

**DESAIN PENGEMBANGAN MODEL ALAT UJI REAKTOR NUKLIR  
TIPE *SMALL MODULAR REACTOR* (SMR) MENGGUNAKAN  
NANOFLUIDA SEBAGAI FLUIDA PENDINGIN**

**Erwin Dermawan<sup>1</sup>**

[erwindermawan@yahoo.com](mailto:erwindermawan@yahoo.com)

Jurusan Teknik Elektro

Universitas Muhammadiyah Jakarta

**Rasma<sup>2</sup>**

[emorasma@yahoo.com](mailto:emorasma@yahoo.com)

Jurusan Otomotif dan Alat Berat

Universitas Muhammadiyah Jakarta

**Ery Diniardi<sup>3</sup>**

[erydiniardi@yahoo.co.id](mailto:erydiniardi@yahoo.co.id)

Jurusan Teknik Mesin

Universitas Muhammadiyah Jakarta

**Anwar Ilmar Ramadhan<sup>4</sup>**

[airamadhan@yahoo.com](mailto:airamadhan@yahoo.com)

Jurusan Teknik Mesin

Universitas Muhammadiyah Jakarta

### 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 mulai dikembangkannya reaktor nuklir dengan daya rendah dibawah 300 MW, atau biasa disebut dengan *Small Modular Reactor* (SMR). Salah satunya adalah CAREM-25 yang dikembangkan oleh Argentina dengan daya 25 MW. Dimana pada CAREM sudah menggunakan sistem *natural circulation* dan penggunaan nanofluida sebagai fluida pendingin. Dalam penelitian ini akan dilakukan pemodelan analitik termohidrolika reaktor nuklir CAREM-25 ketika digunakan nanofluida  $Al_2O_3$  sebagai fluida pendingin di sistem pendingin reaktor nuklir. Selanjutnya untuk pemodelan analitik ini akan dilakukan pada *CFD Code*.

**Kata Kunci:** *energi nuklir, termofluida, Small Modular Reactor, nanofluida, CFD Code*

## I. 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).

Saat ini mulai dilakukan pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir atau PLTN diseluruh dunia dengan tipe *Small Modular Reactor* (SMR) yaitu reaktor

nuklir mini dengan daya dibawah 300 MW. Dimana kelebihan dari *Small Modular Reactor* (SMR) adalah lebih fleksibel dalam masalah desainnya, lebih murah harga pembangunannya dan juga harga perawatannya, serta kelebihan dari SMR dilakukannya penyatuan sistem termohidrolika dari 2 sistem loop pendinginannya menjadi satu loop pendingin dengan kata lain digunakannya sistem integral loop pada SMR.

Fluida pendingin SMR menggunakan fluida ringan ( $H_2O$ ) di sistem integral loop pendingin reaktor. Studi terkait penggunaan nanofluida jenis lainnya sebagai pendingin menjadi kajian dan penelitian yang menarik dan penting untuk optimalisasi perpindahan kalor di dalam SMR, menjadi aspek termofluida penting dalam sistem pendinginan di reaktor nuklir.

Salah satu penelitian yang saat ini menjadi prioritas dalam penelitian sistem pendinginan adalah penggunaan nano-partikel

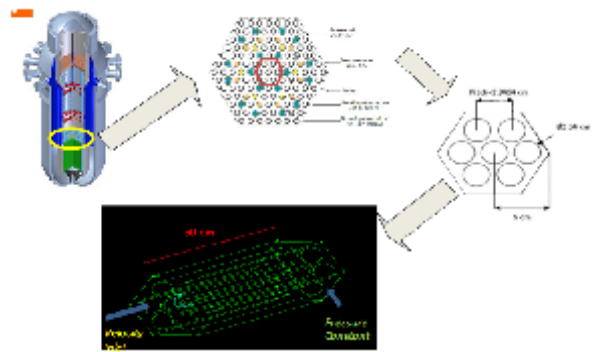
yang dicampur dengan fluida untuk meningkatkan performa pengambilan kalornya. Secara teoritis nanofluida termasuk didalamnya nanopartikel memiliki nilai konduktivitas termal yang tinggi dibandingkan fluida ringan biasa, sehingga mampu menyerap dan memindahkan kalor dengan lebih baik. Buongiorno dan timnya 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 ringan biasa. (Buongiorno, dkk, 2008).

