

# ANALISIS RAPAT DAYA KELUARAN (*POWER DENSITY*) *SUPERCritical WATER REACTOR (SCWR)* TERHADAP VARIASI DESAIN TERAS REAKTOR

Rio Anshari

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Padang  
e-mail : rio.anshari@gmail.com

## ABSTRACT

*There are two possible alternative energy sources nowadays, namely renewable energy sources and nuclear energy source. Nuclear energy has a promising potential associated with large power generated and environmentally friendly (in the context of normal operation). Currently being developed some new reactors generation IV to replace reactors generation III that are currently operating and had almost reached the shut down period. One of the candidates in Generation IV nuclear reactors is Supercritical Water Reactor (SCWR). The study was conducted to obtain the reactor core design that has the most optimal for SCWR operation that produces maximum power than others. The results obtained, namely the composition for type I numerically assembly provides output power of 3575.15 MWT with an error of 0.00062%, while the composition of the assembly for type II numerically provide output power at 3269.17 MWT with an error of 0.00057%. The composition of type I provides greater power than the composition of type II but lack of stability than type II.*

**Keywords :** *Supercritical, Nuclear, Reactor, SCWR, Power Density, Numerical method*

---

## PENDAHULUAN

Salah satu faktor penting yang mendukung keberlangsungan dan perkembangan peradaban manusia adalah terjaminnya ketersediaan energi yang memadai. Ketersediaan energi berpengaruh secara langsung terhadap perekonomian sebuah negara. Untuk menjadi negara maju, suatu negara akan membutuhkan pasokan energi yang sangat besar karena hampir semua sektor memerlukan energi, terutama transportasi dan industri. Sebagian besar kebutuhan energi dunia masih dipasok dari bahan bakar fosil (*Fossil Fuels*) (Bodansky, 2004). Namun menyandarkan sumber energi pada bahan bakar fosil sepertinya bukanlah keputusan yang baik.

Terdapat dua alternatif sumber energi lain yang digunakan saat ini, yaitu sumber energi terbarukan (*renewable source*) dan energi nuklir (*Nuclear source*). Energi

terbarukan merupakan sumber-sumber energi yang berasal dari alam yang memiliki *source* tak terbatas dan terbarukan. Beberapa contoh sumber energi terbarukan antara lain energi air (*Hydroelectric power*), energi angin (*Wind power*), energi panas matahari (*direct solar heating*), energi cahaya matahari (*Photoelectric power*), energi panas bumi (*Geothermal power*) dan energi pasang laut (*Tidal power*) (Bodansky, 2004). Dari beberapa sumber energi terbarukan ini, energi air masih yang terbesar yang menyumbangkan pasokan listrik dunia terutama pada negara berkembang, sedangkan sumber yang lainnya memberikan kontribusi yang masih terbilang kecil. Namun penelitian dan eksperimen terkait masih terus dilakukan untuk mengoptimalkan sumber-sumber tersebut.

Energi nuklir merupakan sebuah sumber energi yang diperoleh dari reaksi

inti atom. Secara umum terdapat dua reaksi inti atom, yaitu reaksi penggabungan (Fusi) dan reaksi pembelahan (Fisi). Oleh karena itu terdapat dua kemungkinan pemanfaatan dari energi nuklir, yaitu energi nuklir dari reaksi fusi dan dari reaksi fisi. Namun pada prakteknya untuk saat ini teknologi manusia belum memadai untuk memanfaatkan energi fusi karena sangat sukar untuk menciptakan suatu sistem efektif yang mampu mempertahankan keberlangsungan dari suatu reaksi fusi. Energi nuklir yang diperoleh dari reaksi fisi hingga saat ini merupakan pilihan utama pada pemanfaatan energi nuklir.

