

# Pemodelan Sistem Sirkulasi Alami pada Reaktor nuklir dengan Variasi Ketinggian Alat yang Berbeda

Geby Saputra<sup>1,a)</sup>, Habibi Abdillah<sup>2,b)</sup>, Sidik Permana<sup>2,c)</sup> dan Novitrian<sup>2,d)</sup>

<sup>1</sup>Laboratorium Fisika Nuklir dan Biofisika,  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,  
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

<sup>2</sup>Laboratorium Fisika Nuklir,  
Kelompok Keilmuan Fisika Nuklir dan Biofisika,  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,  
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

a) geby.saputra@students.itb.ac.id

b) habibi.abdillah@students.itb.ac.id

c) psidik@fi.itb.ac.id

d) novitrian@fi.itb.ac.id

## Abstrak

*Perpindahan panas pada fluida yang terjadi karena adanya perbedaan densitas fluida, seperti yang terdapat didalam sistem pendingin reaktor nuklir, disebabkan oleh perbedaan temperatur fluida, merupakan contoh sistem pendingin secara alami. Untuk mengamati fenomena ini kami melakukan pemodelan dan eksperimen. Kedua hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari ketinggian dan perbedaan temperatur terhadap kecepatan aliran fluida. Pada sistem sirkulasi terdapat pemanas pada bagian bawah dan pendingin pada bagian atas. Hasil dari pemodelan berupa data distribusi temperatur fluida di dalam sistem dan kecepatan fluida terhadap ketinggian sistem.*

*Kata-kata kunci: kecepatan fluida, sirkulasi alami, temperatur*

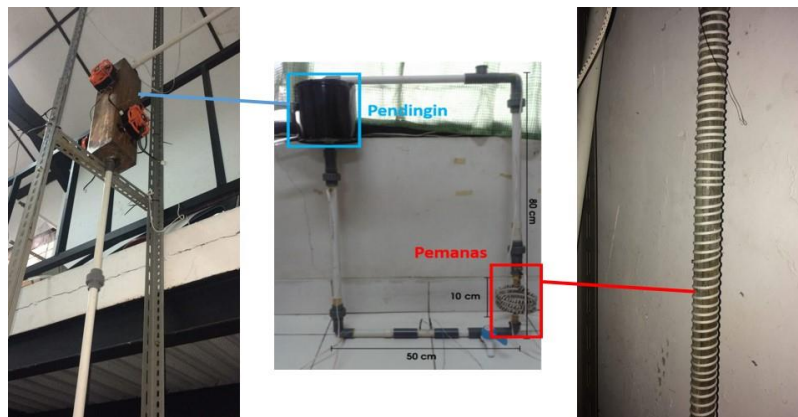
## PENDAHULUAN

Konveksi merupakan salah satu metode untuk melakukan transfer panas. Konveksi sendiri terdiri dari konveksi paksa (*forced convection*) dan konveksi alami (*natural convection*). Konveksi paksa adalah transfer panas dengan menggunakan bantuan gaya dari luar, seperti gaya yang berasal dari pompa. Sedangkan konveksi alami terjadi karena timbulnya perbedaan densitas pada fluida yang disebabkan perbedaan temperatur pada fluida. Perbedaan inilah yang menyebabkan terjadinya aliran fluida, densitas rendah akan bergerak ke atas (di bagian pemanas) dan densitas yang lebih tinggi akan bergerak ke bawah (di bagian pendingin). Fenomena konveksi alami dapat diamati dalam proses pemanasan air dan arus air laut.

Aplikasi dari fenomena konveksi alami adalah digunakan dalam sistem pendingin pada reaktor nuklir. Di dalam reaktor nuklir, sistem pendingin merupakan salah satu bagian yang sangat penting yang berguna untuk menjaga agar reaktor nuklir tidak mengalami kelebihan panas. Pada umumnya air pendingin pada reaktor dialirkan dengan menggunakan bantuan dari pompa. Saat terjadi insiden tertentu yang menyebabkan pompa tidak dapat berfungsi mengakibatkan panas pada reaktor terus mengalami peningkatan sehingga dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan reaktor. Salah satu solusi yang saat ini mulai banyak diperbincangkan adalah dengan menggunakan fenomena konveksi alami untuk mengalirkan fluida tersebut supaya fluida pendingin tersebut dapat tetap mengalir pada saat pompa tidak dapat berfungsi.

