

ANALISIS PENGARUH FRAKSI VOLUME NANOPARTIKEL Al_2O_3 TERHADAP KOEFISIEN PERPINDAHAN KALOR KONVEKSI PAKSA DI TERAS REAKTOR NUKLIR BERBAHAN BAKAR SILINDER DENGAN SUSUNAN SUB BULUH SEGI ENAM

Anwar Ilmar Ramadhan^{1*}, Ery Diniardi¹, Hasan Basri²

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta

²Jurusan Otomotif dan Alat Berat, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta

*Email: anwar.ilmar@umj.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan dan penggunaan energi nuklir saat ini berkembang sangat pesat, untuk mencapai teknologi yang semakin maju, baik dari segi desain, faktor ekonomi dan juga faktor keselamatannya. Dari aspek termofluida reaktor nuklir harus dilakukan dengan perhitungan dan kondisi yang mendekati sempurna. Termasuk saat ini adalah pengembangan fluida pendingin yang berasal dari nanofluida. Secara teoritis nanofluida memiliki konduktivitas termal yang tinggi dibandingkan fluida air ringan yang biasa digunakan diteras reaktor nuklir diseluruh dunia. Dalam penelitian ini akan dilakukan pemodelan analitik dari perpindahan panas konveksi pada teras reaktor nuklir berbahan bakar silinder dengan susunan sub buluh segi enam ketika menggunakan nanofluida Al_2O_3 sebagai fluida pendingin. Selanjutnya untuk pemodelan analitik ini akan dilakukan dengan menggunakan CFD code.

Kata kunci: nanofluida, konveksi paksa, CFD, sub buluh, reaktor nuklir

ABSTRACT

The development and use of nuclear energy is currently growing very rapidly, in order to achieve increasingly advanced technology, both in terms of design, economic factors and also the safety factor. Thermal-hydraulics aspects of nuclear reactors should be done by calculation and a near-perfect condition. Including today is the development of cooling fluid that comes out of nanofluids. Theoretically nanofluids has a thermal conductivity higher than the fluid used light water nuclear reactors worldwide diteras. In this research will be conducted analytic modeling of convection heat transfer in a nuclear reactor core fueled cylinder with reed sub arrangement of hexagons when using Al_2O_3 nanofluids as coolant fluid. Further to this analytic modeling will be carried out by using CFD code.

Keywords: nanofluids, forced convection, CFD, sub channel, nuclear reactor

PENDAHULUAN

Keselamatan merupakan masalah yang sangat diperhatikan dalam proses perancangan, pengoperasian dan pengembangan suatu reaktor nuklir. Oleh sebab itu, metode analisis yang digunakan dalam semua kegiatan tersebut harus teliti dan handal sehingga mampu memprediksi berbagai kondisi pengoperasian reaktor, baik pada kondisi operasi normal maupun pada saat terjadi kecelakaan. (Umar, 2007). Selain aspek neutronik, aspek termohidrolika merupakan aspek yang penting untuk keselamatan desain dan pengoperasian

suatu reaktor nuklir. Besaran termohidrolika seperti tekanan, laju aliran pendingin dan temperatur bahan bakar perlu diketahui melalui prediksi perhitungan (Nazar, 1997).

Menurut Ramadhan, A. I., (2012) bahwa nanofluida Al_2O_3 dapat dikembangkan lebih lanjut untuk digunakan sebagai fluida pendingin di teras reaktor nuklir yang berbasis fluida pendinginnya adalah fluida air ringan maupun fluida yang lainnya. Sehingga kelak nanofluida dapat menggantikan fluida pendingin yang sudah ada. Dimana nanofluida memiliki konduktivitas termal yang tinggi

dibandingkan fluida air ringan. Salah satu penelitian yang saat ini menjadi prioritas dalam penelitian sistem pendinginan adalah penggunaan nano-partikel yang dicampur dengan air (nanofluida) untuk meningkatkan performa pengambilan kalornya. Secara teoritis nanofluida termasuk didalamnya nanopartikel memiliki nilai konduktivitas termal yang tinggi dibandingkan fluida air ringan biasa, sehingga mampu menyerap dan memindahkan kalor dengan lebih baik. Buongiorno dan timnya di *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) di Amerika telah melakukan penelitian yang berkaitan dengan nanofluida, telah dibuktikan bahwa nilai *Critical Heat Flux* (CHF) nanofluida lebih besar dibandingkan fluida air ringan biasa. (Buongiorno, dkk., 2008)

