

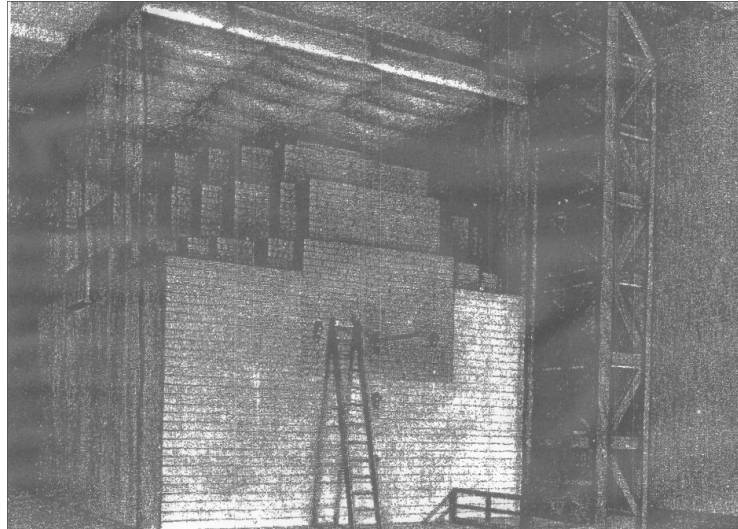
I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan listrik di Indonesia semakin meningkat, sedangkan bahan bakar fosil akan segera habis. Oleh karena itu dibutuhkan pembangkit listrik yang dapat digunakan sebagai pengganti dengan bahan bakar yang lain, seperti pembangkit listrik tenaga air, tenaga diesel, tenaga nuklir dan lain – lain. Telah dilakukan beberapa riset reaktor nuklir diantaranya di Serpong (Banten), Batan (Bandung), dan Batan (Yogyakarta). Meskipun terdapat adanya kekhawatiran terhadap kebocoran pada reaktor nuklir namun ketiga riset reaktor nuklir tersebut telah siap untuk mengembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) (Khurniawan, 2011). Oleh karena itu penelitian desain reaktor nuklir memasukkan kriteria keamanan melalui analisis kecelakaan yang perlu adanya pemilihan solusi teknik dan nilai parameter desain yang utama sehingga dihasilkan reaktor nuklir yang aman dan efisien (Zanocco, 2003).

Reaktor nuklir pertama dibangun pada 2 Desember 1942 oleh Enrico Fermi dkk di Universitas Chicago. Reaktor dibangun dari logam uranium dan blok grafit yang ditumpuk 30 x 60 dalam batang kendali yang dilapisi dengan Cadmium. Fermi dkk dapat membuat reaktor dengan faktor multiplikasi $k > 1$ dan dapat membuktikan bahwa reaksi fisi terjadi secara berkelanjutan.

Reaksi fisi yang berkelanjutan ditunjukkan dengan jumlah neutron tumbuh secara eksponensial yaitu $k_{eff} > 1$.



Gambar 1. CP1 – Chicago Pile (Roulstone, 2011)

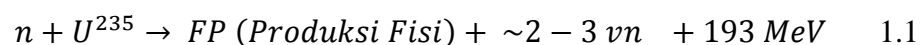
Gambar 1.1 di atas merupakan reaktor yang dibangun oleh Fermi dkk, diberi nama CP1 (Roulstone, 2011).

Dalam pengembangan dan pemanfaatannya energi nuklir selalu disertai oleh tiga isu global, yaitu *Nuclear Safety* atau keselamatan reaktor nuklir, *Radioactive Waste Management* atau pengaturan sampah radioaktif, dan *Nuclear Non-proliferation* atau pembatasan penggunaan bahan nuklir. Isu keselamatan reaktor nuklir dan pengaturan sampah radioaktif telah dipercaya akan tidak menjadi masalah lagi, mengingat sekitar 438 *Nuclear Power Plant* yang sudah beroperasi hingga tahun 2002 telah membuktikan bahwa energi nuklir (Rida, 2008). Sehingga perlu dilakukan penelitian ini agar diperoleh reaktor yang aman dan efisien.

