

JURITIKA

Jenis Artikel: original research/review article

Studi Desain Pressurized Water Reactor (PWR) berdaya Sedang berpendingin Air Ringan

Nur Aida¹

¹Prodi Teknik Fisika UIN Ar-Raniry, Banda Aceh

Corresponding e-mail: nur.aida@ar-raniry.ac.id

KATA KUNCI:

K-eff, power distribution, PWR

ABSTRAK. Telah dilakukan studi desain reactor PWR menggunakan teras berpendingin air ringan. PWR yang diteliti dapat dioperasikan tanpa pengisian ulang bahan bakar selama 25 tahun, dalam optimasi reaktor diatas penulis menggunakan persamaan *diffuse multi group* 2 dimensi. Kita dapat memonitor komposisi teras, distribusi daya dan perubahan K-eff selama teras beroperasi untuk menjaga keamanan dan kekritisan teras reaktor. Disini digunakan nilai K-eff berkisar 1. Hasil optimasi diperoleh, reaktor ini bisa beroperasi selama 25 tahun.

Article History

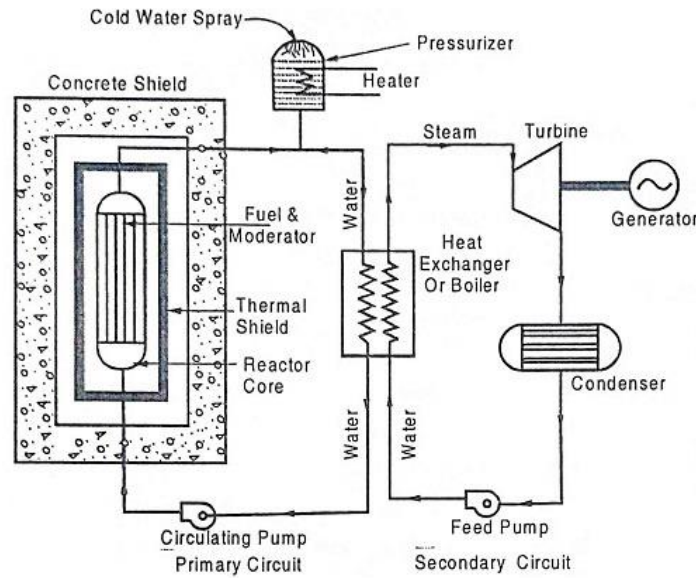
Received: October, 1, 2024
Revised: November, 12, 2024
Accepted: November, 16, 2024
Published: January, 10, 2025

1. Pendahuluan

Pressurized Water Reactor (PWR) adalah jenis reaktor nuklir air ringan. PWR atau biasa disebut dengan reaktor air bertekanan merupakan sebagian besar pembangkit listrik tenaga nuklir di dunia. Dalam PWR, pendingin utama dipompa di bawah tekanan tinggi ke inti reaktor yang dipanaskan oleh energi dan kemudian dilepaskan oleh pembelahan atom. Air bertekanan tinggi yang dipanaskan kemudian mengalir ke generator uap, hal tersebut menyebabkan transfer energi panasnya ke air bertekanan lebih rendah dari sistem sekunder di mana uap dihasilkan. Uap kemudian menggerakkan turbin, yang memutar generator listrik. Berbeda dengan reaktor air mendidih (BWR), tekanan dalam loop pendingin primer mencegah air mendidih di dalam reaktor. Semua reaktor air ringan menggunakan air biasa sebagai pendingin dan moderator neutron. Sebagian besar menggunakan dua hingga empat generator uap yang dipasang secara vertikal (Ivanyuk, 2021). Dari faktor keselamatan jenis reaktor ini dibandingkan dengan jenis reaktor lain, reaktor ini lebih aman

karena menggunakan uap air, yang digunakan untuk memutar turbin, sehingga beberapa material radiasi tidak langsung masuk ke turbin seperti pada reaktor BWR.

PWR pada awalnya dirancang untuk berfungsi sebagai penggerak kapal selam nuklir dan digunakan juga sebagai pembangkit listrik komersial kedua di Pembangkit Listrik Tenaga Atom. Beberapa PWR digunakan untuk penggerak kapal induk di laut, kapal selam nuklir, dan kapal pemecah es. Di AS, PWR pada awalnya dirancang di Laboratorium Nasional Oak Ridge untuk digunakan sebagai pembangkit listrik kapal selam nuklir dengan pembangkit listrik kapal selam yang beroperasi penuh yang terletak di Laboratorium Nasional Idaho (Asgari, 2007).