Penelitian ini akan menggunakan nanofluida sebagai fluida pendingin di teras reaktor nuklir berbahan bakar silinder dengan susunan sub buluh segi enam. Kegiatan penelitian difokuskan pada pengkajian lebih dalam mengenai aspek termofluida atau pengambilan panas hasil reaksi fisi nuklir secara konveksi yang terjadi di teras reaktor nuklir berbahan bakar silinder dengan susunan sub buluh segi enam dengan menggunakan nanofluida Al_2O_3 sebagai fluida pendingin.

METODE PENELITIAN

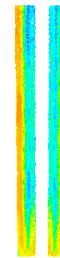
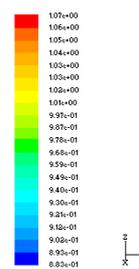
Metodologi atau pendekatan yang akan dilakukan adalah dengan menggunakan metode numerik dengan terlebih dahulu melakukan analisis awal berdasarkan literatur-literatur yang digunakan. Langkah-langkah metodologinya, sebagai berikut:

- a. Melakukan studi literatur dan melakukan analisis berdasarkan data-data awal dari penelitian perpindahan kalor nanofluida yang pernah dilakukan.
- b. Membuat pemodelan untuk teras reaktor nuklir berbahan bakar silinder susunan sub buluh segi enam dengan menggunakan CFD Code, yaitu FLUENT untuk memperoleh data-data distribusi suhu bahan bakar dan juga pola vektor kecepatan aliran di teras reaktor nuklir.
- c. Melakukan analisis data dan perhitungan akhir, sehingga diperoleh perhitungan numerik dan juga perhitungan analitik untuk aspek termal yang terjadi di teras reaktor nuklir menggunakan nanofluida Al_2O_3 sebagai fluida pendingin.

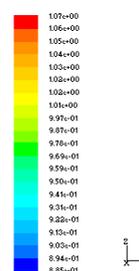
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Kecepatan Aliran pada Sub Buluh di Teras Reaktor *Small Modular Reactor* (SMR)

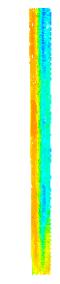
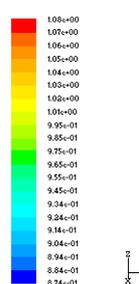
Karakteristik pola aliran pergerakan dari nanofluida sebagai fluida pendingin secara konveksi yang terjadi di teras reaktor nuklir tipe *Small Modular Reactor* (SMR) dengan sub buluh segi enam, dapat dilihat pada Gambar 1 hingga Gambar 3 berikut ini:



Gambar 1. Kontur kecepatan aliran nanofluida Al_2O_3 (1%) dengan fluks panas 1000 W/m^2



Gambar 2. Kontur kecepatan aliran nanofluida Al_2O_3 (3%) dengan fluks panas 1000 W/m^2



Gambar 3. Kontur kecepatan aliran fluida Air dengan fluks panas 1000 W/m^2

Pada Gambar 1. menunjukkan kondisi perlakuan nanofluida Al_2O_3 untuk kondisi diberikan fluks panas 100 dan 1000 W/m^2 dengan fraksi volumenya sebesar 1%, dan

untuk Gambar 2. merupakan nanofluida Al_2O_3 dengan fraksi volume sebesar 3%, dan untuk Gambar 3. menunjukkan perbandingan fluida pendingin yang biasanya digunakan pada pendingin reaktor nuklir yaitu fluida air H_2O .

