
STUDI PENGEMBANGAN DESAIN TERAS REAKTOR NUKLIR RISET 2 MWTH DENGAN ELEMEN BAKAR PLAT DI INDONESIA

Anwar Ilmar Ramadhan^{1*}, Aryadi Suwono¹, Nathanael P. Tandian¹, Efrizon Umar²

¹Kelompok Keahlian Konversi Energi, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara
Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia

²Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan (PSTNT)-Badan Tenaga Nuklir Nasional
Jl. Tamansari No 71 Bandung 40132, Indonesia

*Email: airamadhan@students.itb.ac.id

Abstrak

Reaktor TRIGA Bandung merupakan reaktor yang diprediksi dapat dijadikan reaktor penyangga. Namun reaktor ini mempunyai kendala karena terbatasnya jumlah elemen bakar yang ada. Sementara itu, produksi elemen bakar TRIGA di luar negeri sudah ditutup. Mengingat Indonesia mempunyai kemampuan dalam memproduksi elemen bakar nuklir untuk reaktor riset berbahan bakar plat maka diusulkan untuk memodifikasi teras reaktor TRIGA Bandung dari teras berbahan silinder menjadi teras berbahan bakar plat. Metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah menggunakan studi pustaka pengembangan desain teras reaktor nuklir riset 2 MWth. Hasil riset yang telah dilakukan saat ini lebih mengarah ke kajian neutronik di teras reaktor menggunakan elemen bakar plat, sehingga untuk langkah selanjutnya diperlukan riset ke arah kajian termohidrolika. Dengan ini diharapkan dapat diperoleh desain teras reaktor nuklir riset 2 MWth yang lebih optimal dengan menggunakan elemen bakar plat sebagai pengganti elemen bakar silinder.

Kata Kunci : *Desain, reaktor nuklir riset, elemen bakar plat, neutronik, termohidrolika*

Abstract

The study design development of the nuclear research reactor core 2 MWTH with fuel element plat in Indonesia. Bandung TRIGA reactor is a reactor that can be used to predict the reactor buffer. However, this reactor has a problem because of the limited number of existing fuel element. Meanwhile, the production of TRIGA fuel elements abroad is already closed. Given that Indonesia has the ability to produce nuclear fuel elements for research reactors fueled plate, it is proposed to modify the Bandung TRIGA reactor core of the terrace patio made from a cylinder into fuel plates. The research method in this study is to use literature study on the design development research nuclear reactor core 2 MWth. The results of the research done today is more to study neutronik in the reactor core using the fuel element plate, so that for the next step, it is necessary to study the termohidrolika. It is expected to obtain the design of a research nuclear reactor core 2 MWth with more optimal to use as a replacement fuel element plate of the cylinder fuel element.

Keywords: *Design, research nuclear reactors, fuel element plate, neutronik, termohidrolika*

1. Pendahuluan

Reaktor nuklir memiliki dua tipe berdasarkan fungsinya yaitu reaktor daya, yang digunakan sebagai energi listrik dan reaktor riset yang digunakan sebagai penghasil radioisotop maupun penelitian Iptek nuklir. Indonesia mempunyai tiga buah reaktor riset, yaitu dua buah reaktor

riset jenis TRIGA di Bandung dengan daya 2 MW dan di Yogyakarta dengan daya 100 kW serta satu reaktor riset di Puspiptek Serpong berdaya nominal 30 MW. Untuk elemen bakar kedua reaktor tipe TRIGA yang ada saat ini menggunakan elemen bahan berbentuk silinder,

sedangkan elemen bakar reaktor RSG-GAS di Serpong berbentuk plat (Suparlina, 2011).

Ketiga reaktor nuklir riset yang dimiliki Indonesia digunakan untuk penelitian, produksi radioisotop dan pelatihan-pelatihan terkait sains dan teknologi nuklir. Ketiga reaktor ini sudah berusia di atas 25 tahun. Untuk produksi radioisotop, reaktor RSG-GAS di Puspptek Serpong memegang peranan utama, baik untuk memasok kebutuhan dalam negeri maupun kawasan ASEAN. Namun, reaktor ini dalam waktu dekat akan mengalami perawatan menyeluruh sehingga diperlukan reaktor penyangga untuk produksi radioisotop, terutama untuk mengatasi kebutuhan dalam negeri.

