

# Pemodelan Sistem Sirkulasi Alami pada Reaktor nuklir dengan Variasi Ukuran Diameter

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

<sup>a)</sup> geby.saputra@students.itb.ac.id

<sup>b)</sup> habibi.abdillah@students.itb.ac.id

<sup>c)</sup> psidik@fi.itb.ac.id

<sup>d)</sup> 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 temperature fluida, merupakan contoh sistem pendingin secara alami. Proses pendinginan ini dipengaruhi waktu yang dibutuhkan untuk pendistribusian panas melalui fluida. Pendistribusian di dalam system dipengaruhi oleh kecepatan aliran fluida. Kecepatan aliran fluida selain dipengaruhi oleh ketinggian dari system sirkulasi alami, boleh jadi dapat dipengaruhi oleh diameter pipa yang digunakan dalam system sirkulasi alami. Untuk mengamati fenomena yang timbul dengan variasi ini kami melakukan pemodelan berupa data kecepatan fluida terhadap diameter pipa dan dan distribusi temperature fluida di dalam system.*

*Kata-kata kunci: diameter, kecepatan fluida, sirkulasi alami, dan 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 atau mati yang mengakibatkan panas pada reaktor terus mengalami peningkatan sehingga dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan reaktor. Melalui kecelakaan reaktor, umumnya bahan radioaktif dapat terpapar secara masif ke lingkungan. Salah satu solusi untuk menanggulangi permasalahan ini yang sekarang 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.

Riset ini merupakan lanjutan dari dua penelitian sebelumnya, dimana pada saat ini kami mencoba untuk mencari efek atau dampak yang terjadi dengan dilakukannya perubahan pada diameter pipa yang digunakan dalam simulasi system sirkulasi alami ini. Diameter pipa yang digunakan, yaitu 3.174, 2.5, 2.2, 2.0, 1.1, 0.5 cm disimulasikan pada ketinggian pipa yang berbeda-beda (300, 400, 500 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 system sirkulasi alami dengan perangkat lunak berbasis elem hingga dan untuk mempelajari pengaruh dari perbedaan diameter dan ketinggian terhadap aliran fluida dalam sistem sirkulasi alami.

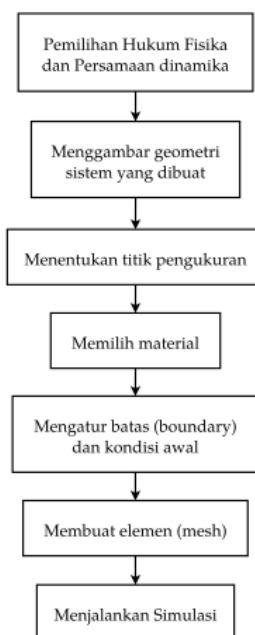


Gambar 1. Aparatus Sistem Sirkulasi Alami awal eksperimen dengan bagian pendingin dan pemanas yang telah diperbaiki menyerupai bentuk pada simulasi

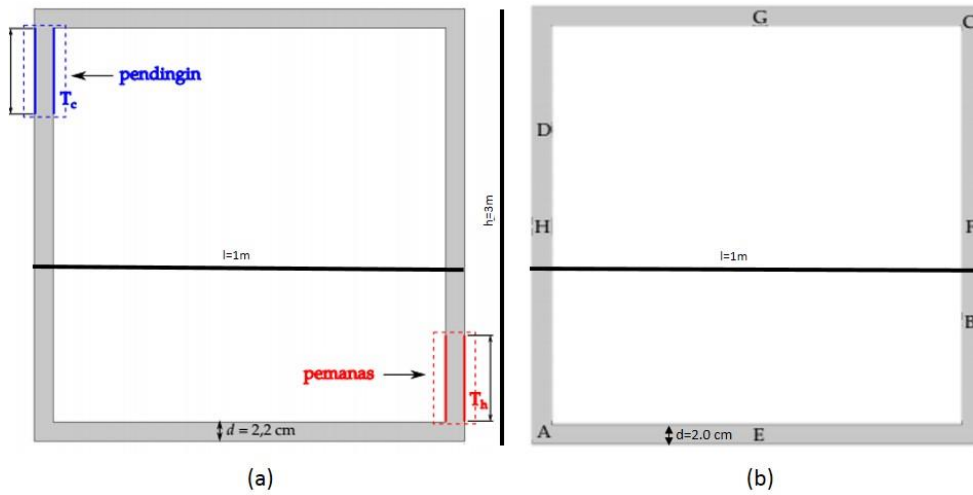
Kondisi pengamatan yang dilakukan pada sistem sirkulasi alami ini adalah kondisi yang ideal, artinya dinding tempat fluida mengalir merupakan dinding adiabatik (temperatur pada pemanas dan pendingin konstan). Fluida yang digunakan berupa air dan aliran air yang terjadi di dalam sistem sirkulasi diasumsikan 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 dengan diameter 2.2 cm, (b) titik-titik letak sensor temperatur LM-35 dengan diameter 2.0 cm

