

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 PENELITIAN TERDAHULU**

Sudah banyak penelitian yang dilakukan oleh para peneliti salah satunya oleh (Eastman et al., 2001) menemukan bahwa konduktivitas termal dari nanofluida berbasis etilena glikol yang mengandung 0,3% nano partikel tembaga berkurang seiring berjalanya waktu. Dalam studi mereka, konduktivitas termal nanofluida diukur dua kali dengan yang pertama dalam dua hari dan yang kedua adalah dua bulan selalu setelah persiapan. Ditemukan bahwa nanofluida yang disimpan selama dua hari menunjukkan konduktivitas termal yang sedikit lebih tinggi dari pada nanofluida yang disimpan selama dua bulan. Ini mungkin karena penurunan stabilitas penyebaran nano partikel, nano partikel mungkin cenderung menggumpal bila disimpan dalam jangka waktu tertentu. Selanjutnya oleh Liu, et al (2013) mengamati perilaku aglomerasi dan sedimentasi nanopartikel TiO<sub>2</sub> dan melaporkan bahwa nanosuspensi dengan ukuran aglomerat lebih dari 1000 nm menunjukkan stabilitas yang buruk. Rosengarten, et al (2011) telah melakukan penelitian bahwa sudut kontak permukaan mempengaruhi diameter penyebaran maksimum tetesan fluida, waktu kontak dan efektivitas perpindahan panas. Dalam pengujian tetesan tunggal, diamati bahwa permukaan hidrofilik (sudut kontak <90°) memberikan keefektifan pendinginan yang lebih tinggi daripada permukaan superhydrophobic (sudut kontak >160°). Jika hal tersebut juga berlaku untuk nanofluida, maka akan memberikan dampak positif dimana perpindahan panas dapat ditingkatkan. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Nahamury, et al (2009) meneliti stabilitas nanofluida TiO<sub>2</sub> dengan mengukur tingkat absorbansi nanofluida menggunakan UV-Vis. Dari hasil penelitian yang dilakukan didapat bahwa semakin tinggi konsentrasi nano partikel maka akan semakin lama proses terbentuknya sedimen. Selain konsentrasi, pH juga mempengaruhi laju sedimentasi, yaitu semakin kecil pH semakin lama nanofluida bertahan untuk tidak membentuk sedimentasi. Penelitian selanjutnya oleh (Keshavarz et al., 2011) meneliti efek perpindahan panas konvektif pada

aliran nanofluida didaerah berkembang dengan tabung fleks panas konstan dengan metode dinamika fluida komputasi CFD yang hasilnya bahwa data yang diprediksi dalam perjanjian sangat baik dengan data eksperimental diperoleh dari literatur, kesalahan maksimum sekitar 10%

## 2.2. DASAR TEORI

### 2.2.1. Aliran Fluida

Aliran pada fluida berbeda dengan zat padat dikarenakan kemampuannya untuk mengalir. Fluida lebih mudah mengalir karena ikatan molekul pada fluida lebih kecil dibandingkan ikatan molekul pada zat padat akibat fluida mempunyai hambatan yang relative kecil pada perubahan bentuk karena gesekan. Contoh aliran fluida antara lain: aliran laminar, aliran transisi, dan aliran turbulen. Aliran tersebut dipengaruhi oleh bilangan Reynolds. Bilangan Reynolds yaitu bilangan tidak berdimensi yang penting digunakan untuk penelitian aliran fluida pada pipa. Persamaan bilangan Reynolds untuk aliran dalam pipa sebagai berikut:

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

u = Kecepatan Fluida (m/s)

d = Diameter Dalam Pipa (m)

$\rho$  = Massa Jenis Fluida (kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$  = Viskositas Dinamis Fluida (kg/m.s) atau (N.s/m<sup>2</sup>)

### 2.2.2. Komputasi Dinamika Fluida

Komputasi Dinamika Fluida atau Computational Fluid Dynamics (CFD) yaitu ilmu yang mempelajari cara memprediksi perpindahan panas, pola aliran fluida, reaksi kimia dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika atau model matematika.

