

ANALISIS FAKTOR MULTIPLIKASI EFEKTIF (KEFF) PADA BERBAGAI PACKING FRACTION PADA SUSUNAN BAHAN BAKAR ACAK DAN HOMOGEN HTR-10

Aulia Litsa Ariffiyah¹, Azizul Khakim², Suharyana³

^{1,3}Universitas Sebelas Maret Surakarta

²Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta.

aulialitsa14@student.uns.ac.id

ANALISIS FAKTOR MULTIPLIKASI EFEKTIF (KEFF) PADA BERBAGAI PACKING FRACTION ANTARA SUSUNAN BAHAN BAKAR ACAK DAN HOMOGEN PADA HTR-10.

Nuklir merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang digadang-gadang sebagai salah satu solusi masalah energi dunia. Reaktor nuklir yang dimanfaatkan sebagai pembangkit energi listrik disebut dengan reaktor daya. Perkembangan reaktor nuklir sekarang ini telah mencapai reaktor generasi IV. Reaktor ini memiliki keunggulan disisi ekonomi, sistem keselamatan inheren dan limbah yang minim. Salah satu jenis reaktor generasi IV adalah *High Temperature Reactor* (HTR) dengan daya 10 MW yang dioperasikan oleh *Institute Nuclear Energy Technology* (INET) China. HTR merupakan reaktor tipe *pebble bed reactor* dimana teras berisi bahan bakar berupa *pebble*. Telah dilakukan simulasi untuk membandingkan beda keff antara HTR dengan bahan bakar *pebble* dan bahan bakar yang dihomogenisasi. Simulasi dilakukan dengan code MVP dengan 10000 partikel. Didapatkan bahwa semakin banyak jumlah bahan bakar maka faktor multiplikasi efektif (keff) juga semakin besar, baik pada bahan bakar homogen maupun *pebble* acak. Pada HTR-10 dengan bahan bakar homogen keff bernilai 0,97-0,99 dan pada HTR-10 berbahan bakar *pebble bed*, keff bernilai 1,07-1,12. Hal ini menunjukkan bahwa HTR-10 dengan bahan bakar homogen dalam keadaan *underestimated* dan dengan bahan bakar *pebble* dalam keadaan *undermind*.

Kata Kunci : k-eff, packing fraction, pebble, homogen

ABSTRACT

ANALYSIS EFFECTIVE MULTIPLICATION FACTOR (KEFF) on VARIOUS PACKING FRACTION BETWEEN RANDOM and HOMOGENEOUS FUEL on HTR-10. Nuclear is one of the renewable energy sources that as one of the world's energy problems solutions. Nuclear reactors are used as electrical energy power plant called a power reactor. The development of nuclear reactors now has reached the reactors of generation IV. These reactors have advantages on the economy, inherent safety and waste systems are minimal. One of the generation IV reactor type is High Temperature Reactor (HTR) with power 10 MW, it has operated by the Institute of Nuclear Energy Technology (INET) China. HTR is pebble bed reactor type where the core contains of fuel pebble. Simulations have been performed to compare the difference between keff HTR with pebble fuel and homogenous fuel. The homogenous fuel in a core region is a way to get more efficient process in burn-up reactors. The simulation performed in various packing fraction between 0.81-0.99. Obtained that when packing fraction value is increased then the effective multiplication factor (keff) are also getting bigger, both on the fuel pebble homogeneous or random. On HTR-10 homogeneous fuel keff value 0,97 until 0,99 and on HTR-10 pebble bed, keff worth 1.07-1.12. This shows that the HTR-10 with homogeneous fuel is underestimated and HTR-10 with randomness fuel is undermind.

Keywords : k-eff, packing fraction, pebble, homogenous

PENDAHULUAN

Menurut Kementerian ESDM pada tahun 2011 penggunaan energi terbarukan tercatat sebesar 13% dari total penggunaan energi. Diperkirakan pada tahun 2035 akan mengalami peningkatan sebesar 44%-56% (Zed dkk, 2014). Salah satu energi terbarukan yang dimaksud adalah energi nuklir. Dibandingkan dengan sumber energi lain seperti minyak dan batubara, energi fisi uranium mempunyai kerapatan tinggi. Satu gram uranium mempunyai energi setara dengan 13,7 barel minyak atau 2,3 ton batubara (Qimiya, 2011).