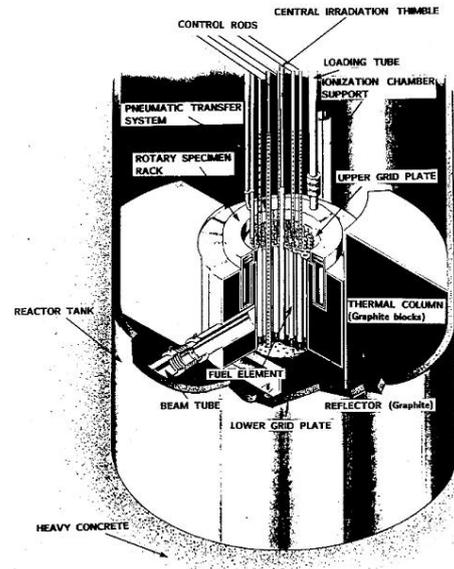
Reaktor TRIGA Bandung merupakan reaktor yang diprediksi dapat dijadikan reaktor penyangga tersebut. Namun reaktor ini mempunyai kendala karena terbatasnya jumlah elemen bakar yang ada. Sementara itu, produksi elemen bakar TRIGA di luar negeri sudah ditutup. Mengingat Indonesia mempunyai kemampuan dalam memproduksi elemen bakar nuklir untuk reaktor riset berbahan bakar plat maka diusulkan untuk memodifikasi teras reaktor TRIGA Bandung dari teras berbahan silinder menjadi teras berbahan bakar plat (Mandala, 2010).

Dalam penelitian ini akan dilakukan kajian pengembangan desain teras reaktor nuklir riset berdaya termal sebesar 2 MWth di Indonesia. Kajian desain teras reaktor nuklir riset difokuskan pada konsep konfigurasi teras reaktor dengan elemen bakar plat yang digunakan, sehingga nantinya dapat diketahui konsep desain yang akan dikaji secara komprehensif.

2. Metoda Penelitian

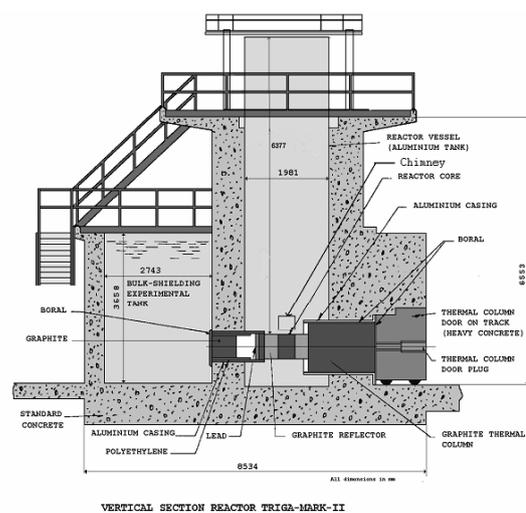
Penelitian ini difokuskan pada kajian pustaka dari desain teras reaktor nuklir riset 2 MWth yang ada di Indonesia, terutama reaktor nuklir riset TRIGA yang berada di Bandung. Berdasarkan data kajian pustaka yang diperoleh, akan memberikan saran dan pengembangan desain teras reaktor nuklir riset daya 2 MWth dengan menggunakan elemen bakar plat sebagai pengganti elemen bakar silinder. Kajian desain ini nantinya dapat digunakan sebagai analisis termohidrolika reaktor nuklir riset dan juga analisis keselamatan reaktor nuklir riset. Komponen teras dan fasilitas reaktor nuklir riset

berdaya 2 MWth dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2 dibawah ini:



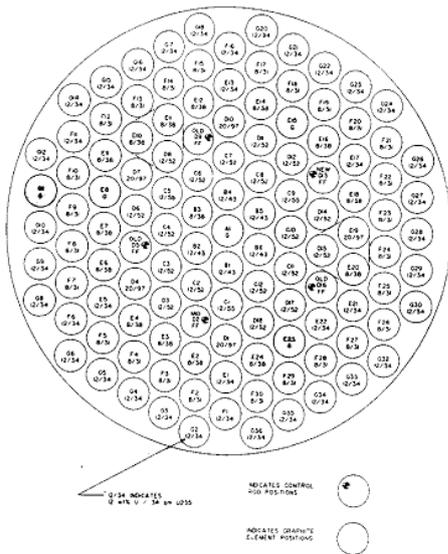
Gambar 1. Fasilitas yang dimiliki pada reaktor nuklir TRIGA (Anonim, LAK TRIGA, 2006)

Gambar 1. memperlihatkan fasilitas atau komponen reaktor yang terdapat di reaktor nuklir riset daya 2 MWth, seperti: *beam tube*, *reflector*, *thermal column*, *fuel element*, *reactor tank* dan *rotary specimen rack*.



Gambar 2. Tampang lintang dari reaktor TRIGA Bandung [Kamajaya, dkk, ----]

Gambar 2. memperlihatkan tampilan tampak lintang dari komponen reaktor nuklir riset 2 MWth serta ukuran ketinggian dari tangki reaktor yaitu 6553 mm dari dasar reaktor hingga tempat dak reaktor. Susunan konfigurasi teras reaktor nuklir riset 2 MWth yang saat ini digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Konfigurasi teras reaktor TRIGA untuk elemen bakar silinder [Anonim, LAK TRIGA, 2006]

Gambar 3. menerangkan bahwa lempengan kisi-kisi terletak di atas teras dengan jari-jari 26.5 cm yang terdiri dari elemen bakar, moderator dan elemen grafit (dummy). Teras reaktor nuklir 1/3 volumenya terisi oleh air. Reaktor nuklir ini menggunakan reflektor yang berbahan grafit dengan tebal 28.4 cm. Seluruh susunan ini diselubungi oleh aluminium yang diikat pada dasar tangki. Reaktor nuklir riset 2 MWth ini memiliki 5 batang kendali yang disusun dengan menggunakan material penyerap Boron Karbida (B4C) dibagian bawahnya diikuti oleh batang bahan bakar. Fasilitas iradiasi yang dimiliki terdiri atas 4 buah pipa berkas yang menembus dari teras melalui air dan beton ke permukaan luar dari struktur perisai. Rak cuplikan di dalam lubang cincin di atas reflektor digunakan sebagai tempat iradiasi untuk memproduksi radioisotop.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengembangan Desain Teras Reaktor Nuklir Riset 2 MWth

Elemen Bakar Silinder digantikan Elemen Bakar Plat

Elemen bakar reaktor nuklir riset 2 MWth yang berbentuk silinder, merupakan campuran homogen dari paduan uranium dan zirkonium hidrida. Bagian aktif dari elemen bakar ini, seperti ditunjukkan oleh Gambar 4. mempunyai diameter 3.75 cm dan panjang 38.1 cm. Terdapat 3 jenis elemen bakar yang digunakan yaitu tipe 8.5-20 (104), 12-20 (106) dan 20-20 (118). Ketiga elemen bakar tersebut masing-masing mengandung 8.5 w/o, 12 w/o, dan 20 w/o Uranium-235, yang telah diperkaya sampai 19.75 %.