Sebelumnya telah dilakukan simulasi dan dibangun sebuah apparatus sistem sirkulasi alami untuk memperlihatkan aliran pendingin pada reaktor nuklir yang memanfaatkan fenomena konveksi alami. Apparatus sistem sirkulasi berbentuk suatu *loop* vertikal tertutup yang terdiri dari pendingin pada bagian atas dan pemanas pada bagian bawah, seperti pada gambar 1. Simulasi terdahulu dilakukan dengan ukuran panjang 50 cm, 80 cm dan 100 cm dengan lebar 50 cm. Dalam simulasi ini akan diberikan perbedaan pada ketinggian, yaitu 300 cm, 400 cm dan 500 cm dengan lebar 100 cm. Untuk mempelajari fenomena konveksi alami ini akan dilakukan simulasi dengan menggunakan perangkat lunak berbasis elemen hingga.

Merujuk pada penjelasan di atas, tujuan dari penilitan ini adalah memodelkan/menyimulasikan sistem sirkulasi alami dengan perangkat lunak berbasis elem hingga dan untuk mempelajari pengaruh dari perbedaan temperatur dan ketinggian terhadap aliran fluida dalam sistem sirkulasi alami.

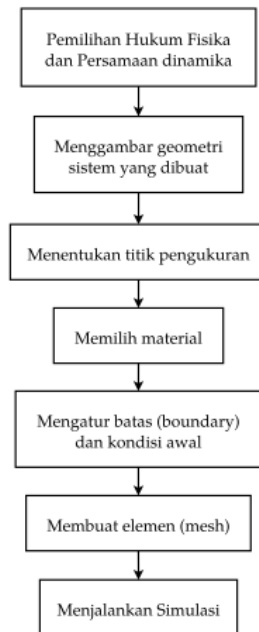


Gambar 1. Apparatus Sistem Sirkulasi Alami awal eksperimen dengan bagian pemndingin dan pemanas yang telah perbaiki menyerupai bentuk pada simulasi

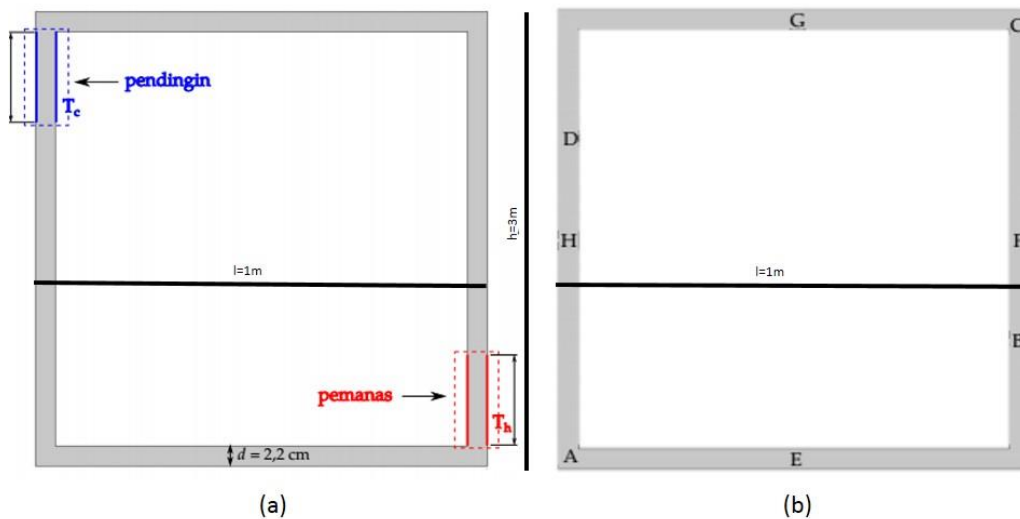
Kondisi pengamatan yang dilakukan pada sistem sirkulasi alami ini adalah kondisi yang ideal, artinya dinding tempat fluida mengalir merupakan dinding adiabatik (temperatur pada pemanas dan pendingin konstan). Fluida yang digunakan berupa air dan aliran air yang terjadi di dalam sistem sirkulasi diasumsikan laminar (aliran fluida tidak saling berpotongan, karena kecepatan aliran air di dalam sistem sirkulasi tergolong rendah).