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

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

persamaan Navier-Stokes,

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

dan persamaan dinamika transfer panas di dalam fluida

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

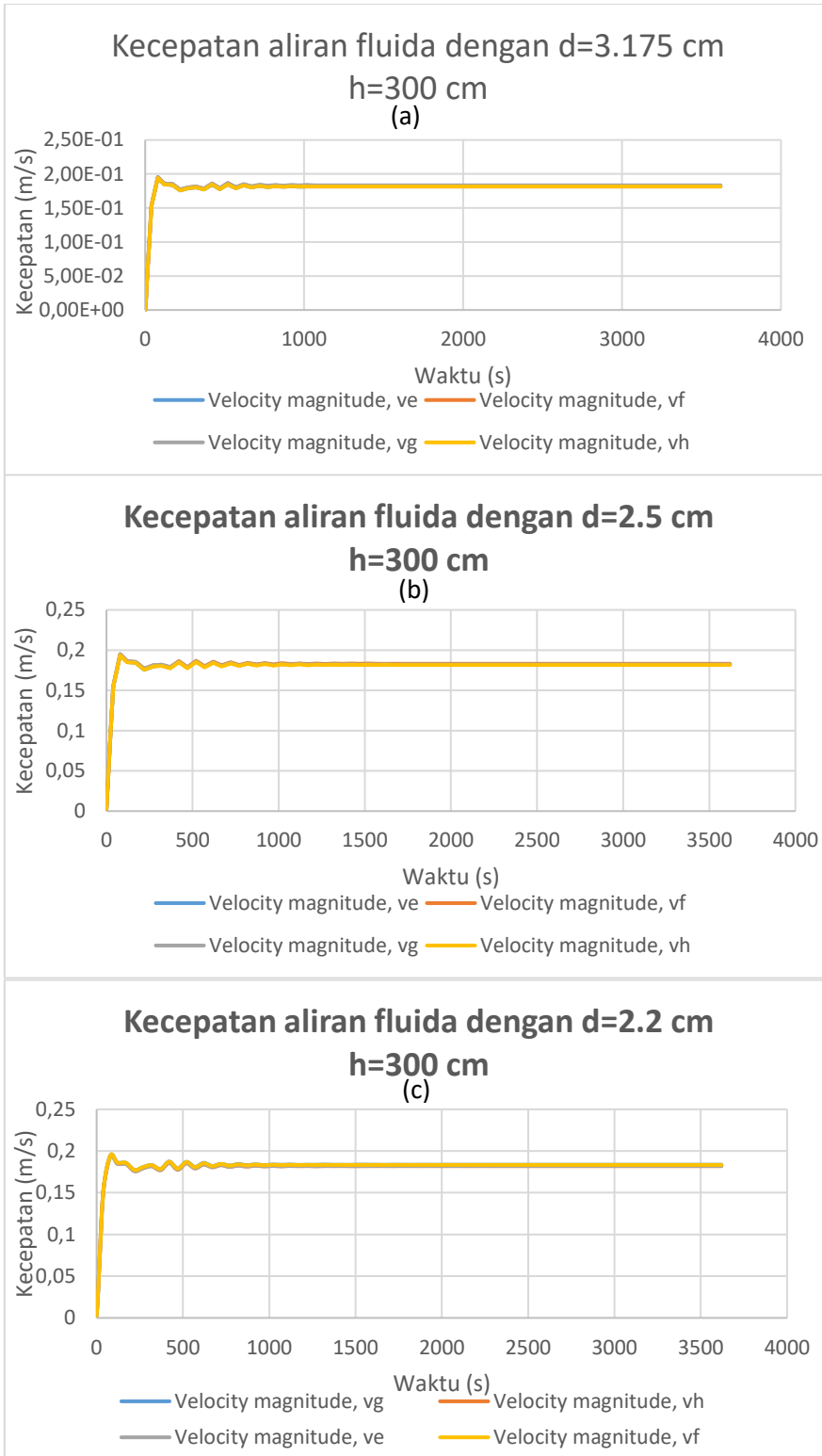
Proses naiknya air pada bagian pemanas merupakan fenomena dari konveksi alami. Hal ini disebabkan oleh gaya angkat fluida yang disebabkan oleh perbedaan temperature, yang dapat di rumuskan seperti berikut ini.

