

KARAKTERISTIKA PERPINDAHAN PANAS TABUNG *COOLER* PADA FASILITAS SIMULASI SISTEM PASIF MENGGUNAKAN ANSYS

Erlanda Kurnia¹, Giarno², G.B. Heru K², Joko Prasetyo², Mulya Juarsa²

¹Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana Bali

²Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN) - BATAN

ABSTRAK

KARAKTERISTIKA PERPINDAHAN PANAS TABUNG *COOLER* PADA FASILITAS SIMULASI SISTEM PASIF MENGGUNAKAN ANSYS. Fasilitas simulasi sistem pasif (FASSIP-01) merupakan alat uji sistem pendinginan dengan memanfaatkan sistem sirkulasi alam yang dibangun di laboratorium termohidrolika PTKRN BATAN. Untai uji FASSIP-01 terdiri dari beberapa komponen utama yaitu tabung *cooler*, *heater*, perpipaan, dan tabung ekspansi. Salah satu cara mengetahui karakteristik perpindahan panas dalam suatu sistem adalah dengan metode *Finite Element Method* (FEM) yang merupakan langkah menyelesaikan suatu problem dengan cara membagi obyek analisa menjadi bagian-bagian kecil yang terhingga. Salah satu aplikasi berbasis FEM adalah ANSYS yang digunakan dalam simulasi ini. Makalah ini dikhususkan pada aplikasi ANSYS (*student version*) untuk mengetahui karakteristik perpindahan panas pada tabung *cooler* dengan variasi kecepatan dan variasi temperatur pada aliran tabung *cooler* yang dilewati oleh pipa panas bertemperatur 85 °C. Hasil simulasi adalah besar kalor yang dilepas air di dalam pipa dan penyerapan kalor oleh air di dalam tabung *cooler*. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan aliran air yang masuk ke dalam tabung *cooler*, maka pendinginan yang terjadi juga semakin besar, sementara semakin kecil temperatur air yang masuk ke dalam tabung *cooler*, maka pendinginan yang terjadi juga semakin cepat.

Kata kunci: perpindahan panas, FASSIP-01, tabung *cooler*, ANSYS

ABSTRACT

HEAT TRANSFER CHARACTERISTIC OF COOLER TUBE IN PASSIVE SYSTEM SIMULATION FACILITY USING ANSYS CODE. *Passive system simulation facility (FASSIP-01) is a loop test facility by utilizing the natural circulation system that is built in the thermal hydraulic laboratory of PTKRN BATAN. The FASSIP-01 test loop consists of several main components such as cooler and heater cylinder, piping, and expansion tank. One way to find a characteristic of heat transfer in a system is by using Finite Element Method (FEM) to solve a problem by dividing the object into infinite small parts. One of application based on the FEM is the ANSYS code, which is used in this simulation. This paper is objected to the application of the ANSYS code (student version) to determine the heat transfer characteristic in the cooler component with fluid velocity and temperature in the flow of the cooler, in which the pipe is flowing through with temperature of 85 °C. The simulation results show the heat released from the pipe inside the cooler and its absorption by the cooler. It also shows that the bigger the fluid velocity inside the cooler, the bigger the cooling will take place and the smaller the fluid temperature inside the cooler, the faster the cooling will occur.*

