untuk melakukan perhitungan parameter kinetik reaktor. Hasil perhitungan diolah dalam bentuk grafik dengan program Origin Pro 8 untuk dianalisis.
3. Kajian kesesuaian desain secara visual menggunakan perangkat lunak Visual Editor (Vised) versi X22S untuk mendapatkan desain reaktor *pebble bed* yang meliputi partikel berlapis TRISO, bahan bakar *pebble* dan teras reaktor secara keseluruhan. Data-data inputan disesuaikan dengan data literatur.

### 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 perhitungan parameter kinetik reaktor *pebble bed*, rumusan masalah, tujuan, metode pengumpulan data dan sistematika penulisan.
- BAB II      Tinjauan pustaka berisi karakteristik dan deskripsi desain reaktor *pebble bed*, konsep bahan bakar *pebble* serta teori-teori penunjang yang berhubungan dengan penelitian.
- BAB III     Metode Penelitian berisi proses penelitian secara lengkap mengenai perhitungan desain reaktor dan perhitungan parameter kinetik reaktor *pebble bed* menggunakan program transport Monte Carlo MCNP6 dan MCNPX.
- BAB IV     Hasil dan Pembahasan berisi tentang hasil perhitungan parameter kinetik reaktor *pebble bed* yang meliputi faktor multiplikasi reaktor, fraksi neutron kasip efektif, umur neutron serempak dan waktu generasi neutron rerata menggunakan program transport Monte Carlo MCNP6 dan MCNPX.
- BAB V      Penutup berisi kesimpulan dari hasil penelitian serta saran untuk pengembangan selanjutnya.





uin

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI  
SUNAN GUNUNG DJATI  
BANDUNG