## PEMODELAN DAN SIMULASI

Pemodelan dibuat dengan menggunakan perangkat lunak berbasis elemen hingga. Gambar geometri ilustrasi dan tahapan yang dilakukan saat menggunakan perangkat lunak tersebut bisa dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. Tahapan dalam proses pemodelan menggunakan perangkat lunak[1]



Gambar 3. Ilustrasi model sistem sirkulasi alami (a)letak sistem pendingin dan pemanas, (b) titik-titik letak sensor temperatur LM-35[1]

Persamaan yang digunakan dalam pemodelan ini adalah gabungan dari tiga persamaan dasar, yaitu persamaan kontinuitas,

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0 \tag{1}$$

persamaan Navier-Stokes,

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho(u \cdot \nabla)u = \nabla \cdot \left[ -pI + \mu(\nabla u + (\nabla u)^T) - \frac{2}{3}\mu(\nabla \cdot u)I \right] + F \tag{2}$$

dan persamaan dinamika transfer panas di dalam fluida

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p u \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q + Q_{vh} + W_p \tag{3}$$

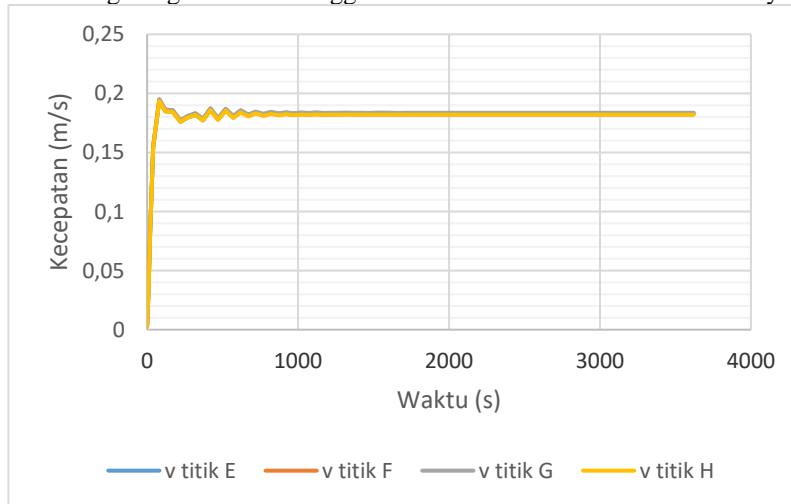
Proses naiknya air pada bagian pemanas merupakan fenomena dari konveksi alami. Hal ini disebabkan oleh gaya angkat fluida yang disebabkan oleh perbedaan temperatur, yang dapat di rumuskan seperti berikut ini.

$$F = \rho_0 \beta \Delta T g \tag{4}$$

dengan F adalah gaya angkat,  $\rho$  adalah massa jenis air,  $\beta$  adalah koefisien muai termal air yang bernilai  $1.8 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ , dan  $\Delta T$  adalah perbedaan temperatur antara fluida yang dipanaskan dengan temperatur awal.

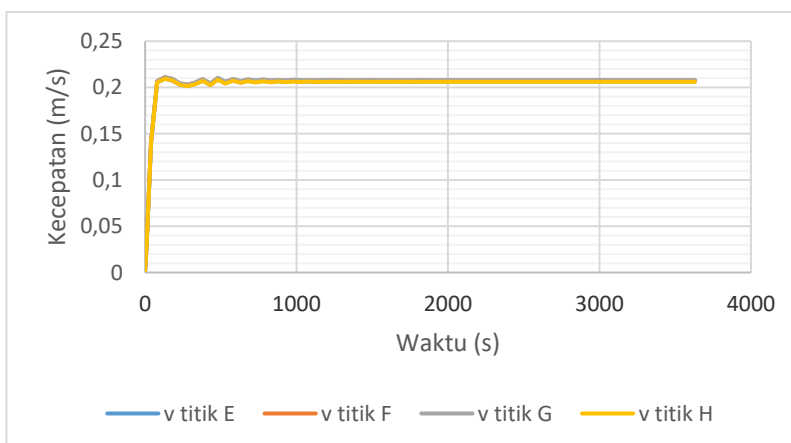
### HASIL SIMULASI

Simulasi dilakukan dengan tiga variasi ketinggian. Berikut adalah hasil dari simulasi yang telah dilakukan.