Keywords: *heat transfer, FASSIP-01, cooler, ANSYS*

PENDAHULUAN

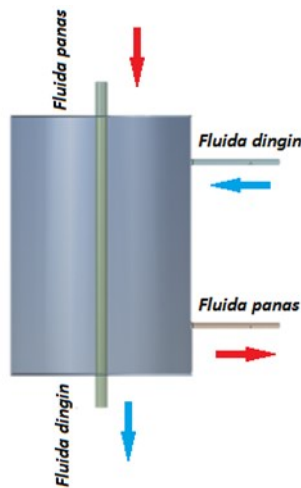
Sistem untai uji FASSIP-01 adalah sebuah alat uji yang dikembangkan berdasarkan kejadian kecelakaan reaktor nuklir yang terjadi di Fukushima Jepang pada 2011^[1]. Menurut para ahli keselamatan nuklir, kecelakaan tersebut disinyalir bisa dicegah dan reaktor tetap dapat didinginkan bila generator cadangan tetap berfungsi, namun pada akhirnya tidak mampu beroperasi karena terendam banjir tsunami. Untai uji FASSIP-01 bekerja berdasarkan sirkulasi alam, dimana air (tidak mampu mengudara) memiliki massa jenis yang berbeda dengan uap yang mampu mengudara dengan massa jenis yang rendah. Ketika air biasanya dialirkan secara paksa dengan pompa untuk senantiasa bersirkulasi, maka air di dalam untai FASSIP-01 tersebut akan terus bersirkulasi meski tidak menggunakan pompa. Model FASSIP-01 ini didasari oleh beberapa penelitian para peneliti yaitu P.K Vijayan yang bereksperimen tentang sirkulasi alam pada 8 untai dengan memanfaatkan aliran *throughflow* sebagai pendingin^[2]. Sedang untai uji FASSIP-01 menggunakan hukum alam, dimana aliran pada sistem terjadi karena adanya perbedaan tekanan yang ditimbulkan oleh air yang dipanaskan oleh *heater* dan mengalir menuju *cooler* yang berada di bawah *heater* dengan posisi vertikal. Selain itu, A.K. Nayak, dkk^[3] memodelkan *natural circulation* yang memanfaatkan gaya apung fluida kemudian meru-

muskannya dalam bentuk persamaan.

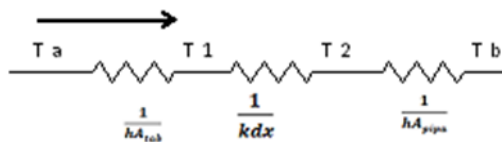
Pada intinya, tabung *heater* pada untai uji FASSIP-01 bekerja sebagai reaktor yang membangkitkan panas pada air dan tabung *cooler* bekerja sebagai sistem pendingin yang membuang panas dari sistem. Kinerja *heater* telah banyak dibahas di berbagai sumber dan dianalisis oleh para peneliti, sehingga makalah ini difokuskan pada analisis tabung *cooler* (pendingin) pada untai uji FASSIP-01. Untuk memahami perpindahan panas pada tabung *cooler* perlu dilakukan analisis melalui simulasi sederhana dengan bantuan program aplikasi ANSYS. Simulasi dilakukan dengan memodelkan struktur tiga dimensi dari tabung *cooler* untai uji FASSIP-01. Agar dapat menemukan besaran pendinginan yang maksimal pada tabung *cooler*, penulis memvariasikan kecepatan aliran dan suhu di tabung cooler dalam melakukan simulasi.

TEORI

Proses pertukaran panas melalui tabung *cooler* ditunjukkan pada Gambar 1, dimana fluida air di dalam tabung *cooler* dengan temperatur T_A mengambil panas dari fluida air di pipa yang melewati bagian dalam tabung dengan temperatur T_B . Analogi perpindahan panas di dalam tabung *cooler* dapat ditunjukkan pada Gambar 2 sebagai rangkaian tahanan listrik.



Gambar 1. Skematika perpindahan panas di tabung cooler



Gambar 2. Analogi perpindahan panas sebagai hambatan listik

Perpindahan panas yang terjadi pada tabung cooler adalah konveksi dari fluida panas ke dinding pipa dalam kemudian konduksi pada dinding pipa dan konveksi dari dinding pipa luar ke tabung cooler. Untuk besaran nilai koefisien perpindahan panas konveksi menggunakan persamaan berikut [4] :

$$h = Nu_u \frac{k}{d} \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

h = koefisien perpindahan panas konveksi (W/m²K)

Nu = bilangan Nuselt

k = konduktifitas termal (W/mK)

d = diameter (m)

Nilai k didapat dari tabel mengenai sifat-sifat air (zat cair jenuh) dari nilai temperatur diketahui (T). Nilai Nu didapat menggunakan rumus :

$$Nu = 0,023Re^{0,8}Pr^{0,4} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

Re = bilangan Reynold

Pr = bilangan Prandl

Nilai Pr didapat dari tabel sifat-sifat air untuk zat cair jenuh dengan temperatur diketahui (T). Sedangkan nilai Re dihitung menggunakan rumus [4]:

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot d}{\mu} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

V = kecepatan fluida (m/detik)

μ = viskositas (N detik/m²)

Jika nilai temperatur (T) tidak ada pada tabel sifat-sifat air, maka digunakan rumus interpolasi dengan persamaan berikut [5]:

- Untuk mencari massa jenis air.

$$\frac{\rho - \rho_{kecil}}{\rho_{besar} - \rho_{kecil}} = \frac{T_{dik} - T_{kecil}}{T_{besar} - T_{kecil}} \dots(4)$$

- Nilai konduktivitas.

$$\frac{k - k_{kecil}}{k_{besar} - k_{kecil}} = \frac{T_{dik} - T_{kecil}}{T_{besar} - T_{kecil}} \dots (5)$$

- Nilai viskositas.

$$\frac{\mu - \mu_{kecil}}{\mu_{besar} - \mu_{kecil}} = \frac{T_{dik} - T_{kecil}}{T_{besar} - T_{kecil}} \dots (6)$$

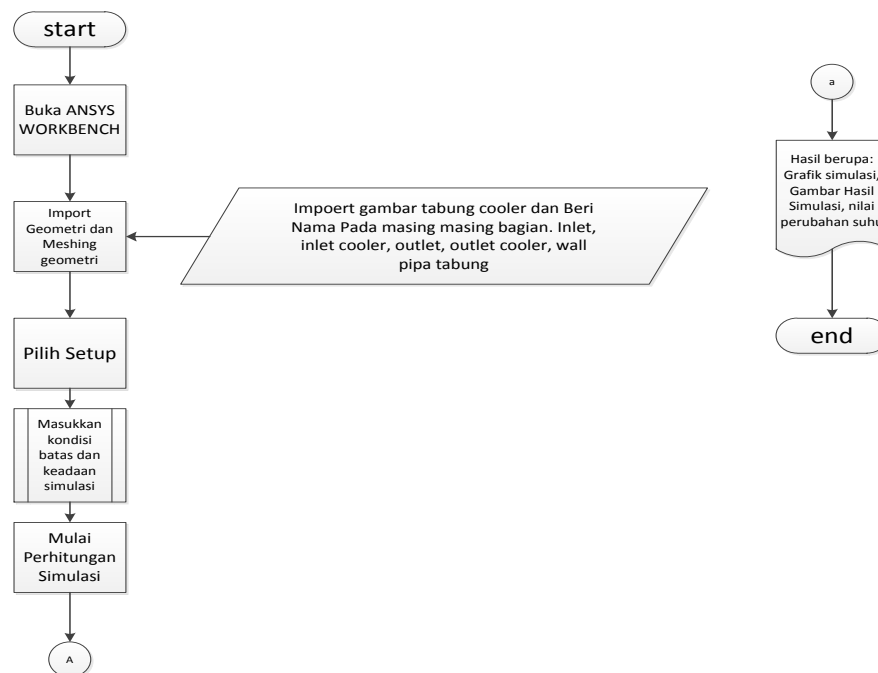
- Bilangan Prandl.

$$\frac{Pr - Pr_{kecil}}{Pr_{besar} - Pr_{kecil}} = \frac{T_{dik} - T_{kecil}}{T_{besar} - T_{kecil}} \dots (7)$$

Nilai koefisien konduktifitas diperoleh dari tabel konduktivitas thermal logam. Persamaan-persamaan di atas merupakan dasar nilai yang akan dipakai dalam melakukan simulasi menggunakan ANSYS.

METODOLOGI

Tahapan simulasi menggunakan ANSYS ditunjukkan pada Gambar 3. Kondisi batas simulasi ditetapkan dengan memvariasikan kecepatan air yang memasuki tabung pendingin pada 0,5 m/detik dan 0,75 m/detik dengan temperatur yang bervariasi dari 5 °C, 15 °C, dan 25 °C pada aliran masuk fluida dingin.



Gambar 3. Tahapan simulasi menggunakan program perhitungan ANSYS ^[6]

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kecepatan air masuk ke dalam cooler 0,5 m/detik