Gambar 1. Desain Reaktor PWR

Air ringan digunakan sebagai pendingin utama dalam PWR. Air masuk melalui bagian bawah inti reaktor pada suhu sekitar 548 K dan dipanaskan saat mengalir ke atas melalui inti reaktor hingga mencapai suhu sekitar 588 K. Air tetap berbentuk cair meskipun suhu tinggi karena tekanan tinggi dalam loop pendingin primer, biasanya sekitar 155 bar.

2. Metode Penelitian

Persamaan difusi neutron adalah persamaan keseimbangan dasar yang menggambarkan pengangkutan neutron dalam ruang, energi, dan waktu (Duderstadt dkk., 1976) (wolter, 2022), (nakayama, 2021) (Ilham, 2020). Disini dibahas asumsi penyederhanaan yang memungkinkan kita untuk menulis persamaan keseimbangan neutron dalam bentuk yang mudah dipahami. Pembentukan persamaan keseimbangan memanfaatkan secara langsung konsep fluks dan arus neutron serta penampang lintang efektif (Arya, 1996). Istilah sumber yang muncul dalam persamaan difusi, diikuti dengan penurunan hukum difusi Fick untuk arus neutron. Untuk mendapatkan solusi yang lebih baik tentang pendekatan difusi dibandingkan dengan teori transportasi yang ketat, selanjutnya dijelaskan penggunaan persamaan transportasi satu dimensi yang tidak bergantung pada energi dan waktu dan pendekatan P1 untuk fluks sudut untuk menurunkan persamaan difusi 1-D dalam kondisi tunak (shimada, 2021)(Seiadipura, 2015). Persamaan (1) memberikan interpretasi koefisien difusi untuk arus dan membahas keterbatasan dan penerapan teori difusi (Duderstadt dkk., 1976) (Abderrahim, 2019) (Barros, 2012). Bentuk λ dalam persamaan (1) adalah nilai eigen.

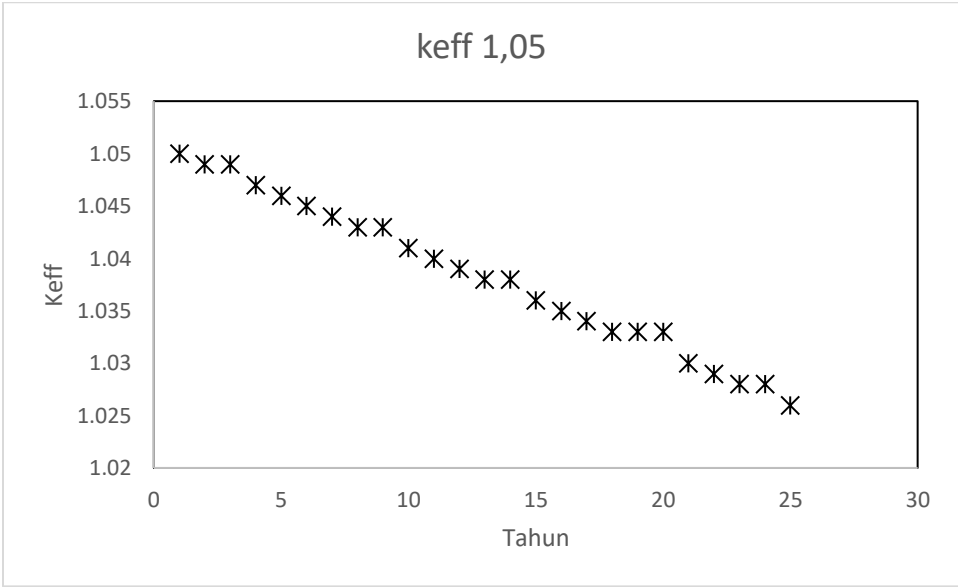
$$-\nabla \cdot D_g \nabla \phi_g(\vec{r}) + \sum_g \phi_g = \lambda \chi_g \quad \sum_{g'=1}^G v \sum_{f,g'} \phi_{g'} + \sum_{g'=1}^G \sum_{g'} \rightarrow_g \phi_{g'} \quad (1)$$