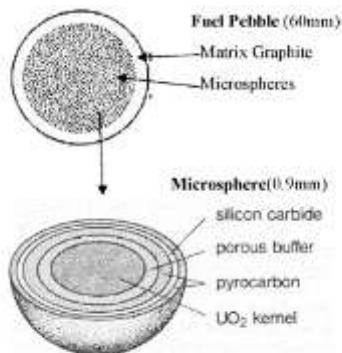
Reaktor nuklir merupakan salah satu pemanfaatan aplikasi energi nuklir. Ada dua jenis reaktor berdasarkan fungsinya, yaitu reaktor daya dan non daya. Reaktor non daya biasanya digunakan

sebagai produksi radioisotop dan penelitian. Reaktor daya, yang dimanfaatkan adalah energi panas yang dihasilkan. Dalam hal ini dimanfaatkan untuk memanaskan air menjadi uap air yang kemudian digunakan untuk memutar turbin generator listrik (Lewis, 2008) yang kemudian disebut sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Di Indonesia sendiri tahap pembangunan reaktor daya berupa reaktor daya eksperimental telah lolos uji tapak dan rencananya akan dibangun di kawasan puspisstek Serpong.

Perkembangan teknologi reaktor telah mencapai reaktor generasi IV. Menurut IAEA reaktor generasi ini dikembangkan dengan memerhatikan tingkat keselamatan yang tinggi dan minimnya limbah nuklir yang dihasilkan. Salah satu contoh reaktor generasi IV adalah *High Temperature Gas-*

Cooled Reactor (HTGR). HTGR juga memiliki sistem keselamatan inheren dan suhu bahan bakarnya tidak akan melebihi batas desain sekalipun sistem pendingin tidak bekerja maksimal (Peng *et al.*, 2016).

Komponen utama reaktor nuklir adalah teras reaktor, batang kendali, reflektor, moderator, dan sistem pendingin. HTR-10 merupakan jenis *Pebble Bed Reactors* yaitu reaktor dengan elemen bahan bakar dalam teras berbentuk *pebble*. *Pebble* bahan bakar berisi *microsphere*, partikel berlapis yang disebut *TRIStructural ISotropic* (TRISO). Partikel TRISO berbentuk bola berukuran 0.9 mm berisi uranium yang dilapisi material pirokarbon.



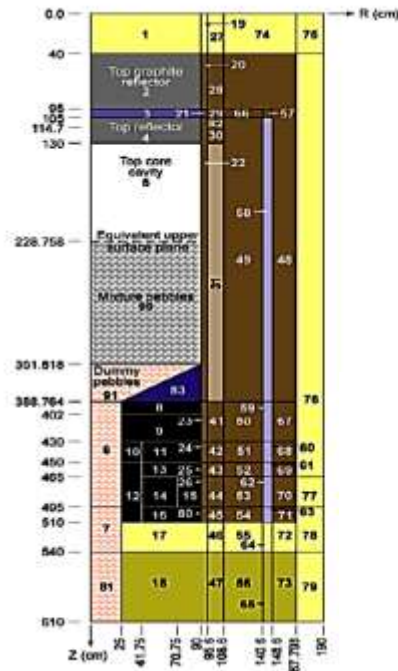
Gambar.1. pebble bahan bakar HTR (Kadak, 2005)

Teras reaktor HTR-10 berbentuk silinder dengan diameter 180 cm dan tinggi rata-rata 197 cm. Namun mengacu pada geometri HTR-10 oleh Terry dkk (2006) pada penelitian ini teras reaktor memiliki tinggi 123,06 cm. Teras reaktor berisi kurang lebih 27000 *pebble* bahan bakar dan *dummy* moderator yang berbentuk bola menyerupai *pebble*, namun tidak mengandung TRISO. Perbandingan keduanya di dalam teras adalah 57:43. Dengan banyaknya jumlah pebble dalam teras serta banyaknya triso dalam pebble, geometri HTR-10 menjadi sangat kompleks dengan sel yang sangat banyak.