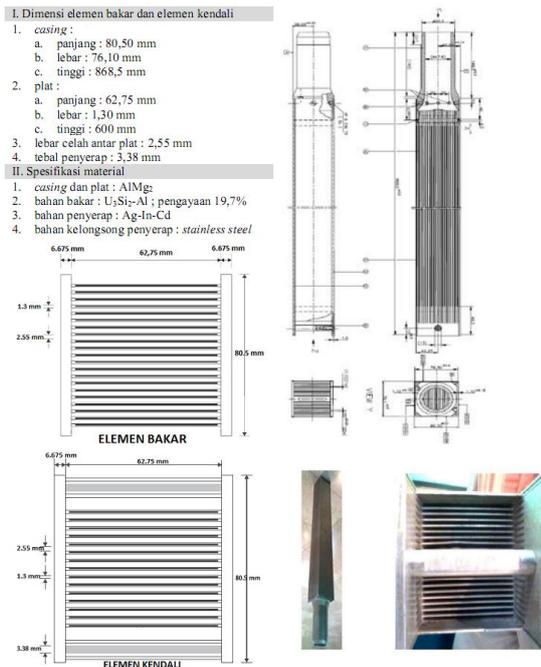
Elemen bakar reaktor nuklir riset 2 MWth dibuat dengan menghidrasi bahan bakar melalui suatu lubang kecil yang dibor melalui pusat bahan aktif. Suatu batang zirkonium disisipkan dalam lubang ini setelah hidrasi selesai. Setiap bahan bakar kemudian dibungkus dengan baja tahan karat (stainless steel) dari jenis 304 setebal 0.051 cm dan seluruh batang ini dilas dengan heliarc. Dua batang grafit masing-masing tingginya 66 mm dan 93.9 cm disisipkan dalam tabung. Sebuah di bagian atas dan yang lainnya di bagian bawah bahan bakar. Kedua grafit ini berfungsi sebagai reflektor atas dan bawah dari teras. Gambar 4 memperlihatkan elemen bakar berbentuk silinder di teras reaktor nuklir riset 2 MWth.



Gambar 4. Elemen Bakar Silinder di reaktor nuklir riset 2 MWth (Anonim, LAK TRIGA, 2006)

Dengan memperhatikan kebijakan ekonomi dan teknologi, bahwa produsen penghasil elemen

bakar silinder bagi reaktor nuklir riset tidak akan diproduksi, maka sudah sepatutnya dapat dialih teknologi dari elemen bakar silinder digantikan oleh elemen bakar tipe plat yang sudah dapat diproduksi oleh PT Batan Teknologi. Gambar tentang elemen bakar plat disertai dengan dimensi dapat dilihat pada Gambar 5.



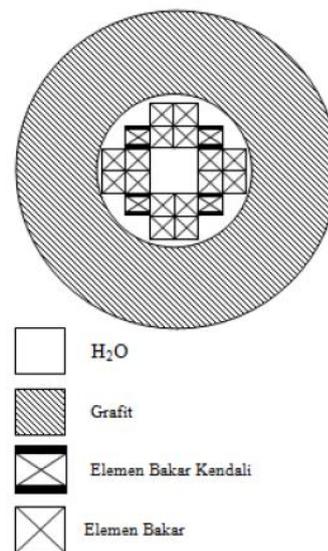
Gambar 5. Elemen bakar tipe plat di reaktor nuklir riset RSG GAS (Anonim, LAK RSG GAS, 2006)

Gambar 5. memperlihatkan Elemen bakar berbentuk plat yang digunakan di RSG GAS Serpong. Elemen bakar ini memiliki dimensi panjang 80.40-80.60 mm; lebar 75.60-76.10 mm; tinggi 868-869 mm. Sebuah assembly elemen bakar ini terdiri atas 21 plat yang masing-masing berisikan U3Si2-Al dengan pengayaan U235 sebesar 19.7 %. Untuk elemen pengontrol, terdiri atas 15 plat bahan bakar dengan 2 buah plat pengontrol pada kedua sisi mengapit plat aktif bahan bakar, yang berisikan bahan penyerap neutron Ag (85w/o) - In (10w/o) - Cd (5w/o). Komposisi bahan bakar untuk elemen pengontrol sama dengan elemen bakar yaitu U3Si2-Al dengan pengayaan U235 sebesar 19.75%. Uranium yang digunakan pada elemen bakar ini memiliki kerapatan massa 5.2 g/cm³, dengan massa U235 sebesar 250 g.

Konfigurasi Teras Reaktor Nuklir Riset 2 MWth dengan elemen bakar plat

Saat ini telah mulai dilakukan penelitian mengenai desain teras reaktor nuklir riset 2 MWth dengan menggunakan elemen bakar plat berdasarkan kajian neutroniknya, yaitu kajian awal mulanya reaksi fisi nuklir hingga tercapai kritikalitas neutronik di teras reaktor. Berdasarkan data hasil kajian neutronik, selanjutnya aspek termohidrolika reaktor nuklir dapat dianalisa lebih mendalam. Kajian aspek neutronik yang telah dilakukan diantaranya oleh Mandala (2010) dan Basuki (2014).