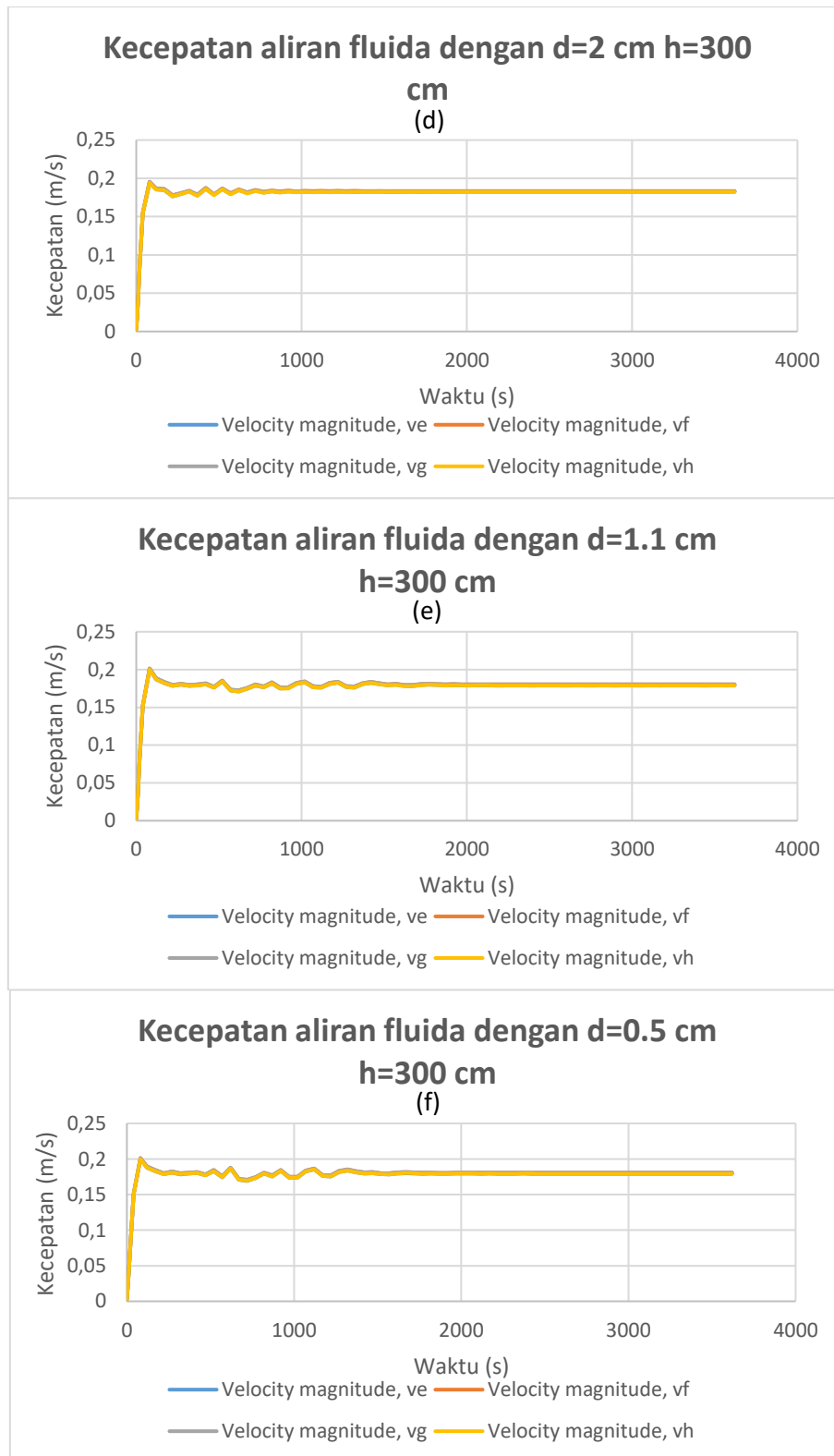
$$F = \rho_0 \beta \Delta T g$$

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 deltaT adalah perbedaan temperature antara fluida yang dipanaskan dengan temperature awal.