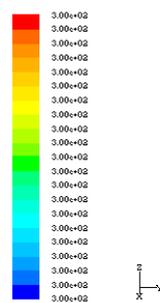
Gambar 1. hingga Gambar 3. merupakan kontur kecepatan aliran dari nanofluida Al_2O_3 dan fluida air ringan H_2O pada posisi tengah dari sub buluh pada segi enam di teras reaktor nuklir tipe *Small Modular Reactor* (SMR). Pada Gambar tersebut memperlihatkan pola kecepatan aliran searah sumbu z (dari bawah ke atas) menunjukkan terjadinya penurunan kecepatan dimulai pada awal pergerakan aliran sebesar 1 m/s menurun pada akhir sub buluh menjadi sebesar 0.95 m/s. Hal ini membuktikan bahwa yang terjadi adalah konveksi paksa, yaitu terjadinya pergerakan fluida yang disebabkan oleh perbedaan kerapatan fluida dan juga karena faktor gradien temperatur fluidanya.

Dan, juga menunjukkan bahwa profil kecepatan aliran dari masing-masing nanofluida dan juga fluida air terjadinya peningkatan kecepatan aliran diawal ditandai dengan warna kuning sebagai awal kecepatan yang diberikan, kemudian menurun dengan ditandai pada hasil simulasi adalah warna biru muda.

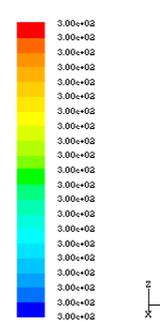
Distribusi Suhu Dinding Silinder pada Sub Buluh di Teras *Reaktor Small Modular Reactor* (SMR)

Selanjutnya, setelah mengetahui pola aliran yang terjadi pada teras reaktor nuklir tipe *Small Modular Reactor* (SMR) dengan susunan sub buluh segi enam, dapat dianalisis distribusi suhu pada dinding silinder bahan bakar ketika diberikan fluida pendinginnya yaitu nanofluida Al_2O_3 dan fluida air ringan H_2O , dapat dilihat pada Gambar 4 hingga 6 berikut ini:

Gambar 4. Kontur distribusi suhu untuk nanofluida Al_2O_3 (1%) dengan fluks panas $1000 W/m^2$



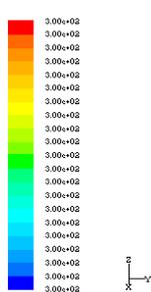
Gambar 5. Kontur distribusi suhu untuk nanofluida Al_2O_3 (3%) dengan fluks panas $1000 W/m^2$



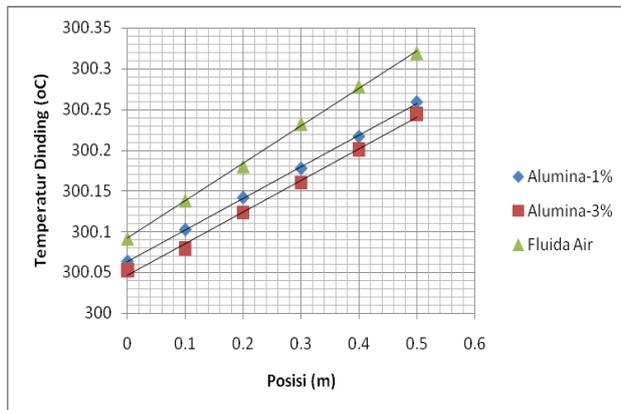
Gambar 6. Kontur distribusi suhu untuk fluida Air H_2O dengan fluks panas $1000 W/m^2$

Pada Gambar 4 hingga 6, merupakan kontur distribusi suhu dari masing-masing fluida pendingin, yaitu nanofluida Al_2O_3 dan fluida air ringan H_2O pada kondisi fluks panas $1000 W/m^2$ untuk 7 elemen bahan bakar pada susunan sub buluh segi enam pada teras reaktor nuklir *Small Modular Reactor* (SMR).