Pada umumnya proses perhitungan aliran fluida diselesaikan menggunakan persamaan energi, momentum dan kontinuitas. Persamaan yang dipakai yaitu persamaan Navier-Stokes, persamaan ini ditemukan di

Inggris oleh G.G. Stokes dan di Perancis oleh M. Navier sekitar awal tahun 1800. Adapun persamaan-persamaannya adalah sebagai berikut:

a. Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots (2)$$

b. Persamaan Momentum sumbu X

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} \\ = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{Re_r} \left( \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) \dots\dots (3) \end{aligned}$$

Momentum pada sumbu Y

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Re_r} \left( \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \right. \\ \left. \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

Momentum pada sumbu Z

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{Re_r} \left( \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \right. \\ \left. \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

Persamaan Energi

$$\begin{aligned} \frac{\partial(E_r)}{\partial t} + \frac{\partial(uE_r)}{\partial x} + \frac{\partial(vE_r)}{\partial y} + \frac{\partial(wE_r)}{\partial z} = -\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} - \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} - \\ \frac{1}{Re_r Pr_r} \left( \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) + \frac{1}{Re_r} \left( \frac{\partial}{\partial x} (u\tau_{xx} + v\tau_{xy} + w\tau_{xz}) + \right. \\ \left. \frac{\partial}{\partial y} (u\tau_{xy} + v\tau_{yy} + w\tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial z} (u\tau_{xz} + v\tau_{yz} + w\tau_{zz}) \right) \dots (6) \end{aligned}$$

Keterangan: x = Koordinat Sumbu X

y = Koordinat Sumbu Y

z = Koordinat Sumbu Z

u = Komponen Kecepatan U

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{Re_r} \left( \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \right. \\ \left. \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

v = Komponen Kecepatan V

w = Komponen Kecepatan W

t = Waktu

$\rho$  = Densitas

Et = Energi Total

Persamaan dibawah ini menunjukkan hubungan antara koefisien perpindahan kalor (h), konduktivitas thermal (k), bilangan Nusselt (Nu), dan diameter hidrolik dari saluran (Dh). Pada persamaan dibawah menunjukkan peningkatan nilai h yang signifikan apabila ukuran saluran diperkecil:

$$h = Nu \frac{k}{D_h} \dots \dots \dots (8)$$

Hasil simulasi nanofluida dibandingkan dengan data teoritis yang tersedia untuk fluida konvensional (air). Data teoritis dari fluida air juga dihitung dengan ANSYS-Fluent juga. Data dibandingkan dengan korelasi Dittus-Boelter untuk heat transfer (Nu) ditunjukkan pada rumus dibawah ini:

$$f = \frac{\partial}{\partial r} (\rho_{nf} u) \dots \dots \dots (9)$$

$$Nu = \frac{h_f}{k_f} D = 0,023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \dots \dots \dots (10)$$

$$Pr = Pe/Re = v/a = \eta.Cp/\lambda \dots \dots \dots (11)$$

Heat transfer rata-rata sebagai berikut:

$$\bar{h}_x = \frac{q''}{(\bar{T}_w(x) - \bar{T}_b(x))} \dots \dots \dots (12)$$

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari report Fluent, temperatur rata-rata antara dinding dan bulk dihitung pada simulasi ANSYS-Fluent.

### 2.2.3 Software CFD ANSYS-Fluent

Dalam dunia teknik dan sains sangat banyak software CFD yang digunakan, salah satunya adalah ANSYS-FLUENT. FLUENT merupakan salah satu jenis program CFD yang menggunakan metode volume hingga. FLUENT bisa menyelesaikan kasus aliran fluida dengan mesh (grid)

meskipun tidak terstruktur dengan cara yang mudah, karena FLUENT menyediakan fleksibilitas mesh yang lengkap.

FLUENT didukung oleh jenis mesh tipe 2D triangular-quadrilateral, 3D tetrahedral-hexahedral-pyramid-wedge, dan mesh campuran (hybrid). FLUENT juga bisa untuk memperhalus atau memperbesar mesh yang sudah ada.