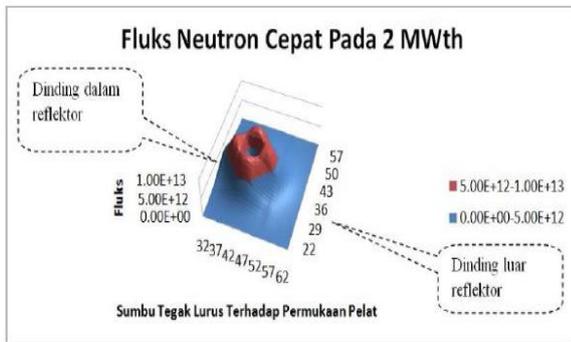
Desain pertama yang dilakukan oleh Mandala pada tahun 2010, melakukan modifikasi teras reaktor nuklir riset 2 MWth dengan memperhatikan batasan penelitian yaitu: (a) diameter teras reaktor 53 cm, (b) elemen bakar plat yang digunakan ukuran bundelnya sebesar 8.1 cm, sehingga total elemen bakar plat yang digunakan berjumlah 20 buah, konfigurasi teras reaktor nuklir riset 2 MWth dapat dilihat pada Gambar 6.



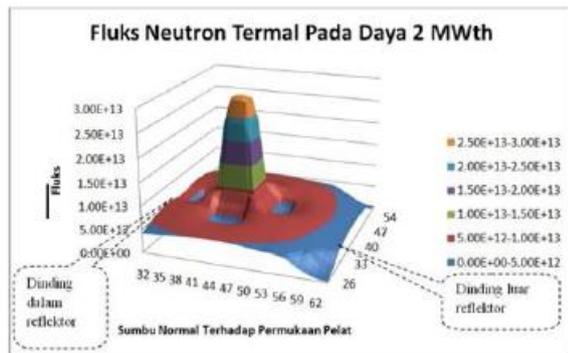
Gambar 6. Konfigurasi teras reaktor dengan komposisi 4 elemen kendali (Mandala, 2010)

Gambar 6. menerangkan bahwa elemen bakar plat yang digunakan berjumlah 20 buah, elemen kendali yang digunakan 4 buah, moderator yang digunakan adalah air (H₂O) dan reflektor yang digunakan Grafit. Perhitungan aspek neutronik

dilakukan dengan bantuan program CITATION. Hasil perhitungan neutronik dapat dilihat pada Gambar 7.



(a)



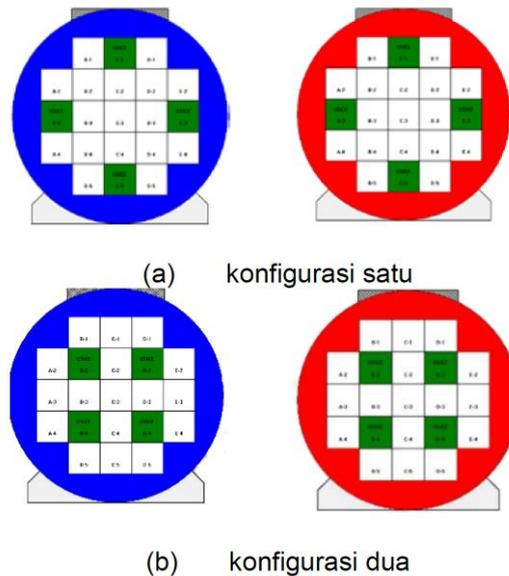
(b)

Gambar 7. Hasil perhitungan Fluks neutronik (a) cepat dan (b) termal (Mandala, 2010)

Hasil perhitungan neutronik oleh Mandala, 2010, Gambar 7. menunjukkan fluks neutron termal maksimal $2.8 \text{ E}+13 \text{ [n.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$ di pusat teras reaktor, sedangkan untuk fluks neutron cepat lebih besar di daerah bahan bakar, dikarenakan bahan bakar adalah tempat produksi neutron. Nilai fluks neutron termal ditengah teras reaktor memiliki nilai yang maksimum. Hal ini terjadi karena adanya proses perlambatan oleh air.