Bahan bakar reaktor yang digunakan dalam reaktor *thermal* adalah uranium. Uranium adalah logam berat berwarna putih keperakan yang

bersifat radioaktif dan mempunyai lambang kimia U. Uranium pertama kali ditemukan oleh Martin Heinrich Klaproth, kimiawan Jerman tahun 1789. Radioaktif yang disebabkan oleh unsur ini dapat menyebabkan leukemia. Karena bersifat radioaktif maka uranium kadang-kadang mengeluarkan elektron pada saat peluruhan tetapi neutron tersebut jarang bereaksi dengan inti untuk membentuk reaksi inti. Karena merupakan unsur yang aktif maka uranium akan mengalami peluruhan dengan waktu paruh tertentu. Uranium mengandung tiga isotop utama, yaitu U^{238} sebanyak 99,3%, U^{235} sebanyak kurang dari 0,7% dan U^{234} dalam jumlah yang sangat kecil. Selain isotop utama uranium juga mempunyai isotop buatan diantaranya adalah U^{233} , U^{237} , dan U^{239} , walaupun banyak isotop dari uranium namun semua isotop uranium tersebut mempunyai sifat yang radioaktif (Wati, 2009).

Uranium U^{235} sebagai bahan dasar reaktor nuklir hanya terdapat di alam sebagai atom yang *fisionable*. Reaksi fisinya (pembelahan inti sel atom) sebagai reaksi kimia 1.1 berikut:



Pada reaksi diatas menunjukkan n (neutron) yang ditambahkan dengan U^{235} menghasilkan produksi fisi (FP) misalnya, Xe^{140} , Sr^{94} dan neutron baru dengan rata – rata $\nu \sim 2 - 3$ dan energi sebesar 193 MeV. Menurut jenis neutronnya reaktor dibagi menjadi dua tipe yaitu reaktor termal dan reaktor cepat. *Light water reactor* atau reaktor berpendingin air, misalnya

Pressurised Water Reactor (PWR) dan *Boiling Water Reactor* (BWR) (Roulstone, 2011).

Nuklida yang juga berpotensi menjadi bahan bakar reaktor adalah thorium. *Thorium* merupakan unsur kimia radioaktif alami dengan simbol Th dan nomor atom 90. Ditemukan pada tahun 1828 oleh mineralog Norwegia, Morten Thrane Esmark dan diidentifikasi oleh kimiawi Swedia, Jons Jakob Berzelius kemudian diberi nama *Thor*, yang berarti dewa guntur. Mempunyai isotop 232 yang dapat ditransmutasikan menjadi U^{233} sebagai bahan reaktor (Wikipedia, 2012).

Jenis reaktor yang merupakan reaktor generasi IV (terkini) dan sedang dikembangkan adalah reaktor air superkritis (SCWR). Reaktor tersebut memiliki efisiensi termal yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis reaktor air yang lain (Cheng *et al*, 2007). Konsep SCWR dikembangkan di Universitas Tokyo dikenal dengan dua tipe yaitu reaktor air super ringan (Super LWR) dan reaktor super cepat (Super FR) (Oka *et al*, 2010).

Penelitian SCWR yang sudah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya menggunakan bahan bakar uranium, sedangkan dalam penelitian ini akan menggunakan thorium sebagai bahan bakar SCWR.

Dalam penelitian ini program yang digunakan untuk mendesain reaktor adalah SRAC (*Standard thermal Reactor Analysis Code*). Kode tersebut dibuat oleh K. Tsuchihashi *et al* yang dikembangkan di JAEA (*Japan Atomic Energy Agency*). Program tersebut merupakan program standar yang biasa digunakan untuk mendesain reaktor. SRAC adalah sebuah sistem

dengan kode yang dapat diterapkan pada analisis neutronik sebagai salah satu variasi dari beberapa tipe reaktor. Sejak diterbitkannya penggunaan manual versi kedua dari SRAC sistem pada tahun 1986, adanya tambahan dan perubahan fungsi dan data pustaka yang dibuat untuk mendukung keseluruhan sistem kode neutron. Sistem SRAC didesain untuk perhitungan neutronik pada beberapa macam tipe reaktor termal. Sistem ini mengedepankan keefektifan dari penampang melintang mikro dan makro, *static cell*, perhitungan *core* yang termasuk kedalam analisis *burn-up*.