Gambar 4. Grafik kecepatan terhadap waktu di titik E, F, G, dan H (ketinggian 300 cm)

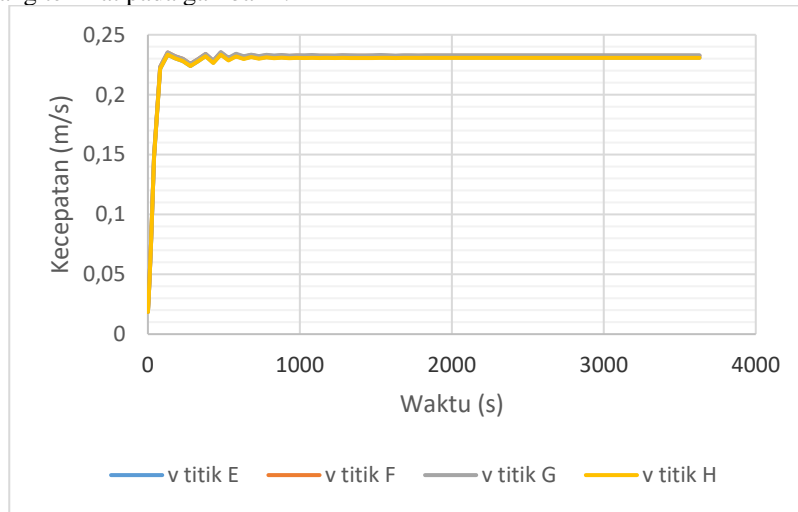
Titik E dan G adalah sensor kecepatan pada bagian horizontal bawah dan atas, sedangkan titik F dan H adalah sensor kecepatan pada setelah bagian pemanas dan pendingin. Grafik yang terdapat pada gambar 4 menunjukkan bahwa pada ketinggian 300 cm kecepatan aliran fluida pada setiap titik E, F, G dan H paling maksimal adalah sekitar 0.195 cm/s dan kecepatan mulai konstan setelah lebih dari 1000 sekon dengan nilai 0.18 cm/s .



Gambar 5. Grafik kecepatan terhadap waktu di titik E, F, G, dan H (ketinggian 400 cm)

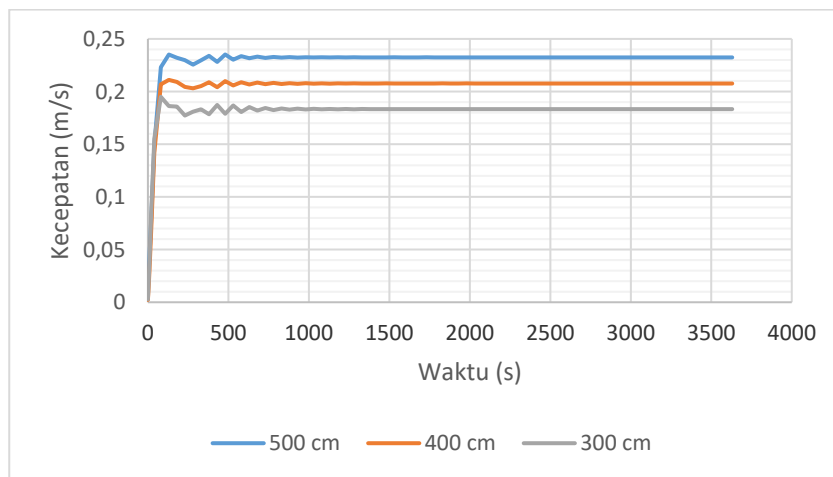
Pada gambar 5 dapat dilihat bahwa kecepatan aliran fluida pada setiap titik E, F, G dan H paling maksimal adalah sekitar 0.215 cm/s dan kecepatan mulai konstan sebelum 1000 sekon (sekitar 900 sekon) dengan nilai

0.21 cm/s . Kecepatan pada ketinggian 400 cm hasilnya lebih tinggi daripada kecepatan aliran dengan ketinggian 300 cm seperti yang terlihat pada gambar 4.