Penggunaan energi bahan bakar fosil yang banyak dimanfaatkan sekarang ini memiliki kontribusi yang besar terhadap naiknya suhu bumi saat ini yang juga dikenal dengan istilah *Global Warming*. Hal ini dikarenakan pelepasan gas CO<sub>2</sub> yang merupakan hasil dari pembakaran (oksidasi) zat organik seperti bahan bakar fosil. Ini merupakan permasalahan yang sedang dihadapi oleh dunia pada saat sekarang ini. Selain itu juga karena telah menipisnya cadangan bahan bakar fosil dunia. Sementara itu energi nuklir memberikan solusi terbaik pada dunia. Selain kemampuannya untuk menghasilkan daya listrik yang besar, energi nuklir juga tidak menghasilkan gas buangan yang mencemari bumi. Ketersediaan bahan bakar juga mencukupi bagi keberlangsungan penggunaan energi ini.

*Supercritical Water Reactor (SCWR)* merupakan reaktor yang sedang dikembangkan sebagai calon PLTN selanjutnya. SCWR merupakan jenis *Fast Reactor*. Reaktor ini dijadikan sebagai kandidat PLTN generasi selanjutnya dikarenakan *fast spectrum* dari reaktor menghasilkan daya lebih besar dengan biaya produksi lebih sedikit dari termal reaktor yang ada saat ini. Penelitian ini akan membahas desain dari teras reaktor yang optimal yang

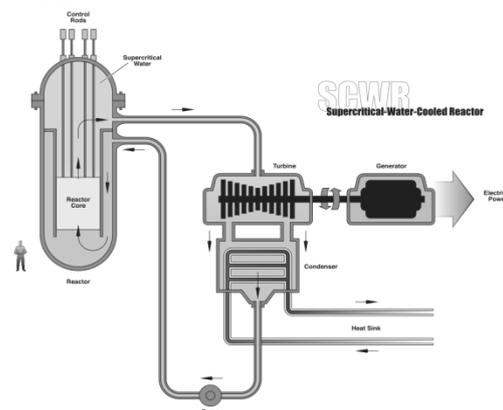
dapat menghasilkan daya keluaran yang maksimum dan stabil.

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode perhitungan kuantitatif dengan metoda numerik (*Numerical Method*) dengan menggunakan model analisa numerik untuk mengkaji keadaan neutronik di dalam teras reaktor yang kemudian memperlihatkan rapat daya keluaran (*power density*) dari reaktor.

### Supercritical Water Reactor (SCWR)

*Supercritical Water Reactor* merupakan bagian dari konsep reaktor generasi IV yang menggunakan *supercritical water* sebagai *coolant*. SCWR mirip dengan LWR tetapi beroperasi dengan tekanan dan temperature yang lebih tinggi dengan siklus pendingin menggunakan tipe *direct once-through cycle* seperti BWR namun pendingin masih tetap dalam fasa yang sama seperti PWR. SCWR merupakan salah satu kandidat tipe PLTN yang akan dipakai sebagai pengganti PLTN yang sedang beroperasi saat ini dikarenakan efisiensi termalnya yang lebih tinggi, yaitu mencapai 45% dan desainnya yang relatif sederhana dibandingkan reaktor yang ada saat ini.



Gambar 1. *Supercritical Water Reactor (SCWR)*

SCWR telah pernah dikaji, baik oleh Uni Soviet dan Amerika Serikat pada awal

tahun 1950-an, namun karena keterbatasan teknologi saat itu, kajian terhadap reaktor ini kemudian dihentikan hingga saat ini kemudian dikaji kembali dikarenakan kelebihan dibandingkan reaktor yang ada saat ini. SCWR pernah dibangun sebanyak dua unit pada *Beloyarsk Nuclear Power Station* yang kemudian dihentikan pengoperasiannya.