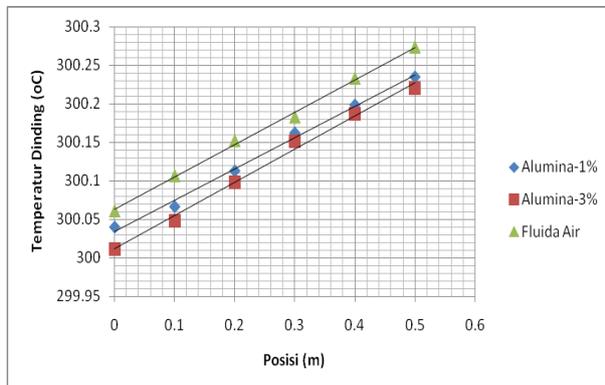
Dari Gambar diatas terlihat bahwa pola distribusi suhu pada masing-masing fluida pendingin memiliki kemiripan distribusi suhu pada silinder elemen bahan bakarnya, yaitu penyebaran suhu pada silinder awal searah sumbu z (pada 0 m hingga 0.5 m) akan mengalami kenaikan secara signifikan dan mendekati pola linear. Sehingga apabila dibuatkan grafik hubungan antara distribusi



suhu dinding silinder terhadap posisi (m) untuk masing-masing fluida pendingin dengan kondisi fluks panas 100 W/m^2 dan 1000 W/m^2 , dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8 dibawah ini:



Gambar 7. Hubungan besaran distribusi suhu dinding silinder terhadap posisi (m) pada sub buluh segi enam di teras reaktor nuklir SMR untuk nanofluida Al_2O_3 dan Air H_2O dengan fluks panas 100 W/m^2



Gambar 8. Hubungan besar distribusi suhu dinding silinder terhadap posisi (m) pada sub buluh segi enam di teras reaktor nuklir SMR untuk nanofluida Al_2O_3 dan Air H_2O dengan fluks panas 1000 W/m^2

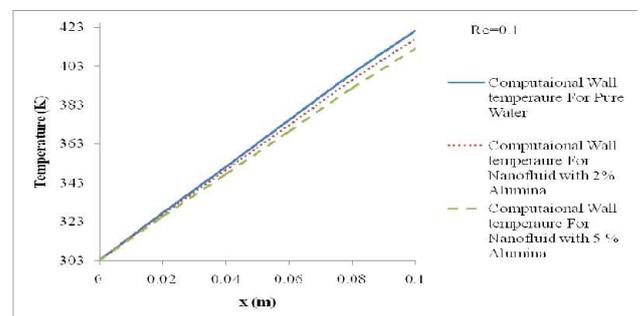
Dari Gambar 7 dan Gambar 8 memperlihatkan untuk masing-masing fluida pendingin yaitu nanofluida Al_2O_3 dan fluida air ringan H_2O dengan masing-masing kondisi fluks panas di silinder elemen bahan bakar menunjukkan pola kecenderungan kenaikan seiring dengan posisi silinder tersebut, dimulai

pada posisi 0 m hingga posisi 0.5 m (ujung silinder elemen bahan bakar).

Hal ini disebabkan faktor sifat-sifat fluida (kerapatan fluida, viskositas dan konduktivitas termal serta kapasitas panas) dari fraksi volume Alumina yang digunakan sebagai fluida pendingin. Dan untuk nilai besarnya temperatur dinding yang besar untuk fluida adalah karena nilai konduktivitas termal yang kecil dibandingkan konduktivitas termal yang dimiliki oleh nanofluida Alumina 1%, 2% dan 3%. Dimana nilai konduktivitas termal berbanding terbalik dengan temperatur dinding silinder elemen bahan bakar.

Dan, menunjukkan juga bahwa nanofluida memiliki temperatur dinding yang lebih kecil dibandingkan fluida air ringan (H_2O). Hal ini membuktikan bahwa kecepatan yang diberikan sebesar 1 m/s tidak terlalu mempengaruhi temperatur dinding dari silinder elemen bahan bakar.