Keterangan :

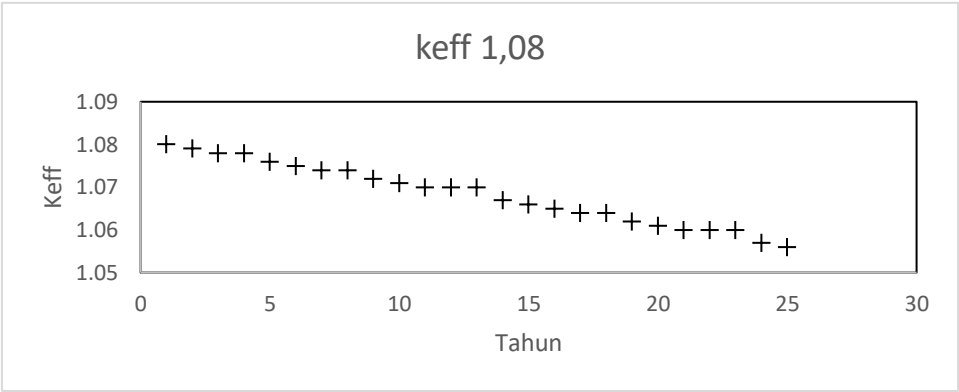
- D = koefisien diffusi
- ϕ_g = fluks neutron di masing – masing grup
- $-\bar{\nabla} \cdot D_g \bar{\nabla} \phi_g(\vec{r})$ = perkiraan diffusi
- λ = konstanta penurunan grup precursor ke -i
- Σ_{fg} = cross section fisi makroskopik bahan bakar

3. Hasil dan Pembahasa

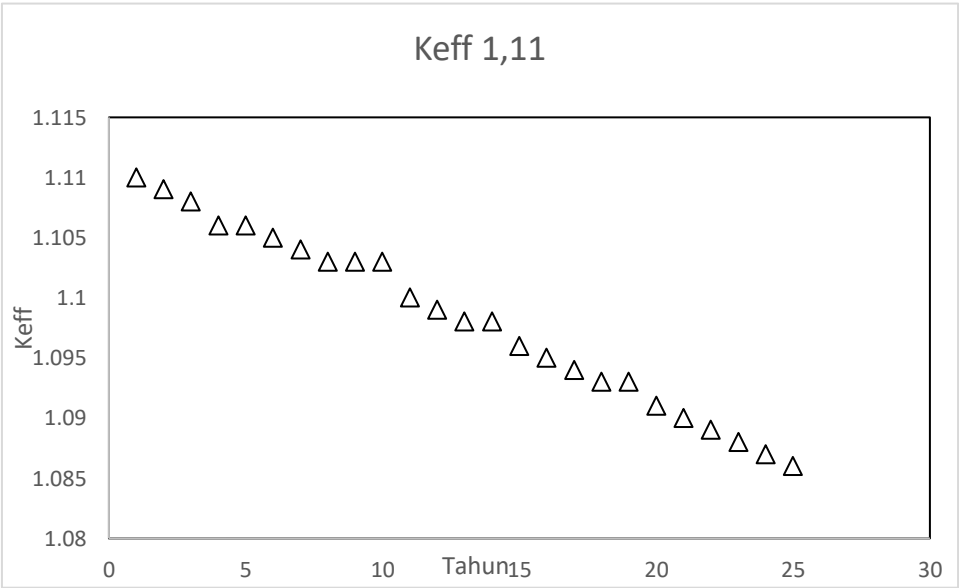
Desain PWR dalam penelitian ini secara umum difokuskan untuk mendapatkan reaktor dengan spesifikasi waktu operasi yang relative lama yaitu dua puluh lima tahun dengan kemampuan inherent safety dan tingkat pengoptimalan bahan bakar yang cukup tinggi selama operasi berlangsung. Berikut ini adalah beberapa gambar-gambar variasi nilai K-eff terhadap waktu operasional PWR dalam penelitian ini.