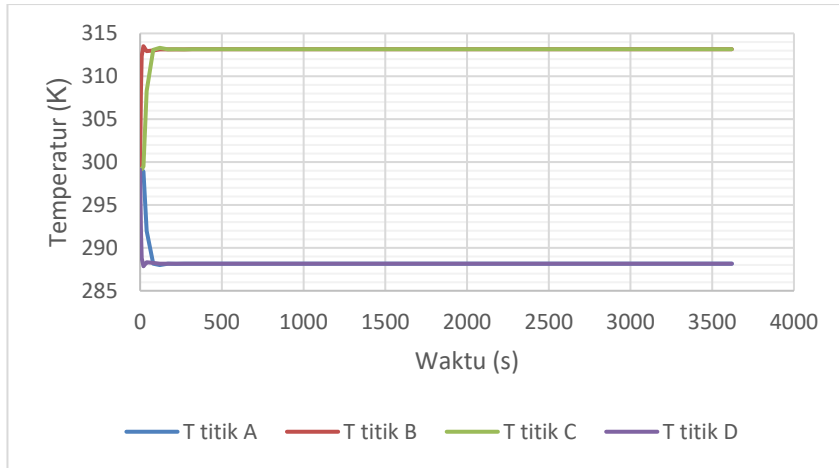
Gambar 6. Grafik kecepatan terhadap waktu di titik E, F, G, dan H (ketinggian 500 cm)

Pada gambar 6 dapat dilihat bahwa kecepatan aliran fluida pada setiap titik E, F, G dan H paling maksimal adalah sekitar 0.239 cm/s dan kecepatan mulai konstan sekitar 600 sekon dengan nilai 0.23 cm/s . Kecepatan pada gambar 6 merupakan yang paling tinggi dibandingkan yang terdapat pada gambar 4 dan 5.

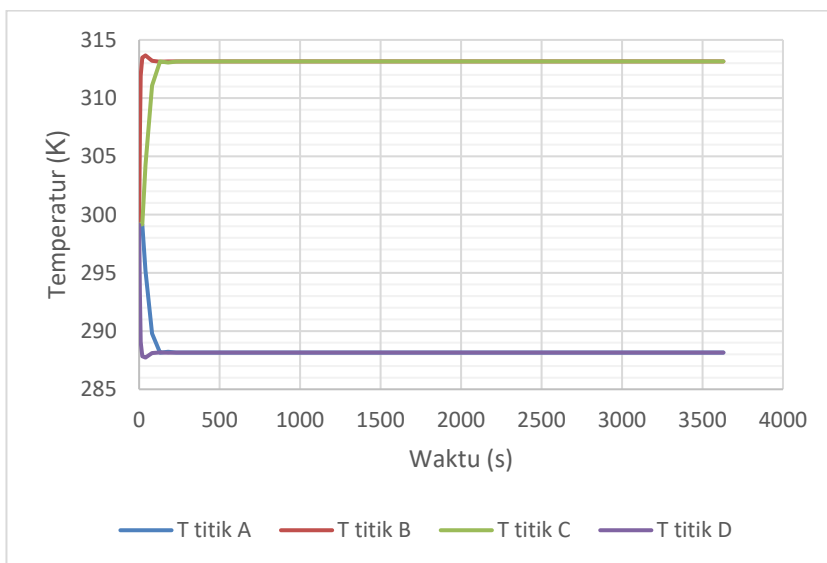


Gambar 7. Grafik kecepatan terhadap waktu di titik F dengan tiga ketinggian berbeda

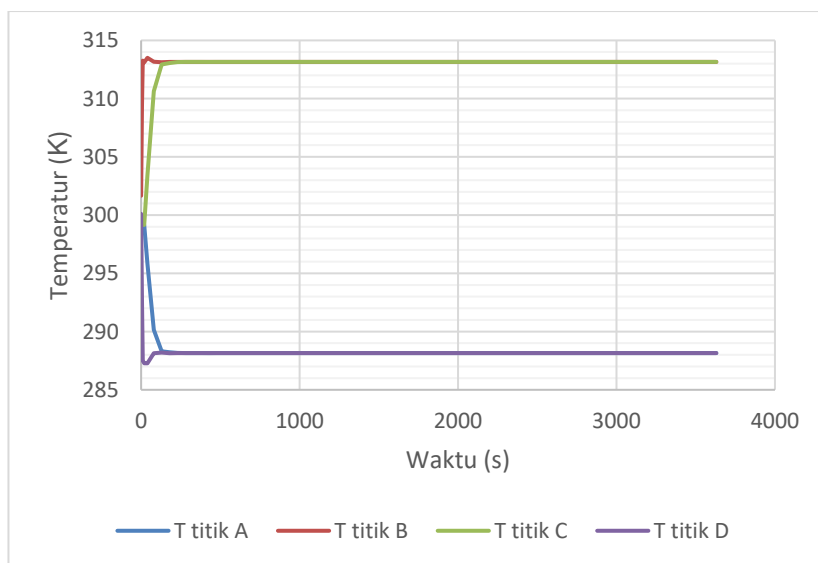
Pada gambar 7 ini semakin terlihat jelas perbandingan kecepatan yang dihasilkan untuk setiap ketinggian yang diujikan. Dari hasil ini menunjukkan bahwa ke aliran fluida dengan ketinggian yang terus bertambah akan semakin besar disebabkan oleh gaya dorong dari fluida akan semakin besar yang berasal dari bagian pendingin (bagian pendingin memiliki densitas yang lebih besar). Gaya dorong fluida dipengaruhi oleh volume air, dimana volume air akan semakin besar seiring dengan bertambahnya ketinggian dari sistem sirkulasi. Gaya dorong ini juga bergerak beriringan dengan gaya angkat air yang terdapat pada bagian pemanas (bagian pemanas memiliki densitas yang rendah). Sirkulasi ini tidak akan berjalan apabila hanya salah satu bagian saja yang berfungsi.