### HASIL SIMULASI

Variasi pemodelan yang dilakukan dalam penelitian ini dilakukan dengan lima variasi ukuran diameter pada tiga variasi ketinggian. Berikut ini merupakan hasil dari simulasi yang telah dilakukan.

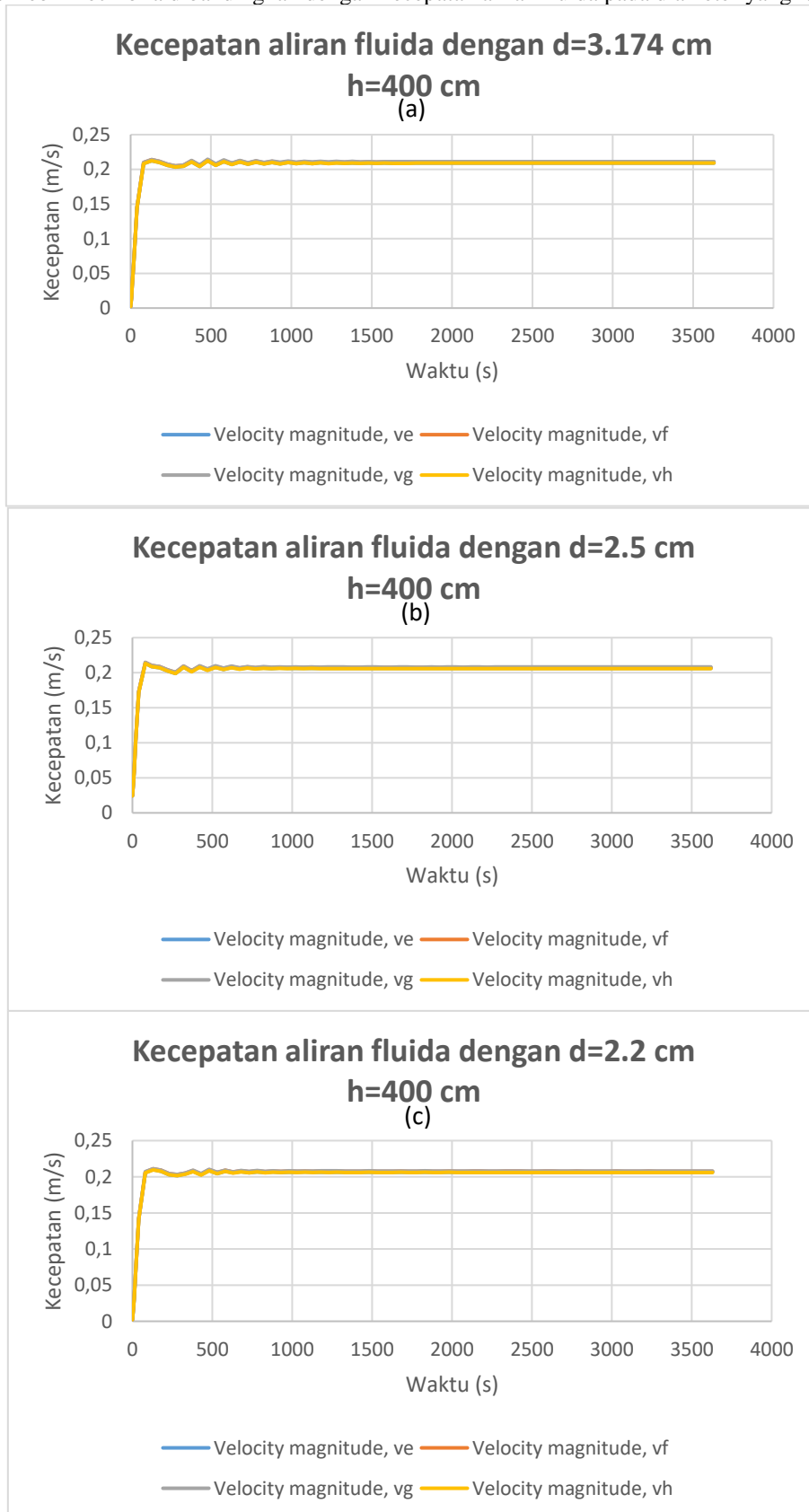