Penelitian ini mulai dikembangkan untuk penggunaan nanofluida sebagai fluida pendingin di reaktor nuklir SMR dengan tipe CAREM-25 buatan Argentina. Kegiatan penelitian difokuskan pada pengkajian lebih dalam mengenai aspek termofluida yang terjadi di sistem pendingin reaktor nuklir CAREM-25 dengan menggunakan nanofluida  $Al_2O_3$  sebagai fluida pendingin.

Sehingga nantinya diperoleh karakteristik aliran pendingin pada sistem *natural circulation* yang digunakan oleh SMR. Proses pembangkitan kalor dari awal, distribusi suhu di elemen bahan bakar, sehingga diperoleh model analitik untuk performa keselamatan dari jenis reaktor SMR CAREM-25.

**II. Metodologi Penelitian**  
**Pembuatan Model Teras Reaktor Nuklir**  
**Small Modular Reactor (SMR)**

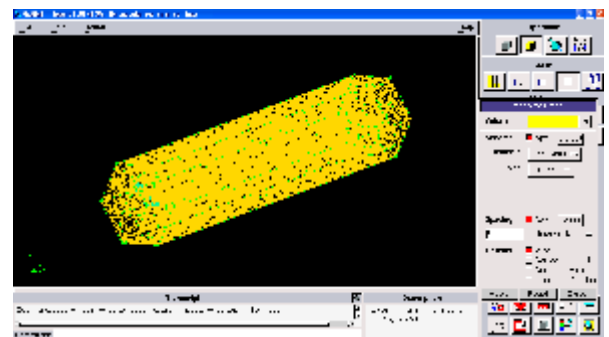
Hal yang perlu dilakukan pertama kali sebelum melakukan proses simulasi adalah membuat model yang terjadi pada subbuluh susunan segi enam. Dalam hal ini model yang dibuat adalah berupa model *volume*. Asumsi penyederhanaan model yang dilakukan adalah menganggap model subbuluh susunan segi enam sama dengan teras reaktor SMR (*Small Reactor Modular*) tipe Heksagonal dan fluks panas yang dihasilkan seragam. Dalam pembuatan model ini menggunakan program GAMBIT sebagai pembuatan model. Dan model yang akan disimulasikan pada skripsi ini adalah seperti dibawah ini:



Gambar 1. Pemodelan pada reaktor SMR sub buluh susunan segi enam

**Meshing**

*Meshing* adalah proses dimana geometri secara keseluruhan dibagi-bagi dalam elemen-elemen kecil ini nantinya berperan sebagai *control surface* atau volume dalam proses perhitungan yang kemudian tiap-tiap elemen ini akan menjadi inputan untuk elemen disebelahnya. Hal ini akan terjadi berulang-ulang hingga domain terpenuhi. Dalam *meshing* elemen-elemen yang akan dipilih disesuaikan dengan kebutuhan dan bentuk geometri. Dalam skripsi ini aplikasi *meshing* yang dipakai adalah GAMBIT. Dalam penelitian ini semua konfigurasi tipe elemen disimulasikan menggunakan elemen *hybrid* atau *tetrahedron*. Dibawah ini gambar hasil *meshing* dengan konfigurasi *meshing* volum dan *interval size* sebesar 5.



Gambar 2. Hasil *meshing* dari GAMBIT

**Pemodelan Numerik dengan FLUENT**

FLUENT adalah salah satu jenis program CFD yang menggunakan metode volume hingga. FLUENT menyediakan fleksibilitas *mesh* yang lengkap, sehingga dapat menyelesaikan kasus aliran fluida dengan *mesh* yang tidak terstruktur sekalipun dengan cara yang relatif mudah. Jenis *mesh* yang didukung FLUENT adalah tipe 2D *triangular-*

*quadrilateral*, 3D *tetrahedral-hexahedral-pyramid-wedge*, dan *mesh* campuran (*hybrid*). FLUENT juga menyediakan fasilitas untuk memperhalus atau memperbesar mesh yang sudah ada. Secara umum langkah-langkah dalam melakukan analisis CFD dengan menggunakan FLUENT.