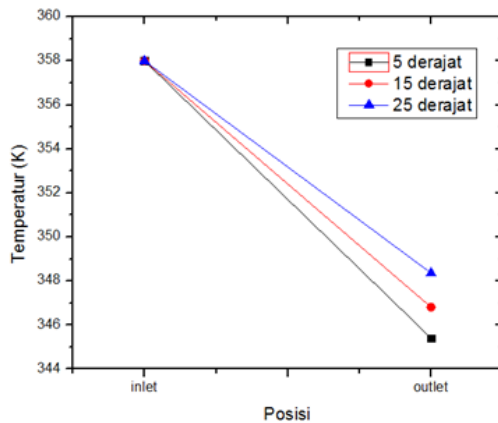
Nilai perubahan temperatur air di dalam pipa dan tabung *cooler* di setiap variasi temperatur air *cooler* dengan kecepatan aliran sebesar 0,5 m/detik ditunjukkan pada Tabel 1. Perubahan temperatur air di dalam pipa bernilai negatif (-), dimaksudkan bahwa fluida di dalam pipa yang melewati tabung mengalir melepaskan panas dan temperatur air di dalam tabung *cooler* bernilai positif (+) diartikan bahwa selama simulasi, tabung *cooler* mendapat pertambahan panas dari aliran pipa. Variasi temperatur

Kecepatan air di dalam pipa yang melewati tabung ditetapkan sama dengan yaitu 1 m/detik dengan temperatur 85 °C (358 K). Aliran air di dalam tabung diasumsikan aliran turbulen dan pada pipa yang melewati bagian dalam tabung adalah laminar dengan kondisi tunak.

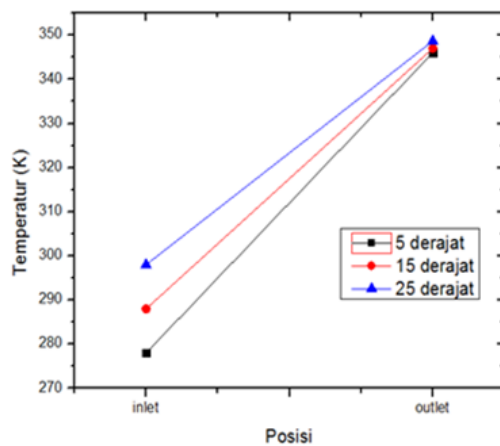
inlet dan outlet pada pipa yang melewati tabung serta tabung *cooler* ini kemudian ditampilkan pada Gambar 4 dan 5. Grafik perubahan temperatur di dalam pipa menunjukkan perbedaan temperatur air pada outlet pipa yang melewati tabung dengan kecepatan air sebesar 1 m/detik. Perbedaan besaran temperatur ini dipengaruhi oleh variasi temperatur air tabung *cooler* dengan kecepatan air pada tiap variasi yang sama yaitu 0,5 m/detik. Hal yang sama ditunjukkan pada perbedaan perubahan temperatur di dalam tabung *cooler*.

Tabel 1. Nilai perubahan temperatur air pada kecepatan aliran pipa 0,5 m/detik

Pipa		ΔT Pipa (out-in)	Tabung Cooler		ΔT Cooler (out-in)
Inlet (K)	Outlet (K)		Inlet (K)	Outlet (K)	
358	345,40	-12,59	278	346,02	68,02
358	346,81	-11,18	288	347,03	59,03
358	348,35	-9,64	298	348,7	50,7



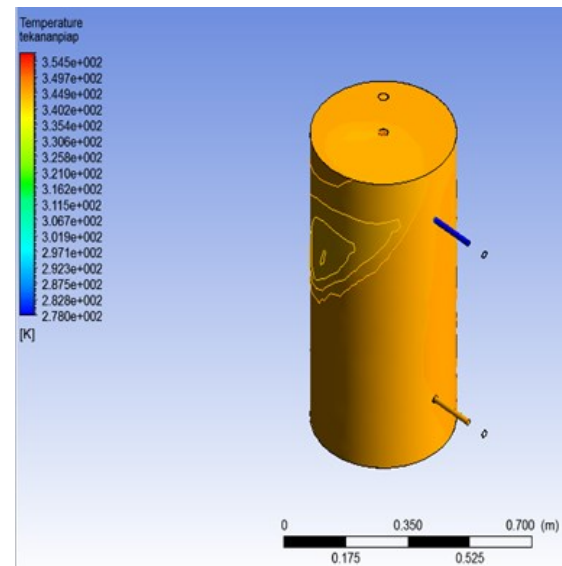
Gambar 4. Grafik perubahan temperatur air di pipa yang melewati tabung dengan kecepatan aliran 0,5 m/detik