Hasil penelitian ini membuktikan riset yang diperoleh oleh Pandey, dkk, seperti Gambar 9. berikut ini:



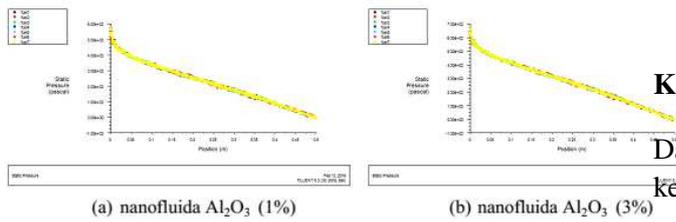
Gambar 9. Hubungan besar distribusi suhu dinding terhadap posisi (m) pada *microchannel* [Pandey, 2011]

Dengan membandingkan grafik yang diperoleh antara Gambar 7 dan 8 terhadap Gambar 9 [Pandey, 2011] menunjukkan pola yang sama, yaitu fluida air ringan memiliki nilai suhu dinding yang lebih besar dibandingkan suhu dinding untuk nanofluida Al_2O_3 , hal ini dipengaruhi oleh pergerakan kecepatan aliran pada sub buluh sehingga terlihat penaikkan pola penyebaran distribusi suhu pada dinding silinder.

Selanjutnya dapat dilihat hasil simulasi numerik untuk koefisien perpindahan kalor

konveksi paksa dengan menggunakan CFD Code adalah sebagai berikut:

kalornya terhadap posisi elemen bakar silinder pada model uji mengalami penurunan pada masing-masing elemen bakar.

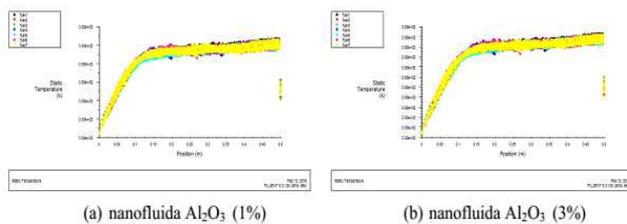


KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini memberikan kesimpulan sebagai berikut:

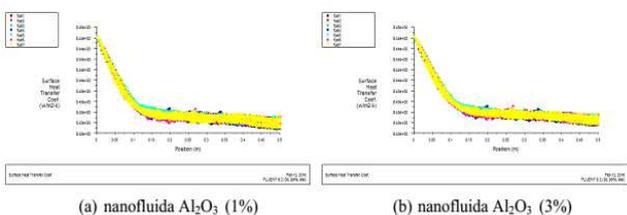
Gambar 10. Grafik hubungan antara tekanan statis terhadap posisi elemen bakar

Gambar 10. menerangkan bahwa untuk nanofluida Al₂O₃ (1%) dan (3%) memiliki pola tekanan statis yang sama, yaitu mengalami penurunan tekanan berdasarkan pengaruh pada titik posisi elemen bakar silinder pada model alat uji.



Gambar 11. Grafik hubungan antara temperatur statis terhadap posisi elemen bakar

Pada Gambar 11. memperlihatkan bahwa nanofluida Al₂O₃ (1%) dan (3%) memiliki hubungan antara temperatur statis terhadap posisi elemen bakar silinder pada model uji mengalami kenaikan pada masing-masing elemen bakar.