SCWR menggunakan air superkritis sebagai moderator dan pendingin reaktor. Diatas keadaan kritis, uap air dan air memiliki kerapatan yang sama sehingga bercampur dan tidak dapat dipisahkan. Keadaan ini mengakibatkan fasa dari pendingin tetap dalam keadaan cair. Dengan keadaan superkritis ini, *reactor vessel* tidak lagi membutuhkan *pressurizer*, *steam generators*, *jet/recirculation pumps*, *steam separator* maupun pengembun. Karena SCWR juga menghindari terjadinya pendidihan pendingin maka pada SCWR tidak terbentuk gelembung-gelembung (*bubbles*) sehingga baik kerapatan pendingin maupun kerja moderasi pendingin tidak terjadi peningkatan.

### Perhitungan Power Density Teras Reaktor

Bila distribusi fluks neutron  $\phi(r)$  dalam teras reaktor telah diketahui, maka distribusi kerapatan daya (*power density*) dalam teras reaktor dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Duderstadt, 1976):

$$q'''(\vec{r}) = E_f \Sigma_f \Phi(\vec{r})$$

dimana daya termal dari teras reaktor dapat diperoleh :

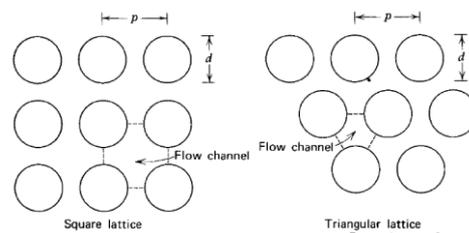
$$MW_t = q'''_{average} \cdot V_{core}$$

Teras reaktor pada umumnya berbentuk silinder, karena bila ditinjau dari faktor kebocoran neutron (*neutron leakage*) dan aliran pendingin (*coolant flow*), maka

geometri silinder adalah yang paling optimal. Volume teras reaktor dapat dituliskan :

$$V_{core} = \pi R_{core}^2 H$$

*Fuel rod assembly* di dalam teras reaktor dapat disusun dalam 2 jenis formasi, yaitu formasi segi empat (*rectangular atau square lattice geometry*) dan formasi segitiga (*triangular lattice geometry*) (Duderstadt, 1976).

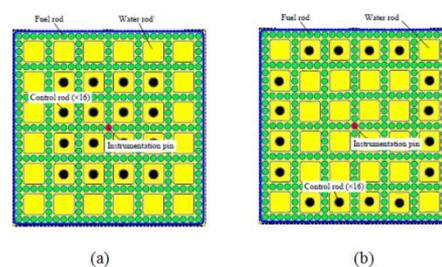


Gambar 2. Formasi Segiempat dan Segitiga *Fuel Rods*

$$D_h = d \left( \frac{4}{\pi} \left( \frac{p}{d} \right)^2 - 1 \right)$$

### Desain Teras Reaktor

Prosedur desain teras reaktor terdiri atas dua bagian, *nuclear design* dan analisis termal hidrolis. Kajian menggunakan analisa difusi neutron berbasis *fine-mesh multi group*. Gambar 3 di bawah memperlihatkan desain awal dari teras reaktor yang akan dikembangkan.



Gambar 3. Tipe Susunan Bahan Bakar pada Penelitian

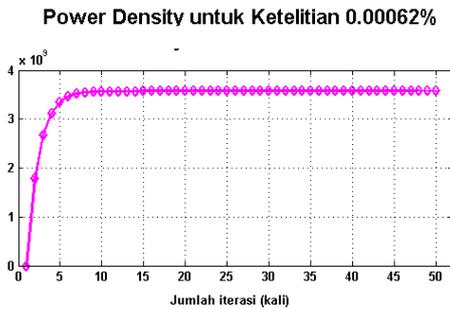
Dari kriteria susunan teras reaktor yang ada, dilakukan analisa neutronik dan termal hidrolis sehingga diperoleh bentuk desain

core yang sesuai yang dapat memberikan daya keluaran terbesar.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