Sedangkan desain teras reaktor nuklir riset 2 MWth yang dilakukan oleh Basuki pada tahun 2014, dengan memperhatikan batasan desain teras hampir sama dengan yang dilakukan oleh Mandala [2010], yang membedakannya adalah perubahan posisi elemen kendali, reflektor yang digunakan adalah Be dan air (H_2O), jumlah elemen bakar berjumlah 20 buah. Konsep desain

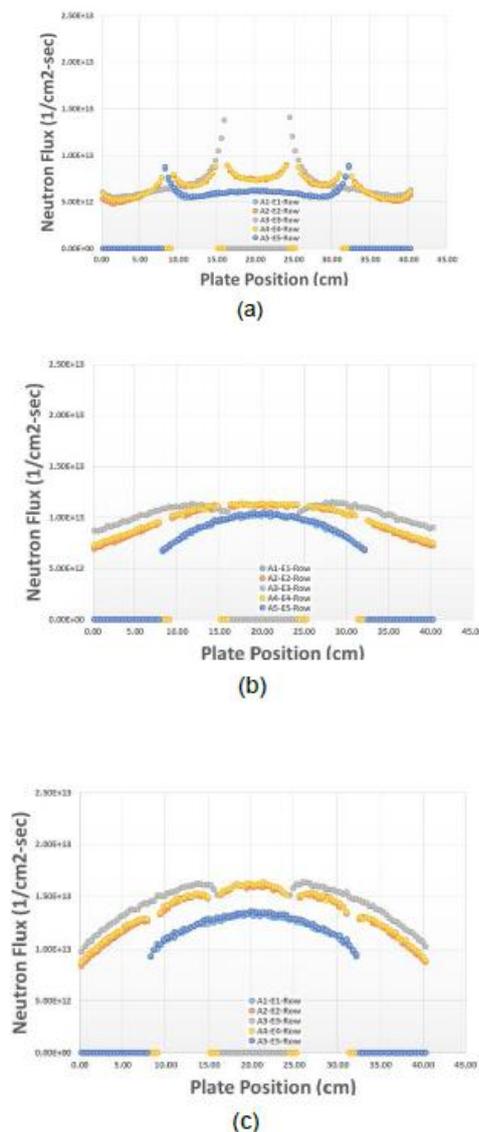
teras reaktor yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Konfigurasi teras reaktor nuklir riset TRIGA yang dilakukan oleh Basuki pada tahun 2013: tanpa reflektor (biru) dan dengan reflektor Be (merah)

Hasil simulasi pada teras dilakukan dengan jumlah elemen bakar paling banyak yaitu 20 buah. Dari hasil diperoleh bahwa untuk konfigurasi satu dan konfigurasi dua, teras tanpa reflektor air mampu mempertahankan kondisi subkritis pada jumlah elemen bakar 20 buah. Sedangkan pada penggunaan reflektor Be, elemen bakar sebanyak 17 buah, batang kendali pada posisi C1 masih memberikan reaktivitas positif sebesar 0.908 . Sehingga kondisi teras awal yang paling aman untuk konfigurasi satu, harus lebih kecil dari 17 buah elemen bakar. Kemudian untuk konfigurasi dua, pada teras dengan reflektor, jumlah optimum elemen bakar yang masih aman untuk digunakan pada teras awal sebanyak 18 buah, dimana reaktivitas terbesar batang kendali yang tersangkut di D2 masih memberikan kondisi subkritis.