**Input Nilai Parameter-Parameter pada FLUENT**

Pemodelan numerik dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat FLUENT versi 6.2.16. Simulasi numerik terhadap volume atur yang telah dibuat dengan program GAMBIT dilakukan untuk kondisi *steady*. Dalam pemodelan numerik tersebut, diperlukan beberapa asumsi, antara lain:

- Perpindahan panas secara konduksi pada dinding dalam maupun luar pada model sub buluh heksagonal diabaikan.
- Perpindahan panas radiasi dari dinding dalam maupun luar pada model sub buluh heksagonal diabaikan.

Tahap-tahap yang dilakukan dalam pemodelan numerik adalah sebagai berikut:

- a. Mendefinisikan model.
  - Solver  
Pada penelitian ini digunakan *pressure based* karena aliran yang dianalisis bersifat *inkompresibel* dengan kecepatan rendah.
  - Energi  
Persamaan energi harus diaktifkan agar dapat memodelkan proses perpindahan panas yang terjadi dalam sistem.
- b. Menentukan *properties material* yang digunakan.

Jenis fluida yang digunakan adalah nanofluida. Sifat-sifat fisik nanofluida seperti densitas, viskositas, konduktivitas termal, dan panas jenis dimodelkan sebagai fungsi temperatur.

Tabel 1. Propertis material nanofluida Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Water

Propertis material	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Water (1%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Water (3%)
Density [kg/m <sup>3</sup> ]	1021,7	1072,8
C <sub>p</sub> [Kapasitas panas] [J/kg.K]	4.149	4.061
Konduktivitas termal [W/mK]	0.520	0.655
Viskositas [kg/ms]	8.17×10 <sup>-4</sup>	8.56×10 <sup>-4</sup>

- c. Menentukan kondisi operasi  
Pengaruh percepatan gravitasi juga diikutsertakan dalam sistem dengan nilai 9.8 m/s. *Gauge Pressure* = 0 Pa.
- d. Menentukan kondisi batas (*boundary condition*).

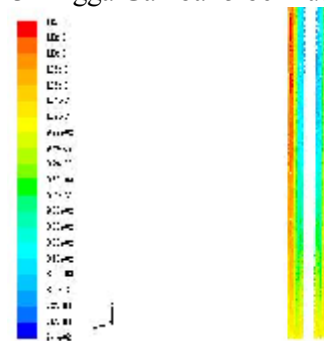
Pada pemodelan numerik, setting kondisi batas pada volume atur dilakukan dengan memasukkan nilai kuantitatif dari parameter-parameter yang terkait tipe *boundary*, diantaranya besar fluks panas pada permukaan silinder pemanas. Konfigurasi panas pada permukaan didekati dengan fluks panas konstan. Nilai-nilai parameter sebagai kondisi batas volume atur ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Input nilai parameter-parameter kondisi batas

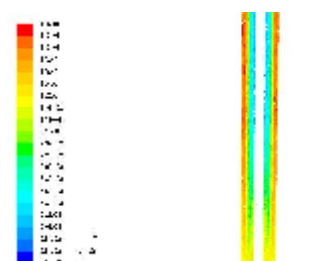
Tipe Boundary	Parameter	Nilai
Tubung masuk nanofluida masuk	Kecepatan	0.1 m/s
	Temperature	300 K
Tubung Keluaran	Gauge Pressure	0 Pa
	Static Temperature	300 K
	Fluks panas	100; 1000 W/m <sup>2</sup>

III. Hasil dan Pembahasan  
**Karakteristik Kecepatan Aliran pada Sub Buluh di Teras Reaktor Nuklir *Small Modular Reactor* (SMR)**