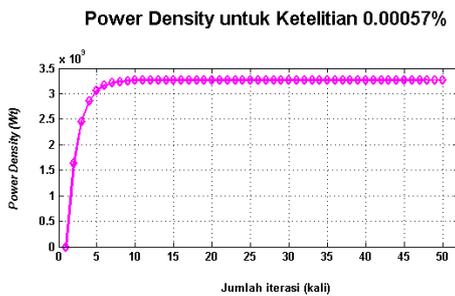
### Hasil

Hasil perhitungan numerik rapat daya reaktor untuk susunan tipe I memperoleh besar rapat daya sebesar 3.575,15 MWt dengan hasil perhitungannya sebagai berikut :



Grafik 1. *Power Density* Reaktor Susunan Tipe I Nilai Ketelitian Perhitungan Numerik 0.00062%

Hasil perhitungan numerik rapat daya reaktor untuk susunan tipe II memperoleh besar rapat daya sebesar 3.269,17 MWt dengan hasil perhitungannya sebagai berikut :

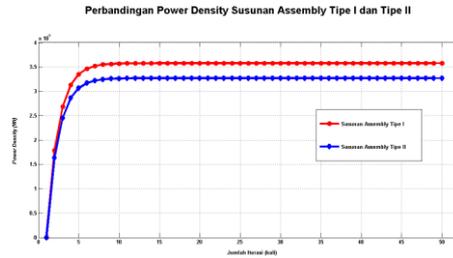


Grafik 2. *Power Density* Reaktor Susunan Tipe II Nilai Ketelitian Perhitungan Numerik 0.00057%

### Discussion

Perhitungan dengan menggunakan metoda numerik telah diterapkan kepada kedua tipe susunan *assembly* bahan bakar dan

diperoleh nilai *Power Density* seperti terlihat pada grafik dan tabel berikut ini :



Grafik 3. Perbandingan *Power Density* Susunan *Assembly* Bahan Bakar Tipe I dan II

Tabel 1. Resume Data Hasil Perhitungan *Power Density* untuk Kedua Tipe Susunan *Assembly*.

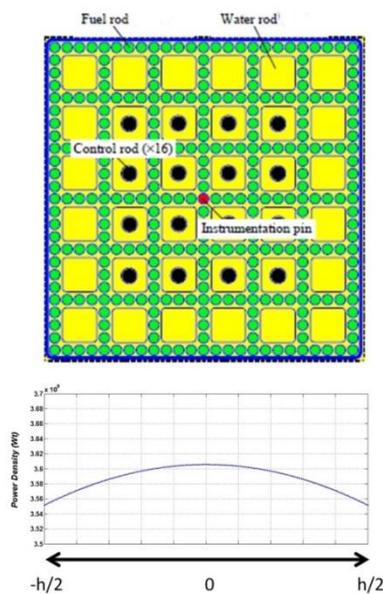
	<i>Power Density</i> (MWt)	Ketelitian (%)
<i>Assembly</i> Tipe I	3.575,15	0,00062
<i>Assembly</i> Tipe II	3.269,17	0,00057

Terlihat bahwa susunan *assembly* bahan bakar Tipe I memiliki nilai *Power Density* yang lebih besar dibandingkan dengan susunan *assembly* bahan bakar Tipe II. Hal ini disebabkan dari distribusi pendingin (*coolant*) yang sedikit berbeda antara susunan tipe I dan tipe II.

Dilihat dari segi kestabilan, susunan *assembly* bahan bakar Tipe II cenderung lebih stabil bila dibandingkan dengan susunan *assembly* bahan bakar Tipe I karena distribusi daya (distribusi energi panas reaktor) tersebar merata pada bagian tepi *assembly*, sedangkan susunan *assembly* bahan bakar Tipe I distribusi daya (energi panas reaktor) bertumpuk pada bagian