Hasil perhitungan neutronik yang dilakukan oleh Basuki pada tahun 2014 menggunakan bantuan program MCNPX yaitu Monte Carlo N Particle, dengan hasil seperti pada Gambar 9 berikut ini:



Gambar 9. Distribusi fluks neutron pada arah radial:
(a) fluks neutron termal; (b) fluks intermediate; (c)
fluks neutron cepat (Basuki, 2014)

Gambar 9. menunjukkan bahwa fluks rata-rata yang mampu dicapai dari desain teras ini adalah 5.717×10^{13} [n.cm⁻². s⁻¹] s.d. 6.85×10^{13} [n.cm⁻². s⁻¹]. Dari dua desain posisi batang kendali yang diujicobakan, dipilih konfigurasi dua, karena memiliki parameter kritikalitas yang lebih baik apabila dibandingkan dengan konfigurasi satu, antara lain shutdown margin yang lebih rendah untuk komposisi jumlah elemen bakar yang sama, sehingga memiliki nilai control rod worth yang lebih besar. Kemudian pada pengujian one stuckrod criteria, konfigurasi dua

pada komposisi 18 buah elemen bakar dengan reflektor Be masih dapat diaplikasikan untuk konfigurasi teras awal dengan reaktivitas core excess \$ 13.776 dan shutdown margin \$ -12.155, dimana reaktivitas terbesar saat batang kendali pada posisi D2 tersangkut masih memberikan nilai reaktivitas negatif sebesar \$ -0.765. (Basuki, 2014)

Perkembangan riset selanjutnya

Setelah dilakukan riset kajian neutronik pada desain teras reaktor nuklir 2 MWth adalah melakukan riset pada aspek termohidrolika reaktornya. Dengan menggunakan data distribusi fluks neutron dan distribusi daya yang diketahui hasil perhitungan neutronik. Sehingga kajian selanjutnya mengetahui pola aliran, distribusi temperatur, distribusi tekanan maupun aspek termohidrolika yang lainnya di teras reaktor nuklir dengan menggunakan elemen baka plat pengganti elemen bakar silinder. Kajian aspek termohidrolika reaktor ini dapat dilakukan dengan bantuan program Computational Fluid Dynamics (CFD), Dan nantinya dapat dilakukan pengujian secara eksperimental.

4 Kesimpulan

Konsep desain teras reaktor nuklir riset 2 MWth perlu dilakukan kajian secara mendalam, baik aspek kajian neutronik maupun aspek termohidrolika reaktornya. Untuk kajian aspek neutronik telah dilakukan yaitu Mandala [2010] dan Basuki [2014], dengan menggunakan batasan riset yang hampir sama. Perbedaan dari keduanya hanya pada posisi elemen bakar di teras dan reflektor yang digunakan. Keduanya menyatakan bahwa konsep desain teras reaktor nuklir riset 2 MWth dapat dilakukan perubahan elemen bakar yang digunakan dari elemen bakar silinder menjadi elemen bakar plat.

Hasil kajian neutronik ini akan dilanjutkan dengan kajian aspek termohidrolika reaktornya yaitu aspek perpindahan panas yang terjadi dari pembangkitan panas hasil reaksi fisi di elemen bakar plat pada teras reaktor nuklir riset 2 MWth. Kajian ini dapat dilakukan dengan bantuan program Computational Fluid Dynamics (CFD). Sehingga proses akhirnya dapat dijadikan data pembandingan desain.

Daftar Pustaka

- Anonim, ----, "*Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Serba Guna GAS Rev. 10*", Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta
- Anonim, 2006, "*Laporan Analisis Keselamatan Akhir Reaktor TRIGA 2000 Bandung Rev. 3*", Badan Tenaga Nuklir Nasional, Bandung
- Basuki, dkk, 2014, "*Desain Neutronika Konversi Elemen Bakar Tipe Plat Pada Teras TRIGA 2000 Bandung*", Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia, Vol. 15 No 2, ISSN: 1411-3481, pp. 69-80
- Kamajaya, K., et al, ----, "*The Current Status of Bandung TRIGA Mark-II Reactor Indonesia*", Bandung
- Suparlina, L., 2011, "*Kajian Desain Konfigurasi Teras Reaktor Riset Untuk Persiapan Rancangan Reaktor Riset Baru Di Indonesia*", Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah-Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir 2011, ISSN: 0216-3128, Yogyakarta
- Mandala, G. A., 2010, "*Simulasi Modifikasi Reaktor TRIGA 2000 Bandung dengan Bahan Bakar Jenis Pelat*", Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir, ISSN: 1978-0176, Yogyakarta