Gambar 12. Grafik hubungan antara koefisien perpindahan kalor terhadap posisi elemen bakar

Pada Gambar 12. memperlihatkan bahwa nanofluida Al₂O₃ (1%) dan (3%) memiliki hubungan antara koefisien perpindahan panas

1. Pola penyebaran kecepatan aliran pada masing-masing fluida pendingin (fluida air ringan (H₂O) dan nanofluida Al₂O₃ (1% dan 3%) memiliki pola yang hampir sama, yaitu diawal mengalami kecepatan yang besar, seiring dengan ketinggian secara alamiah mengalami penurunan kecepatan aliran diujung silinder. Sehingga membuktikan konveksi yang terjadi adalah konveksi alamiah.
2. Distribusi suhu pada dinding pada analisis perpindahan panas yang terjadi di sub buluh segi enam pada *Small Modular Reactor* (SMR) memperlihatkan kecenderungan kenaikan secara signifikan dan mendekati kenaikan secara linear pada posisi searah sumbu z, dan membuktikan pula bahwa fluida air memiliki nilai distribusi suhu dinding yang lebih besar daripada nanofluida Al₂O₃ (1% dan 3%) .
3. Hasil simulasi dengan menggunakan numerikal terlihat bahwa untuk nilai koefisien perpindahan kalor secara konveksi paksa dipengaruhi oleh besarnya nilai fraksi volume pada nanopartikel di nanofluida Al₂O₃-Water, yaitu nilai fraksi volume 3% memiliki nilai koefisien perpindahan kalor yang lebih besar dibandingkan fraksi volume 1%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Muhammadiyah Jakarta, yang telah memberikan dana hibah penelitian pada tahun 2016.

DAFTAR PUSTAKA

- Bang, I. C., and Jeong, J. H., 2011, *Nanotechnology for Advanced Nuclear Thermal-Hydraulic and Safety: Boiling and Condensation*, Nuclear Engineering and Technology, Volume 43 No 3
- Buongiorno, et. al, 2008, *Alumina Nanoparticles Enhance the Flow Boiling Critical Heat Flux of Water at Low Pressure*, *Jurnal of Heat Transfer*, Volume 130
- Das, S.K., et al, 2007, *Nanofluids Science and Technology*, Jhon Wiley and Sons, Inc., United State of America
- Fuzaetun, 2007, *Penentuan Distribusi Daya Reaktor PLTN dengan Bahan Bakar Dimuati Thorium*, Skripsi Program Sarjana, Universitas Negeri Semarang, Semarang
- Gimenez., M.O., 2011, *CAREM Technical Aspects, Project and Licensing Status*, Interregional Workshp on Advanced Nuclear Reactor Technology, Vienna
- Li, C. H., Peterson, G.P., 2010, *Experimental Studies of Natural Convection Heat Transfer Al_2O_3/DI Water Nanoparticle Suspensions (Nanofluids)*, *Advances in Mechanical Engineering*, Volume 2010, Hindawi Publishing Corporation
- Nazar, R., 1997, *Kaji Teoritik Aspek Termohidrolik Reaktor Riset Pada Daya 2 MW*, Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung, Bandung
- Pandey, A.K., 2011, *A Computational Fluid Dynamics Study of Fluid Flow and Heat Transfer in a Micro Channel*, Tesis Program Magister, National Institute of Technology Rourkela, India
- Ramadhan, A.I, 2012, *Analisis Perpindahan Panas Fluida Pendingin Nanofluida Di Teras Reaktor (Pressurized Water Reactor) Dengan Computational Fluid Dynamics*, Tesis Program Magister, Universitas Pancasila, Jakarta
- Umar, E., 2007, *Studi Termohidrolik Pada Reaktor Nuklir-Penelitian Berbahan bakar Silinder*, Disertasi Program Doktor, Institut Teknologi Bandung, Bandung
- Wang, X. Q., and Mujumdar, S. A., 2008, *A Review On Nanofluids-Part II: Experiments and Applications*, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, Volume 2008, Brazil
- Wong, K. V., and Leon, O.D., 2010, *Applications of Nanofluids : Current and Future*, *Advances in Mechanical Engineering*, Volume 2010, Hindawi Publishing Corporation
- Yuliasyari, F., 2007, *Perpindahan Kalor Nanofluida Pada Sistem Pendingin Komponen Elektronik*, Tesis Program Magister, Universitas Indonesia, Jakarta