Dalam penelitian reaktor nuklir, terdapat proses yang disebut *burn up* reaktor. Perhitungan *burn up* ini sangat dipengaruhi oleh jumlah sel dalam model reaktor, semakin banyak sel geometrinya semakin kompleks dan simulasi perhitungan *burn-up*nya akan semakin lama. Karenanya seringkali proses *burn up* ini dilakukan dengan geometri yang lebih sederhana sehingga jumlah selnya lebih sedikit dan waktu simulasi menjadi lebih singkat. Penyederhanaan geometri pada penelitian ini dilakukan dengan homogenisasi tingkat teras.

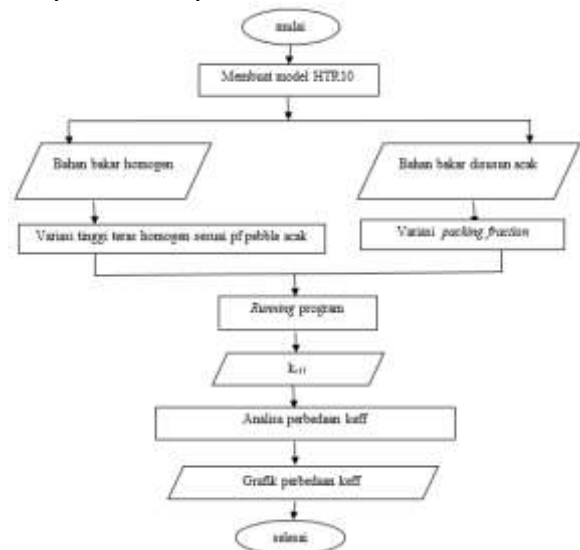
METODE PENELITIAN

Geometri HTR-10 pada penelitian ini mengacu pada penelitian Terry dkk (2006).



Gambar 2. Desain HTR-10 (Terry dkk, 2006)

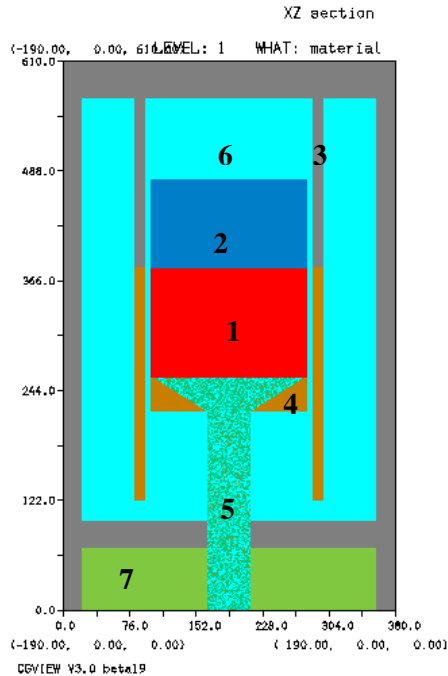
Skema dan alur penelitian ini sebagaimana dijelaskan pada gambar 3. Hal pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah penginstalan *code* MVP. Kemudian HTR10 dimodelkan dengan geometry sebagaimana yang ditentukan IAEA. Pada penelitian ini dilakukan variasi bahan bakar di dalam teras HTR10. Dimana terdapat dua model yang disimulasikan dan kemudian dibandingkan hasil faktor multiplikasi efektifnya. Proses selanjutnya adalah *running data* dan analisa data untuk kemudian didapatkan kesimpulan.