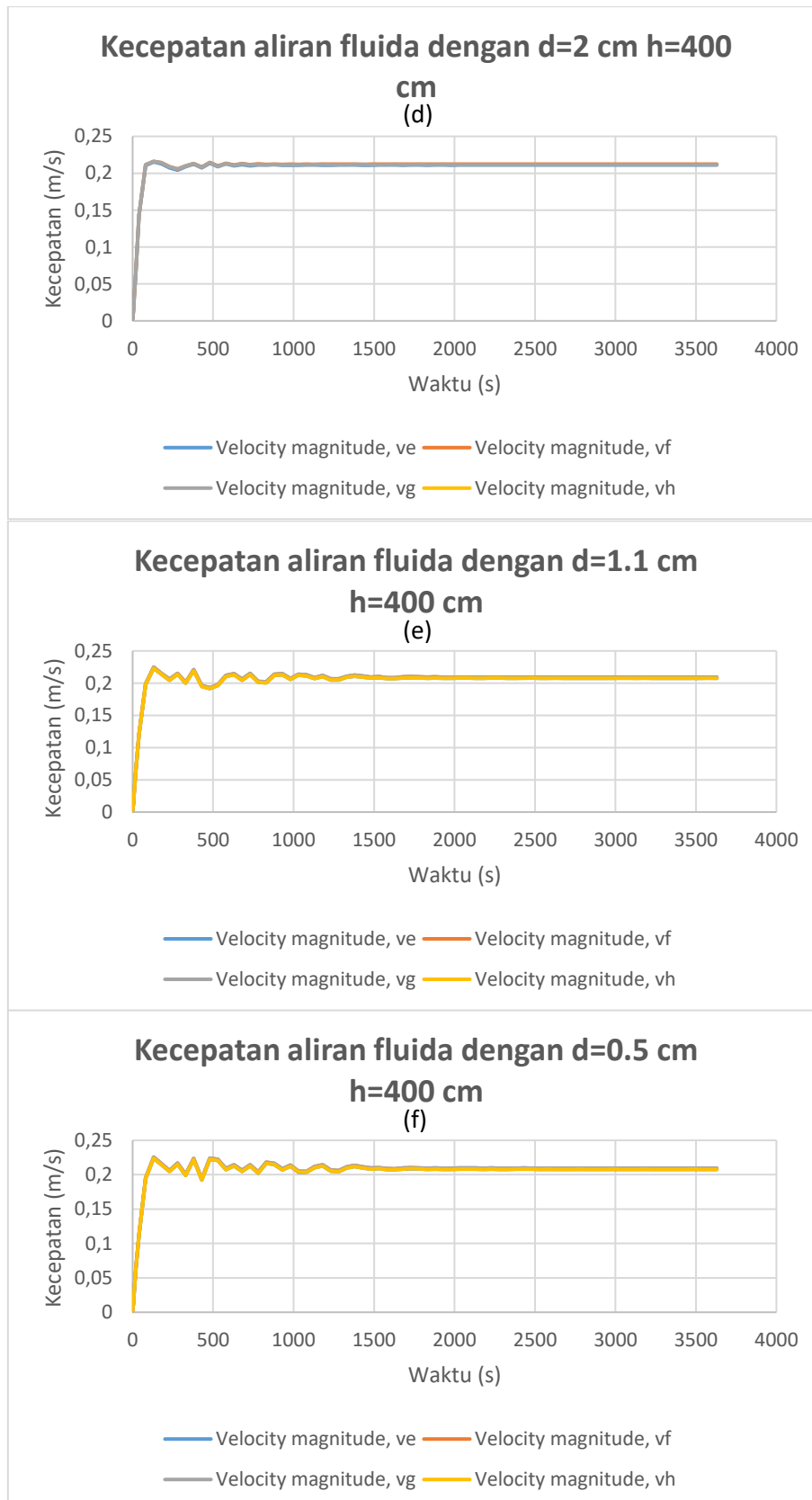


Gambar 4. Grafik kecepatan terhadap waktu di titik E, F, G, dan H di (a)  $d=3.175$ , (b)  $2.5$ , (c)  $d=2.2$ , (d)  $d=2.0$ , (e)  $d=1.1$ , dan (f)  $d=0.5$  cm untuk ketinggian 300 cm