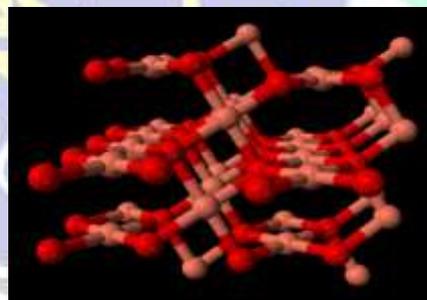


**Gambar 2.1.** Logo Ansys FLUENT<sup>®</sup>

FLUENT memiliki kelebihan sebagai berikut:

1. Model yang realistic (tersedia berbagai pilihan solver)
2. FLUENT mudah untuk digunakan
3. Diskritisasi atau meshing model yang efisien (dalam GAMBIT)
4. Cepat dalam penyajian hasil (biasa dengan parallel komputer)
5. Visualisasi yang mudah untuk dimengerti

#### 2.2.4 Nanopartikel CuO



**Gambar 2.2** Struktur CuO

CuO dikategorikan kedalam kelompok oksida logam transisi adalah tipe semikonduktor celah pita sempit. Ini memiliki struktur monoklinik dan banyak karakteristik menarik seperti konduktivitas termal super, sifat fotovoltaiik, stabilitas tinggi, dan aktifitas antimikroba. Karena sifat

eksklusif seperti itu, CuO dapat digunakan dibanyak bidang teknologi, misalnya katalis aktif, sensor gas, termal efisiensi tinggi, bahan konduksi, media perekaman magnetik.

### 2.2.5 Persamaan Dasar Nanofluida

Untuk menentukan properti nanofluida, perlu menggunakan persamaan dasar nanofluida. Persamaan berikut ini diambil dari referensi dari Brinkman et al (1952).

### 2.2.6 Konduktivitas Termal Nanofluida

Fluida yang tersuspensi dalam partikel ukuran nano maka nilai konduktivitas termal dari fluida tersebut akan meningkat. Jumlah peningkatan nilai tersebut berpengaruh pada ukuran partikel nano dan fraksi yang di larutkan. Persamaannya menjadi seperti berikut:

$$K_{nf} = \frac{K_p + K_{bf} + 2(K_p - K_{bf})\phi}{K_p + 2K_{bf} - (K_p - K_{bf})\phi} K_{bf} \dots \dots \dots (13)$$

Keterangan :

$K_{nf}$  = Konduktivitas termal nano fluida (W/mk)

$K_p$  = Konduktivitas termal nano partikel (W/mk)

$K_{bf}$  = Konduktivitas termal fluida dasar (W/mk)

$\phi$  = Fraksi Larutan (%)

### 2.2.7 Panas Spesifik Nanofluida

Panas Spesifik dari nanofluid sangat bergantung pada fraksi volume larutan nano partikel. Untuk mengetahui persamaan panas spesifik dari nanofluid digunakan perhitungan sebagai berikut:

$$Cp_{nf} = \frac{(1 - \phi)(\rho Cp)_{bf} + \phi (\rho Cp)_p}{(1 - \phi)\rho_{bf} + \phi \rho_p} \dots \dots \dots (14)$$

### 2.2.8 Viskositas Nanofluida

Viskositas berpengaruh pada kinerja perpindahan panas, viskositas nano fluida dipengerahui oleh densitas, fraksi volume dan viskositas fluida dasar. Tapi peningkatan nilai viskositas akan mempengaruhi

$$\mu_{nf} = (1 + 2.5\phi_p)\mu_{bf} \dots\dots\dots (15)$$

Keterangan :

$\mu_{nf}$  = Viskositas dinamis nano fluida ( $N_s/m^2$ )

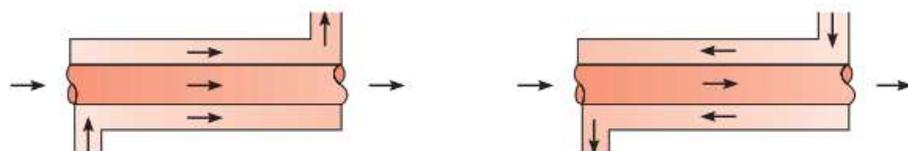
$\mu_{bf}$  = Viskositas dinamis fluida dasar ( $N_s/m^2$ )

$\phi$  = Fraksi Larutan (%)

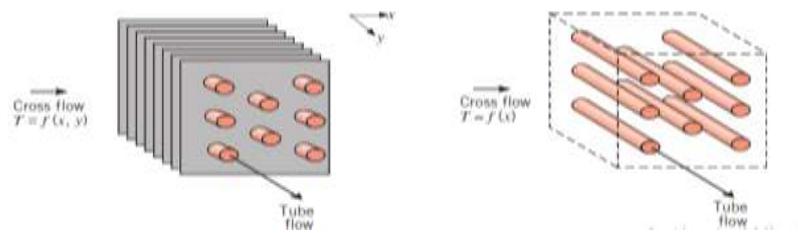
### 2.2.9 Penukar Kalor (Heat Exchanger)