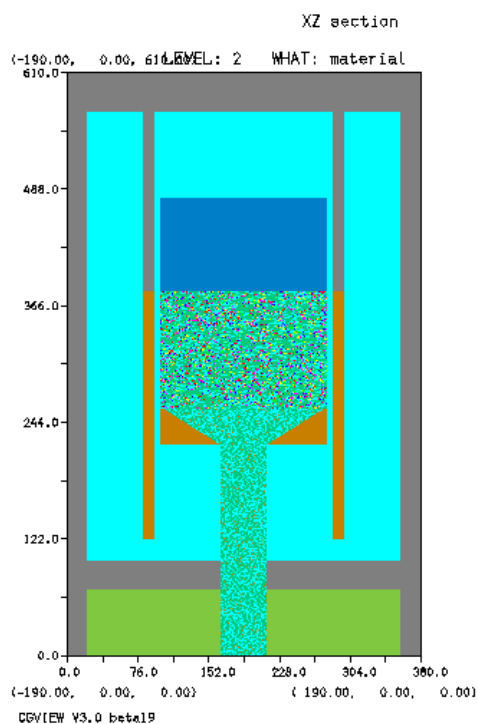
Gambar 3. Skema Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini berhasil dibuat simulasi untuk menganalisis perbedaan nilai faktor multiplikasi efektif pada HTR-10 dengan susunan bahan bakar homogen dan acak. Model reaktor HTR10 terdiri dari teras reaktor (1), *top cavity*(2), sepuluh batang kendali (3), pendingin (4), *dummy pebble* sebagai moderator (5), tiga bagian reflektor (6) serta boronated carbon (7), sebagaimana gambar 4 dan 5.



Gambar 4. HTR-10 dengan homogenisasi bahan bakar pada teras



Gambar 5. HTR-10 dengan bahan bakar pebble acak

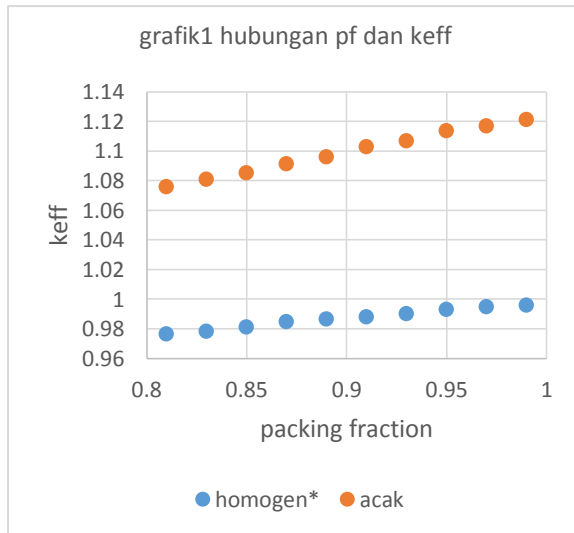
Pada gambar 4 dan 5 ditunjukkan bahwa geometri kedua desain reaktor tersebut hanya berbeda pada komposisi terasnya. Gambar 4 merupakan kenampakan ketika teras berisi bahan bakar homogen. Pada teras homogen material penyusun bahan bakar tidak berbentuk triso dan pebble, sehingga dianggap material material tersebut bercampur rata dalam satu wadah. Sementara pada gambar 5 bahan bakar HTR-10 dimodelkan sebagaimana aslinya yaitu dengan pebble yang berisi triso. Material dan komposisi bahan bakar HTR-10 adalah sebagai berikut

Tabel 1 : spesifikasi komposisi bahan bakar HTR-10

Elemen bahan bakar	Nilai
Diameter <i>pebble</i>	6 cm
Diameter dalam <i>pebble</i> (yang berisi TRISO)	5 cm
Densitas matriks grafit dalam <i>pebble</i>	1,73 gr/cm ³
Pengayaan U ²³⁵	17%
Diameter lapisan UO ₂ dalam TRISO	0,5 mm
Densitas UO ₂	10,4 gr/cm ³
Material pelapis UO ₂	PyC/iPyC/SiC/oPyC
Ketebalah material pelapis UO ₂	0,09/0,04/0,035/0,04 (mm)
Diameter <i>dummy</i> moderator	6cm
Densitas grafit dalam <i>dummy</i>	1,73 gr/cm ³

Dalam penelitian ini dilakukan variasi *packing fraction pebble* dalam teras. Nilai *packing fraction pebble* tersebut divariasikan dari 0,81 hingga 0,99 dengan selisih 0,2. Untuk memodelkan *pebble* dalam teras ini tersusun acak, digunakan geometri data pada code MVP yaitu lattice data *statistical geometry*. Dengan *lattice statistical geometry* ini tidak perlu menentukan posisi *pebble* satu persatu dalam teras, karena sudah otomatis terdistribusi acak.