Pada gambar 4 di atas, kecepatan aliran fluida yang paling besar dimiliki oleh grafik (e) dan (f), dengan nilai  $0.199$  cm/s. Hal ini, menunjukkan bahwa hasil yang ditunjukkan sudah memenuhi hukum kontinuitas. Bahwa dengan kondisi luas permukaan yang berbeda maka untuk memperoleh hasil sama (dengan menggunakan persamaan

kontinuitas) akan dipengaruhi oleh kecepatan aliran fluida nya. Untuk diameter yang lebih besar kecepatan aliran fluidanya akan lebih kecil bila dibandingkan dengan kecepatan aliran fluida pada diameter yang lebih kecil.





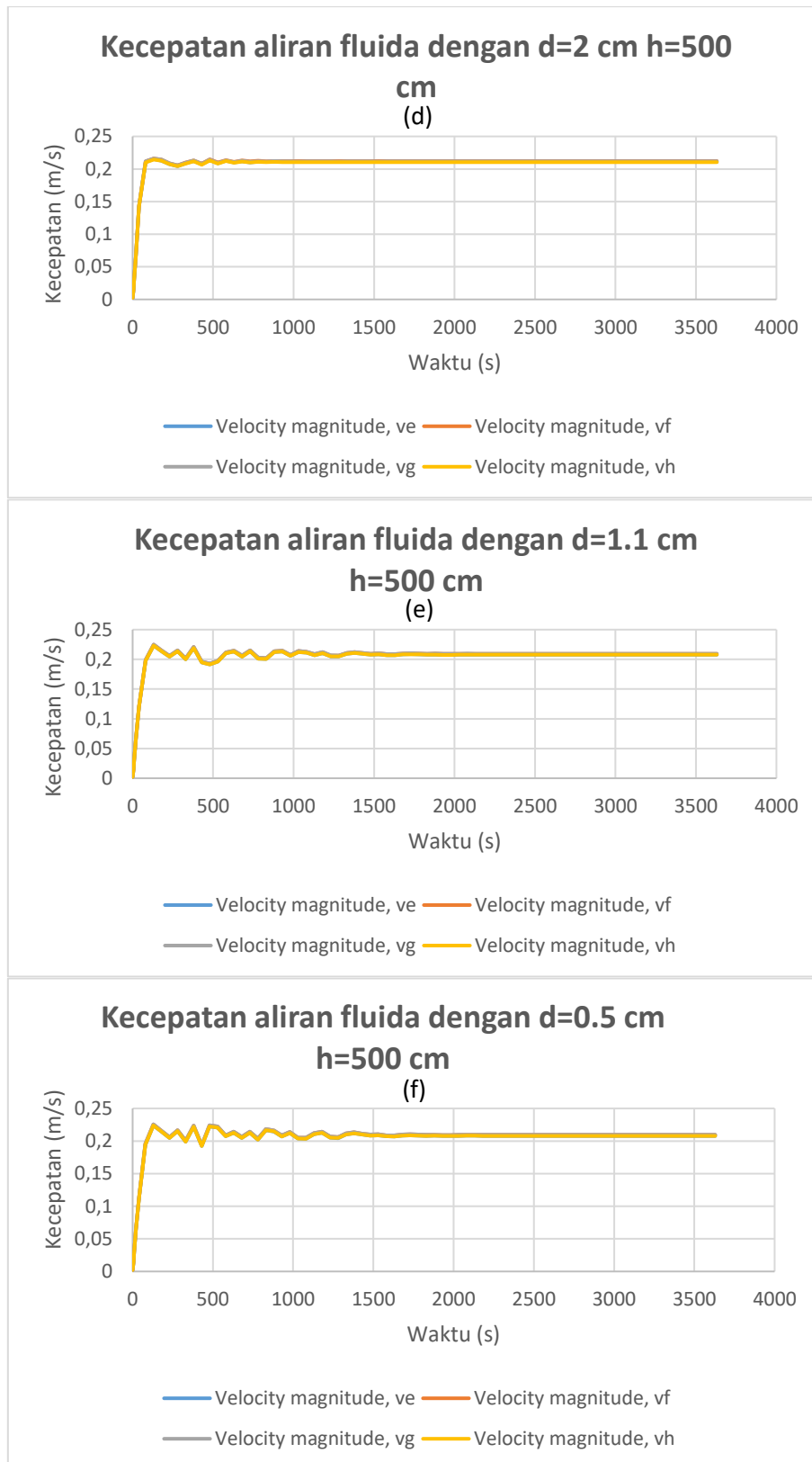
Gambar 5. Grafik kecepatan terhadap waktu di titik E, F, G, dan H di (a)  $d=3.175$ , (b)  $2.5$ , (c)  $d=2.2$ , (d)  $d=2.0$ , (e)  $d=1.1$ , dan (f)  $d=0.5$  cm untuk ketinggian 400 cm