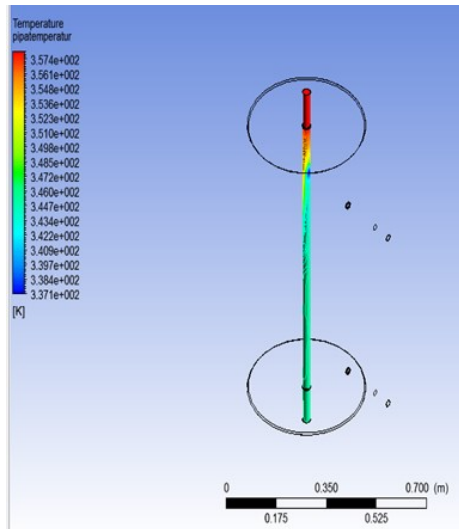
Gambar 5. Grafik perubahan temperatur air di tabung cooler dengan kecepatan aliran 0,5 m/detik

Hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin kecil temperatur air masuk ke dalam cooler, maka pengambilan kalor dari air di dalam pipa menjadi semakin besar seperti ditunjukkan pada rendahnya temperatur air keluar pipa pada

Gambar 4. Dengan demikian pendinginan yang terjadi juga semakin besar. ANSYS juga dapat menunjukkan hasil simulasi secara visual seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Inlet pada bagian tabung berwarna biru kemudian berubah ketika memasuki tabung menjadi kecoklatan hingga ke outlet. Sedangkan pada pipa (Gambar 7), inlet berwarna merah kemudian berubah warna ketika aliran pipa memasuki tabung. Perubahan secara perlahan terlihat di bagian sisi pipa memiliki warna merah kekuningan dan kemudian menjadi warna hijau kebiruan.



Gambar 6. Visualisasi perubahan temperatur pada bagian tabung cooler dengan kecepatan aliran 0,5 m/detik



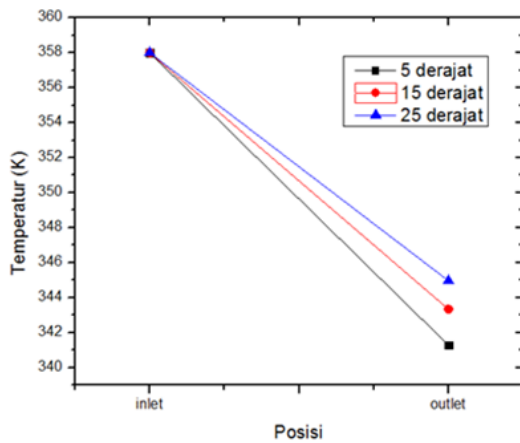
Gambar 7. Visualisasi perubahan temperatur air di dalam pipa dengan kecepatan aliran 0,5 m/detik

Kecepatan air masuk ke dalam cooler 0,75 m/detik

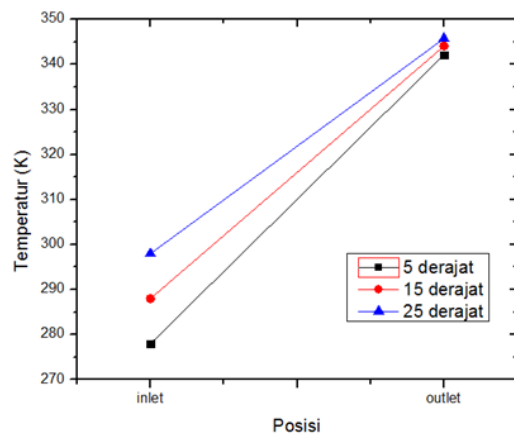
Nilai perubahan temperatur air di dalam pipa dan tabung cooler di setiap variasi temperatur ditunjukkan pada Tabel 2, sementara perubahan temperatur air pada pipa dan tabung cooler ditunjukkan pada Gambar 8 dan 9.