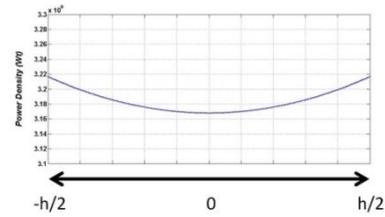
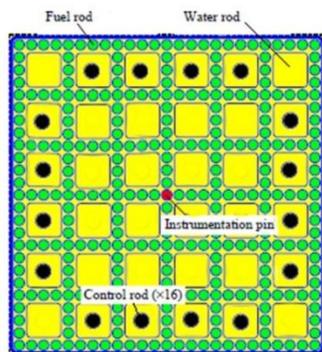
tengah *assembly*. Pada kondisi operasi normal, susunan Tipe I lebih disarankan karena menghasilkan daya keluaran yang lebih besar, namun jika terjadi keadaan transien (*superkritis/accident*) susunan Tipe I ini cukup rentan untuk memicu terjadinya penumpukan panas dan dapat berujung kepada pelelehan teras reaktor (*core melted*). Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis dan modifikasi pada tingkat selanjutnya agar diperoleh susunan *assembly* yang terbaik untuk digunakan pada reaktor tipe SCWR ini.

Pola Distribusi Daya dalam *Assembly* Bahan Bakar Tipe I



Gambar 4. Distribusi Daya Bahan Bakar di dalam *Assembly* Teras Reaktor Tipe I

Pola Distribusi Daya dalam *Assembly* Bahan Bakar Tipe II



Gambar 4. Distribusi Daya Bahan Bakar di Dalam *Assembly* Teras Reaktor Tipe II

## KESIMPULAN

### Kesimpulan

Setelah dilakukan perhitungan dengan metode numerik dan kemudian dengan menganalisis hasil yang diperoleh, sebagai kesimpulan yang dapat ditarik dari kegiatan penelitian yang telah dilakukan, yaitu :

1. Telah dilakukan perhitungan numerik terhadap dua tipe desain *fuel assembly* dari bahan bakar di dalam teras reaktor dan diperoleh hasil bahwa susunan tipe I memberikan daya keluaran rata-rata sebesar 3.575,15 MWt.
2. Telah dilakukan perhitungan numerik terhadap dua tipe desain *fuel assembly* dari bahan bakar di dalam teras reaktor dan diperoleh hasil bahwa susunan tipe I memberikan daya keluaran rata-rata sebesar 3.269,17 MWt.
3. Dari analisis hasil perhitungan yang telah diperoleh, didapatkan kesimpulan bahwa susunan tipe I memberikan daya keluaran yang lebih besar daripada susunan tipe II.
4. Dari analisis distribusi daya reaktor diperoleh kesimpulan bahwa susunan tipe I kurang stabil dibandingkan dengan susunan tipe II jika seandainya reaktor tersebut sedang dalam keadaan transien (*superkritis/accident*).

## DAFTAR PUSTAKA

- Buongiorno, Jacopo. 2003. **Supercritical Water Reactor (SCWR) : Progress Report for the FY-03 Generation-IV**

- R&D Activities for the Development of the SCWR in the U.S. INEEL. Idaho.
- Bodansky, David. 2004. **Nuclear Energy - Principles, Practices, and Prospects**. Springer. New York.
- DeVries, Paul L. 1994. **A First Course in Computational Physics**. John Wiley & Sons. Canada.
- Duderstadt, James J. dan Louis J Hamilton. 1976. **Nuclear Reactor Analysis**. John Wiley & Sons. New York.
- Lewis, Elmer. E. 2008. **Fundamentals of Nuclear Reactor Physics**. Academic Press. Massachusetts.
- Naidin, M. 2009. **Super Critical Water-Cooled Nuclear Reactors (SCWRs) Thermodynamic Cycle Options and Thermal Aspects of Pressure-Channel Design**. IAEA-Canada. Ontario
- Oka, Yoshiaki. Et al. 2010. **Super Light Water Reactors and Super Fast Reactors: Supercritical-Pressure Light Water Cooled Reactors**. Springer. New York.
- Raja, A.K. 2006. **Power Plant Engineering**. New Age International. New Delhi.
- Stacey, Weston M. 2007. **Nuclear Reactor Physics**. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim-Germany.
- Waltar, Alan. E. 2012. **Fast Spectrum Reactors**. Springer. New York.