Pada gambar 5 di atas, kecepatan aliran fluida yang paling besar dimiliki oleh grafik (e) dan (f), dengan nilai 0.22 cm/s. Hal ini, menunjukkan bahwa hasil yang ditunjukkan sudah memenuhi hukum kontinuitas. Bahwa dengan kondisi luas permukaan yang berbeda maka untuk memperoleh hasil sama (dengan menggunakan persamaan

kontinuitas) akan dipengaruhi oleh kecepatan aliran fluida nya. Untuk diameter yang lebih besar kecepatan aliran fluidanya akan lebih kecil bila dibandingkan dengan kecepatan aliran fluida pada diameter yang lebih kecil.







Gambar 6. Grafik kecepatan terhadap waktu di titik E, F, G, dan H di (a)  $d=3.175$ , (b)  $2.5$ , (c)  $d=2.2$ , (d)  $d=2.0$ , (e)  $d=1.1$ , dan (f)  $d=0.5\text{ cm}$  untuk ketinggian  $500\text{ cm}$

Pada grafik 4 di atas, kecepatan aliran fluida yang paling besar dimiliki oleh grafik (e) dan (f), dengan nilai  $0.22\text{ m/s}$ . Hal ini, menunjukkan bahwa hasil yang ditunjukkan sudah memenuhi hukum kontinuitas. Bahwa dengan kondisi luas permukaan yang berbeda maka untuk memperoleh hasil sama (dengan menggunakan persamaan kontinuitas) akan dipengaruhi oleh kecepatan aliran fluida nya. Untuk diameter yang lebih besar kecepatan aliran fluidanya akan lebih kecil bila dibandingkan dengan kecepatan aliran fluida pada diameter yang lebih kecil.

Pada gambar 4, 5 dan 6 terlihat bahwa kecepatan aliran fluida juga dipengaruhi oleh ketinggian dari sistem sirkulasi yang dibuat. Semakin tinggi alat yang dibuat kecepatan aliran fluida yang terbentuk akan semakin besar. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian terdahulu. 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).[2]

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi diketahui bahwa hubungan ukuran diameter pada pipa di sistem sirkulasi alami dengan kecepatan fluida adalah berbanding terbalik, tetapi berbanding lurus dengan ketinggian sistem sirkulasi alami yang dibangun. Dengan alat yang semakin besar dan semakin kecil diameter pipa yang digunakan, maka kecepatan fluida yang dihasilkan juga akan meningkat. Kecepatan aliran yang terus meningkat seiring berambahnya ketinggian alat dan diameter yang terus mengecil akan semakin mempercepat waktu pendistribusian temperature fluida.

Untuk kedepannya masih perlu dilakukan optimasi kecepatan aliran fluida pada sistem sirkulasi alami yang telah dibuat. Hal ini sangat penting dikarenakan di dalam reactor nuklir sangat membutuhkan kecepatan aliran fluida yang sangat tinggi yang digunakan untuk mendinginkan temperature pada reactor nuklir yang mencapai jutaan Kelvin. Coba dilakukan pemodelan/simulasi dengan menggunakan perangkat lunak selain yang berbasis elemen hingga, seperti MPS.

Kesulitan dari simulasi dengan berbasis elemen hingga 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. Geby Saputra. Habibi Abdillah dkk, *Pemodelan Sistem Sirkulasi Alami pada Reaktor nuklir dengan Variasi Ketinggian Alat yang Berbeda*, Seminar Kontribusi Fisika (2016)