Heat exchanger/penukar kalor diklasifikasikan berdasarkan arah aliran dan jenis konstruksi. Penukar kalor yang paling sederhana adalah penukar fluida panas dan dingin dengan arah yang sama atau berlawanan dalam konstruksi tabung konsentris (atau pipa ganda). Dalam pengaturan aliran paralel Gambar, fluida panas dan dingin masuk di ujung yang sama, mengalir ke arah yang sama, dan pergi di ujung yang sama. Dalam pengaturan aliran berlawanan pada Gambar, fluida masuk pada ujung yang berlawanan, mengalir pada arah yang berlawanan, dan meninggalkan pada ujung yang berlawanan.

Sebagai alternatif, fluida dapat bergerak dalam aliran silang/cross-flow (tegak lurus satu sama lain), seperti yang ditunjukkan oleh penukar panas tubular bersirip dan tak berujung pada Gambar. Dua konfigurasi biasanya dibedakan oleh idealisasi yang memperlakukan gerakan cairan di atas tabung sebagai tidak dicampur atau dicampur. Pada Gambar 11.2a, fluida cross-flow dikatakan tidak dicampur karena serat menghambat gerakan ke arah (y) yang melintang ke arah aliran utama (x). Dalam hal ini suhu fluida cross-flow bervariasi dengan x dan y (De Witt, tahun)



**Gambar 2.3.** Heat exchanger tipe parallel dan counter flow



**Gambar 2.4** Heat exchanger tipe cross

### 2.3.0 Radiator Mobil



**Gambar 2.5** Radiator

Salah satu dari beberapa sistem yang ada di mobil adalah sistem pendinginan. Sistem ini bertujuan untuk mendinginkan suhu mesin mobil yang meninggi. Radiator pada umumnya digunakan untuk kendaraan kecil maupun besar, tetapi radiator juga digubakan pada mesin mesin produksi di pabrik besar. Sistem pendingin ada tiga macam yaitu sistem pendingin dengan oli, sistem pendingin dengan udara, dan sistem pendingin dengan air. Umumnya sistem pendingin dengan air digunakan cukup banyak oleh mobil dan motor. Biasanya saat mesin bekerja panas yang tinggi terjadi. Jika suhunya terlalu tinggi maka terjadi overheating. Radiator umumnya dipasang dibagian depan mobil yang menghadang arah angin, namun radiator juga membutuhkan kipas radiator agar sirkulasi angin diradiator bisa tetap mengalir dan mampu mendinginkan suhu air mesin.

Komponen yang terdapat pada radiator mobil meliputi :

### **1. Upper tank**

Upper tank biasanya terletak diatas radiator dan merupakan saluran masuk air pendingin. Fungsi upper tank sebagai tempat penampungan air yang berasal dari mesin.

### **2. Radiator Core**

Komponen ini yaitu inti dari radiator yang berbentuk pipa memanjang. Letak komponen ini berada di antara lower dan upper tank. Komponen ini menyalurkan panas yang berasal dari air radiator.

### **3. Sirip pendingin**

Sirip pendingin dibuat dari bahan plat tipis yang diletakkan diantara sela sela radiator core yang satu dengan lainnya. Sirip pendingin ini umumnya di desain berbentuk zig zag memanjang dari upper tank ke lower tank. Suhu panas air pendingin akan dihantarkan melalui sirip sirip pendingin radiator, kemudian panas tersebut dibuang ke udara bebas sehingga terjadilah proses pendinginan air radiator.

### **4. Lower tank**

Komponen tangki merupakan tangki penampung air radiator yang terletak dibawah radiator. Untuk fungsi dari komponen ini yaitu menampung air pendingin yang sudah melalui proses cooling.

### **5. Reservoir Tank**

Reservoir tank ini umumnya terpisah dari radiator, namun tetap terhubung melalui saluran reservoir yang terdapat pada upper tank. Reservoir ini berfungsi untuk menampung air radiator sekaligus melepas tekanan udara apabila terjadi tekanan yang berlebih pada cooling sistem.