Pada reaktor jenis SCWR ini radius dan pengkayaan bahan bakar merupakan parameter kunci yang sangat penting yang dapat diuji untuk menentukan nilai kritikalitas yang diinginkan (Zuhair, 2012). Penelitian ini akan melakukan uji kritikalitas menggunakan program SRAC pada reaktor air superkritis (SCWR) radius dan pengayaan sel bahan bakar reaktor, sehingga reaktor berada dalam keadaan kritis sebagai reaktor yang aman dan efisien serta menganalisis apakah reaktor dapat disebut sebagai *breeder* (pembiak).

Pada penelitian ini bahan bakar yang digunakan adalah uranium (U^{233}) yang bersifat fisil dan dihasilkan dari transmudasi bahan bakar non fisil thorium (Th^{232}) melalui reaksi penangkapan neutron. Nuklida aktif yaitu thorium dapat digunakan sebagai bahan bakar reaktor dengan memanfaatkan reaksi penangkapan neutron dan meluruh menjadi uranium (U^{233}) (Media Nuklir, 2010). Penelitian ini menggunakan jenis reaktor air superkritis (*Supercritical Water Reactor*) SCWR dengan komposisi seperti pada Tabel 1.1 berikut.

Tabel 1.1. Komposisi Reaktor SCWR

Pin Bahan Bakar (<i>fuel pin</i>)	
Material	Uranium(U^{233});Thorium (Th^{232})
Temperatur	1200°C
Massa Jenis	10,5 gr/cm ³ (Media Nuklir, 2010)
Selongsong (<i>cladding</i>)	
Material	Zirkonium (Zr)
Temperatur	873°C
Massa Jenis	6,4 gr/cm ³ (Wikipedia, 2012)
Moderator	
Material	Air (H ₂ O)
Temperatur	658°C
Massa Jenis	0,78 gr/cm ³ (Wikipedia, 2012)

Tabel 1.1 menunjukkan komposisi pin bahan bakar, selongsong dan moderator yang akan digunakan dalam proses penelitian.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan pengayaan (*enrichment*) U^{233} pada reaktor air superkritis (SCWR) agar reaktor berada dalam keadaan kritis ditunjukkan dengan nilai $k_{eff} = 1,00000$;
2. Menentukan radius pin bahan bakar reaktor air superkritis (SCWR) untuk mendapatkan bentuk pembakaran yang efisien dan reaktor berada dalam keadaan kritis ditunjukkan dengan nilai $k_{eff} = 1,00000$;
3. Menganalisis pembiakan (*breeding*) reaktor yang ditunjukkan dengan meningkatnya densitas atom U^{233} setelah pembakaran.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengayaan (*enrichment*) U^{233} pada reaktor air superkritis (SCWR) agar reaktor berada dalam keadaan kritis ditunjukkan dengan nilai $k_{eff} = 1,00000$;
2. Mengetahui radius pin bahan bakar reaktor air superkritis (SCWR) untuk mendapatkan bentuk pembakaran yang efisien dan reaktor berada dalam keadaan kritis ditunjukkan dengan nilai $k_{eff} = 1,00000$;
3. Menganalisis pembiakan (*breeding*) reaktor yang ditunjukkan dengan meningkatnya densitas atom U^{233} setelah pembakaran.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

Mengetahui pengayaan (*enrichment*) U^{233} pada reaktor air superkritis (SCWR) agar reaktor berada dalam keadaan kritis ditunjukkan dengan nilai $k_{eff} = 1,00000$. Menentukan radius pin bahan bakar reaktor air superkritis (SCWR) untuk mendapatkan bentuk pembakaran yang efisien dan reaktor berada dalam keadaan kritis yang ditunjukkan dengan nilai $k_{eff} = 1,00000$, serta dapat menganalisis pembiakan (*breeding*) reaktor yang tepat ditunjukkan dengan densitas atom U^{233} meningkat setelah pembakaran.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui pengayaan (*enrichment*) yang tepat pada reaktor air superkritis (SCWR) agar reaktor berada dalam keadaan kritis ditunjukkan dengan nilai $k_{eff} = 1,00$;
2. Dapat mengetahui radius pin bahan bakar reaktor air superkritis (SCWR) untuk mendapatkan bentuk pembakaran yang efisien dan reaktor berada dalam keadaan kritis ditunjukkan dengan nilai $k_{eff} = 1,00$;
3. Dapat menganalisis pembiakan (*breeding*) reaktor yang ditunjukkan dengan meningkatnya densitas atom U^{233} setelah pembakaran.