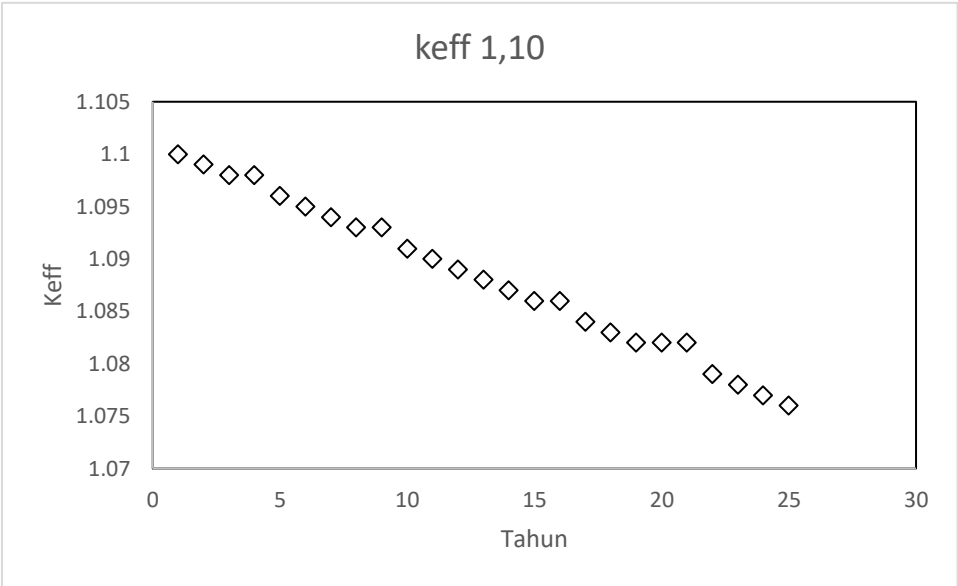
Gambar 2. Grafik K-eff terhadap waktu nilai K-eff 1,05



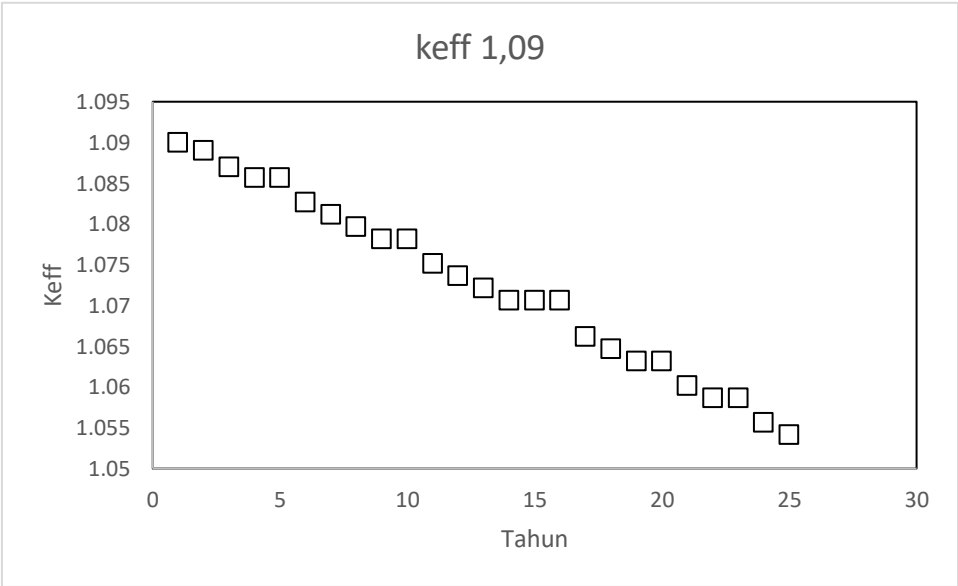
Gambar 3. Grafik K-eff terhadap waktu untuk nilai K-eff 1,08