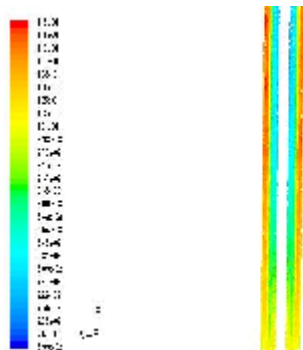
Karakteristik pola aliran pergerakan dari nanofluida sebagai fluida pendingin secara konveksi alamiah yang terjadi di teras reaktor nuklir tipe *Small Modular Reactor* (SMR) dengan sub buluh segi enam, dapat dilihat pada Gambar 3 hingga Gambar 5 berikut ini:



Gambar 3. Kontur kecepatan aliran nanofluida Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1%) dengan fluks panas 1000 W/m<sup>2</sup>



Gambar 4. Kontur kecepatan aliran nanofluida Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (3%) dengan fluks panas 1000 W/m<sup>2</sup>



Gambar 5. Kontur kecepatan aliran fluida Air H<sub>2</sub>O dengan fluks panas 1000 W/m<sup>2</sup>

Pada Gambar 3. menunjukkan kondisi perlakuan nanofluida Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> untuk kondisi diberikan fluks panas 1000 W/m<sup>2</sup> dengan fraksi volumenya sebesar 1%, dan untuk Gambar 4. merupakan nanofluida Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan fraksi volume sebesar 3%, dan untuk Gambar 5. menunjukkan perbandingan fluida pendingin yang biasanya digunakan pada pendingin reaktor nuklir yaitu fluida air H<sub>2</sub>O.

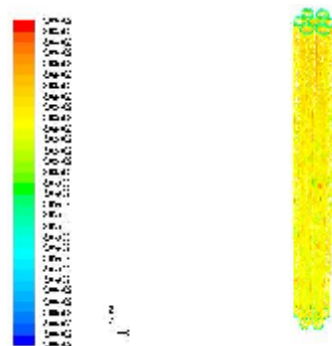
Gambar 3 hingga Gambar 5 merupakan kontur kecepatan aliran dari nanofluida Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan fluida air ringan H<sub>2</sub>O pada posisi tengah dari sub buluh pada segi enam di teras reaktor nuklir tipe *Small Modular Reactor* (SMR). Pada Gambar tersebut memperlihatkan pola kecepatan aliran searah sumbu z (dari bawah ke atas) menunjukkan terjadinya penurunan kecepatan dimulai pada awal pergerakan aliran sebesar 0.1 m/s menurun pada akhir sub buluh menjadi sebesar 0.083 m/s. Hal ini membuktikan bahwa yang terjadi adalah konveksi alamiah, yaitu terjadinya perpindahan panas dikarenakan pengaruh gaya apung dari fluida tersebut tanpa dipengaruhi oleh kecepatannya.

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.

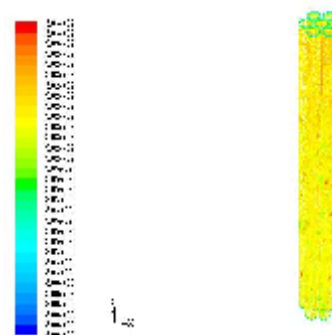
**Distribusi Suhu Dinding Silinder pada Sub Buluh di Teras Reaktor Nuklir *Small Modular Reactor* (SMR)**

Selanjutnya, setelah mengetahui pola aliran yang terjadi pada teras reaktor nuklir tipe *Small Modular Reactor* (SMR) dengan susunan sub

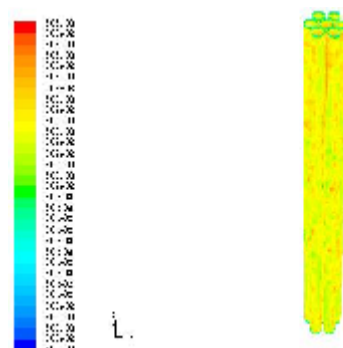
buluh segi enam, dapat dianalisis distribusi suhu pada dinding silinder bahan bakar ketika diberikan fluida pendinginnya yaitu nanofluida Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan fluida air ringan H<sub>2</sub>O, dapat dilihat pada Gambar 6 hingga 8 berikut ini:



Gambar 6. Kontur distribusi suhu untuk nanofluida Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1%) dengan fluks panas 1000 W/m<sup>2</sup>



Gambar 7. Kontur distribusi suhu untuk nanofluida Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (3%) dengan fluks panas 1000 W/m<sup>2</sup>

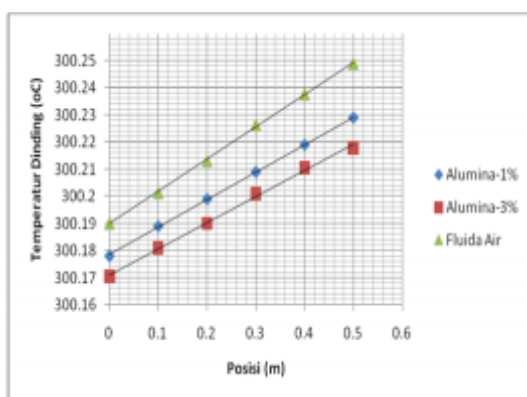


Gambar 8. Kontur distribusi suhu untuk fluida Air H<sub>2</sub>O dengan fluks panas 1000 W/m<sup>2</sup>

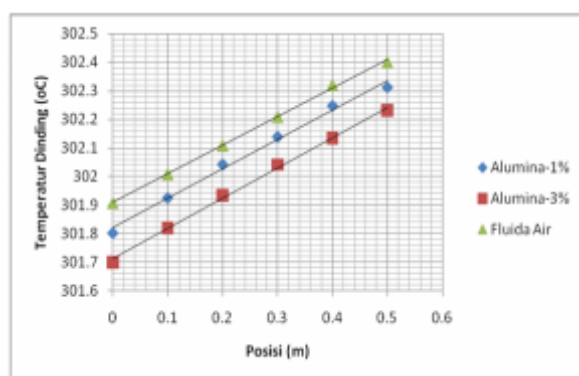
Pada Gambar 6. hingga 8., merupakan kontur distribusi suhu dari masing-masing fluida pendingin, yaitu nanofluida Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan fluida air ringan H<sub>2</sub>O pada kondisi fluks panas 1000 W/m<sup>2</sup> untuk 7 elemen bahan bakar pada

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  $100 \text{ W/m}^2$  dan  $1000 \text{ W/m}^2$ , dapat dilihat pada Gambar 9. dan Gambar 10 dibawah ini:



Gambar 9. Hubungan besaran distribusi suhu dinding silinder terhadap posisi (m) pada sub buluh segi enam di teras reaktor nuklir SMR untuk nanofluida  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan Air  $\text{H}_2\text{O}$  dengan fluks panas  $100 \text{ W/m}^2$



Gambar 10. Hubungan besaran distribusi suhu dinding silinder terhadap posisi (m) pada sub buluh segi enam di teras reaktor nuklir SMR untuk nanofluida  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan Air  $\text{H}_2\text{O}$  dengan fluks panas  $1000 \text{ W/m}^2$

Dari Gambar 9 dan Gambar 10 memperlihatkan untuk masing-masing fluida

pendingin yaitu nanofluida  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan fluida air ringan  $\text{H}_2\text{O}$  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).

Dan, menunjukkan juga bahwa nanofluida memiliki temperatur dinding yang lebih kecil dibandingkan fluida air ringan ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Hal ini membuktikan bahwa kecepatan yang diberikan sebesar 0.1 m/s tidak terlalu mempengaruhi temperatur dinding dari silinder elemen bahan bakar.

#### IV. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini memberikan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pola penyebaran kecepatan aliran pada masing-masing fluida pendingin (fluida air ringan ( $\text{H}_2\text{O}$ ) dan nanofluida  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (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  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (1% dan 3%).

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia, yang telah memberikan dana hibah penelitian bersaing untuk mengembangkan penelitian mengenai nanofluida dan reaktor nuklir CAREM-25.

#### 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 Workhsop 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 PWR (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