Tabel 2. Nilai perubahan temperatur air pada kecepatan aliran pipa 0,75 m/detik

Pipa		ΔT Pipa (out-in)	Tabung Cooler		ΔT Cooler (out-in)
Inlet (K)	Outlet (K)		Inlet cooler (K)	Outlet cooler (K)	
358	341,28	-16,71	278	342,10	64,10
358	343,34	-14,65	288	344,06	56,06
358	344,96	-13,03	298	345,73	47,73

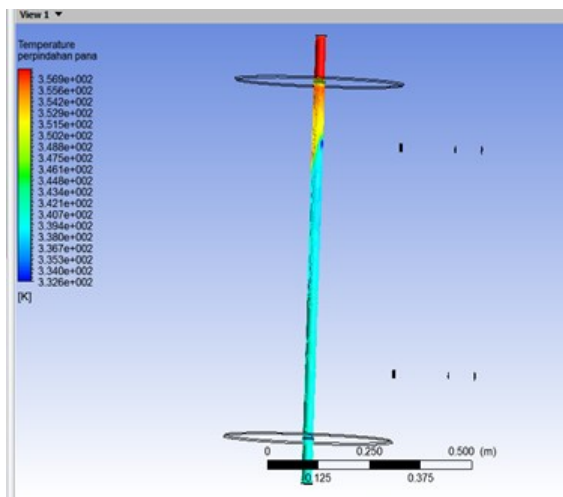


Gambar 8. Grafik perubahan temperatur air pipa dengan kecepatan aliran 0,75 m/detik

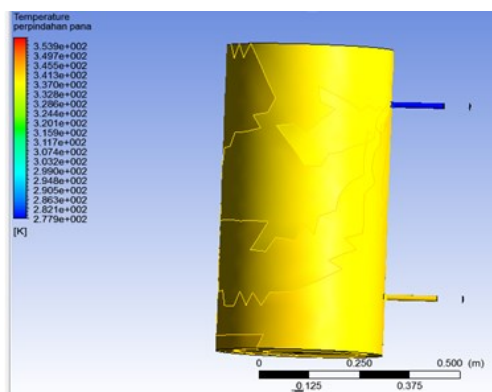


Gambar 9. Grafik perubahan temperatur air tabung cooler dengan kecepatan aliran 0,75 m/detik

Hasil simulasi menunjukkan fenomena pendinginan yang sama dengan kecepatan aliran 0,5 m/detik namun dengan kecepatan aliran yang lebih besar, terlihat penurunan temperatur air di dalam pipa terlihat lebih besar dengan temperatur air masuk *cooler* yang sama. Dengan demikian pendinginan yang terjadi juga semakin besar dengan semakin besarnya kecepatan aliran masuk *cooler*. Pada kecepatan aliran yang lebih besar, hasil simulasi menunjukkan perubahan warna yang lebih terang pada bagian pipa dan tabung *cooler* seperti ditunjukkan pada Gambar 10 dan 11.



Gambar 10. Visualisasi perubahan temperatur pada pipa dengan kecepatan aliran 0,75 m/detik



Gambar 11. Visualisasi perubahan temperatur pada tabung *cooler* dengan kecepatan aliran 0,75 m/detik

KESIMPULAN

Hasil simulasi perpindahan panas pada tabung *cooler* menggunakan ANSYS menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan air yang masuk ke dalam tabung, maka pendinginan yang dialami air di dalam pipa akan semakin besar. Bila temperatur air yang masuk ke dalam tabung *cooler* semakin kecil, maka kalor atau panas yang dilepas oleh air di dalam pipa akan semakin cepat. Dengan demikian kecepatan dan temperatur aliran masuk ke dalam *cooler* akan menentukan besaran pendinginan yang terjadi dari air yang bersirkulasi dalam pipa FASSIP-01.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ledakan di PLTN Fukushima, Jepang. http://www.bbc.com/indonesia/dunia/2011/03/110312_japanplant. Di akses Januari 2016.
2. P.K VIJAYAN, A.W. DATE, "Experimental and Theoretical Investigations on The Steady-State and Transient Behavior of Thermosyphon with Throughflow in a Figure-Of-Eight Loop", International Journal of Heat Mass Transfer, Vol. 33, 1990.
3. A.K. NAYAK, et al, "Mathematical Modelling of Stability Characteristic of a Natural Circulation Loop", Math. Comput. Modelling Vol. 22, No.9, pp. 77 – 87, 1995.
4. HOLMAN, J.P, "Perpindahan Kalor Edisi ke Enam", Penerbit Erlangga, Jakarta, 1995.

5. MULYA JUARSA, “Laporan Usulan Penelitian 2015”, PTKRN-BATAN.
6. SAEED MOAVENI, “Finite Element Analysis: Theory and Application with ANSYS”, Minnesota State University, Mankato, United State of America, 1999.