Hasil simulasi HTR-10 dengan bahan bakar yang berbeda ini dapat dilihat pada grafik 1. Untuk mempermudah perbandingan dan analisa data, pada grafik 1. yang dimaksud homogen* adalah teras homogen yang volumenya telah disesuaikan dengan *packing fraction* pada input geometri teras berisi *pebble* bahan bakar



Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar nilai *packing fraction* maka faktor multiplikasi juga semakin besar baik pada bahan bakar homogen maupun *pebble* acak. Semakin besar *packing fraction* menunjukkan semakin besar pula volume bahan bakar yang digunakan. Dengan semakin banyaknya bahan bakar tersebut maka probabilitas keberlangsungan reaksi fisi juga akan semakin besar. Hal ini mengakibatkan produksi neutron juga semakin besar dan daya yang dihasilkan semakin meningkat.

Dapat disimpulkan bahwa kriticalitas HTR dengan bahan bakar homogen lebih kecil dari pada HTR dengan bahan bakar *pebble* acak. HTR-10 dengan homogenisasi bahan bakar pada teras berada pada kondisi sub kritis, sementara HTR-10 dengan *pebble* acak kondisinya super kritis. Hal ini menunjukkan untuk HTR-10 dengan bahan bakar homogen kondisi kritis akan dicapai pada volume bahan bakar lebih dari 3,106 m³ atau dengan tinggi teras lebih dari 121,8294 m dengan diameter 180 cm.

KESIMPULAN

Telah berhasil dilakukan penelitian simulasi HTR-10 dengan dua variasi bentuk bahan bakar, yaitu bahan bakar homogen dan bahan bakar *pebble bed* tersusun acak. Dalam simulasi HTR-10 homogen dilakukan dua tingkat homogenisasi, yaitu lapisan triso pada *pebble* bahan bakar dan homogenisasi *pebble* bahan bakar dan moderator dalam teras. Pada HTR-10 dengan bahan bakar berbentuk *pebble* juga dilakukan dua tingkat susunan acak, yaitu susunan triso dalam *pebble* serta susunan *pebble* bahan bakar dan dummy moderator pada teras. pada penelitian ini setiap bentuk bahan bakar divariasi jumlah bahan bakarnya, dan dapat disimpulkan bahwa Semakin banyak jumlah bahan bakar maka faktor multiplikasi efektif (keff) juga semakin besar, baik pada bahan bakar homogen maupun *pebble* acak. Pada HTR-10 dengan bahan bakar homogen keff bernilai 0,97-0,99 dan pada HTR-10 berbahan bakar *pebble bed*, keff bernilai 1,07-1,12.

DAFTAR PUSTAKA

- Kadak, A.C. (2005). A Future for Nuclear Energy: Pebble Bed Reactors. *International journal Critical Infrastructures*. Vol. 1 No. 4, 330-345.
- Lewis, E. (2008). *Fundamentals of Nuclear Reactor Physics*. Amsterdam: Elsevier.
- Qimiya, F. (2011). *Perbandingan Energi Nuklir dengan Energi Lain*. Surabaya: UNAIR Repository.
- Seker, U., & Colak, U. (2004). Monte Carlo Criticality for a Pebble Bed Reactor with MCNP. *Nuclear Science and Engineering*, 149, 131-137.
- Terry, W. K., Kim, S. S., Montierth, L. M., Cogliati, J. J., & Ougouag, A. M. (2006). *Evaluation of HTR-10 Reactors as a Benchmark for Physics Code QA on ANS Topical Meeting on Reactor Physics*. USA: Idaho National Laboratory
- Zhang, Z., & Yu, Y. (2002). Future HTGR developments in China after the criticality of the HTR-10. *Nuclear Engineering and Design*. No. 218, 249-257
- Zed, F., Suharyani, Y. D., Rasyid, A., Hayati, D., Rosdiana, D., Mohi, E.,....., Nurohim, A. (2014). *Outlook Energi Indonesia*. Jakarta: Dewan Energi Nasional