Gambar 8. Grafik temperatur terhadap waktu di titik A, B, C, dan D (ketinggian 300 cm)



Gambar 9. Grafik temperatur terhadap waktu di titik A, B, C, dan D (ketinggian 400 cm)



Gambar 10. Grafik temperatur terhadap waktu di titik A, B, C, dan D (ketinggian 500 cm)

Seperti yang tertera pada gambar 3, bahwa titik B dan C adalah daerah yang terdapat bagian pipa pemanas, sedangkan titik A dan D adalah daerah yang memiliki bagian pipa pendingin. Pada gambar 8, 9 dan 10 temperatur yang dihasilkan pada bagian pendingin dan pemanas untuk ketinggian 300-500 cm hampir sama. Dari gambar 8 sampai 10 bisa kita amati juga bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur yang stabil/tetap pada bagian pendingin dan pemanas akan semakin singkat dengan bertambahnya ketinggian. Hal ini dipengaruhi oleh kecepatan aliran fluida, karena semakin tinggi kecepatan alirannya semakin meningkat maka distribusi temperaturnya akan semakin cepat (waktu yang diperlukan untuk mendistribusikan semakin singkat).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi diketahui bahwa hubungan ketinggian sistem sirkulasi dengan kecepatan fluida adalah berbanding lurus. Semakin tinggi alat, maka kecepatan fluida yang dihasilkan juga semakin bertambah dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kecepatan aliran fluida yang stabil juga semakin singkat seperti yang terlihat pada gambar 7. Kecepatan aliran yang terus meningkat seiring bertambahnya ketinggian alat akan semakin mempercepat waktu pendistribusian temperatur fluida dapat dilihat pada gambar 8 sampai 10.

Dari simulasi yang telah berhasil dilakukan masih ada beberapa hal yang perlu ditingkatkan diantaranya adalah meningkatkan kecepatan aliran fluida tanpa menambahkan ketinggian sistem sirkulasi dan mencari ukuran pipa yang tepat supaya diperoleh kecepatan aliran fluida yang optimal. Karena untuk kecepatan aliran fluida sekitar 24 cm/s (sekitar 91.1856 gr/s) tergolong lambat untuk mendinginkan temperatur pada reaktor nuklir yang temperaturnya diatas 500 Kelvin (kecepatan fluida pada pendingin reaktor PWR sekitar 8950 kg/s)[2]. Coba dilakukan pemodelan/simulasi dengan menggunakan perangkat lunak selain yang berbasis elemen hinggas, seperti MPS (*moving particle simulation*).

Kesulitan dari simulasi dengan berbasis elemen hinggas adalah menyesuaikan model yang dilakukan dengan bentuk yang akan dijadikan sebagai eksperimen. Terutama pada bagian pemanas dan pendingin. Selain itu juga terdapat keterbatasan dalam pilihan jenis pipa yang tersedia.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis haturkan terima kasih kepada DIKTI yang telah memberikan dana penelitian kepada Penulis sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada anggota Laboratorium Fisika Nuklir yang telah menyediakan tempat bagi penulis untuk melakukan eksperimen.

## REFERENSI

1. H. Abdillah, *Rancang Bangun Sistem Instrumentasi dan Sistem Deteksi Kecepatan dan Temperatur Air Pada Sistem Sirkulasi Alami*. Institut Teknologi Bandung (2013)
2. Westinghouse, *The Westinghouse Pressurized Water Reactor Nuclear Power Plant*. Westinghouse Electric Corporation (1984)