Gambar 4. Grafik K-eff terhadap waktu untuk nilai K-eff 1,11



Gambar 5. Grafik K-eff terhadap waktu untuk nilai K-eff 1,10



Gambar 6. Grafik K-eff terhadap waktu untuk nilai K-eff 1,09

Dari **Gambar 2** sampai **Gambar 6**, dapat dilihat bahwa teras PWR yang didesain pada penelitian ini adalah desain optimal yang dapat dioperasikan selama 25 tahun tanpa melakukan penggantian ulang bahan bakar (refueling). Dari **Gambar 2** sampai **Gambar 6** juga dapat diketahui bahwa PWR yang di desain ini memiliki nilai K-eff sekitar 1 selama

pengoperasiannya dan mampu beroperasi sampai 25 tahun dengan penurunan nilai faktor multiplikasi (K-eff) yang relatif kecil. tanpa penggantian posisi bakar, penurunan nilai keefektif reaktor ini hana disebabkan oleh perubahan uranium (depleted uranium) (M. Salvatores, 1998)

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa Reaktor PWR berpendingin air ringan ini merupakan suatu pengembangan di bidang reaktor nuklir terutama pada jenis reaktor cepat yang memiliki tingkat keamanan serta keselamatan pasif (inherent safety) yang cukup baik. Kategori PWR disini dirancang untuk dapat dioperasikannya dalam jangka waktu 25 tahun tanpa melakukan pengisian ulang bahan bakarnya (refuelling) selama pengoperasiannya. Serta memiliki nilai factor multiplikasi 1 ($K_{eff} = 1$), tanpa penggantian posisi bakar, penurunan nilai keefektif reaktor ini hana disebabkan oleh perubahan uranium (depleted uranium).

Ucapan Terimakasih

Terima kasih banyak kepada Bu Eva dari Universitas Cendrawasih, yang supportif atas bantuan dan diskusinya dalam menyelesaikan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- H.A. Abderrahim, D. De Bruyn, M. Dierckx, R. Fernandez, L. Popescu, M. Schyns, A. Stankovskiy, G. Van den Eynde, D. 2019. Vandeplassche Myrrha accelerator driven system programme: recent progress and perspectives. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2019(2), 29-42. <https://doi.org/10.26583/npe.2019.2.03>
- Arya, (1996), Fundamental of Nuclear Physics. Boson. Allyn and Bacon, Inc.
- Asgari, (2007), Computational Neutronics Methods and Transmutation for Fast Reactors, Idaho National Laboratory.
- Barros, Graiciany de Paula, Pereira, Claubia, Veloso, Maria A. F., Costa, Antonella L. (2012). Study of an ADS loaded with thorium and reprocessed fuel. *Science and Technology of Nuclear Installations*, 2012, 934105. <https://doi.org/10.1155/2012/934105>
- Duderstadt, J.J. and Hamilton, (1976) Nuclear Reactor Analysis. New York, John Wile & Sons.
- Ivanyuk, (2021), Memoir effect in Langevin approach to the Nuclear Fission Process.
- Salvatores, M., Slessarev, I.S., Ritter, G.L., Fougeras, P., Tchistiakov, A.A., Youinou, G.J., & Zaetta, A. (1998). Long-lived radioactive waste transmutation and the role of accelerator driven (hybrid) systems. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section A-accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment*, 414, 5-20.H. Wolter et al. (2022), Transport Model Comparison Studies of Intermediate-Energy Heavy-Ion Collisions, vol. 12, 2022.
- Nakayama, S., Iwamoto, O., Watanabe, Y., & Ogata, K. (2021). JENDL/DEU-2020: deuteron nuclear data library for design studies of accelerator-based neutron sources. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 58(7), 805–821. <https://doi.org/10.1080/00223131.2020.1870010>
- Ilham, M., Rafli, H., & Su'ud, Z. (2020). Full core optimization of small modular gas-cooled fast reactors using OpenMC program code. *Journal of Physics: Conference Series*, 1493, 012007. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1493/1/012007>
- T. Setiadipura, et. al. (2015), Preliminary neutronic design of high burnup OTTO cycle pebble bed reactor, *Atom Indones.*, vol. 41, no. 1, pp. 7–15.
- Setiadipura, T., Irwanto, D., & Zuhair, Z. (2015). Preliminary neutronic design of high burnup OTTO cycle pebble bed reactor. *Atom Indonesia*, 41(1), 7.
- Shimada, K., Ishizuka, C., Ivanyuk, F. A., & Chiba, S. (2021). Dependence of total kinetic energy of fission fragments on the excitation energy of fissioning systems. *Physical Review C*, 104(5), 054609. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.104.054609>