

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **1.1 Tinjauan Pustaka**

Berbagai pemelitian berbasis bentuk mengetahui perpindahan panas dalam pipa sudah di lakukan untuk mencegah panas dan hal-hal yang tidak diinginkan. (Hwang et al., 2009) meneliti mengenai alira dan karakter perpindahan panas konveksi fluida nano  $Al_2O_3$ /air di bawah konduksi konstan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan partikel ke dalam fluida dasar meningkatkan koefisien perpindahan kalor seiring dengan meingkatnya jumlah volume.

Selanjutnya penelitian (Liu & Yu, 2011) meneliti tentang karakteristik perpindahan panas, nanofluida  $Al_2O_3$ /air pada saluran kecil di bawah fluks kalor konstan, perolehan dari penelitian menunjukkan perpindahan kalor dan bilangan nusselt nanofluida lebih tinggi dari fluida semula dan meningkat apabila bilangan Reynold dan laju mengalir.

(Ho et al., 2010) Melakukan penelitian studi eksperimental, mengenai perpindahan panas konveksi alami dari nanofluid dalam persegi vertikal. Di masa sekarang nanofluida di formulasikan dengan percobaan air, dengan berbagai fraksi volume. Analisis korelasi berdasarkan sifat termofisik nanofluida yang di formulasikan menghasilkan persamaan, penerapan nanofluida untuk meningkatkan perpindahan panas konveksi alami kadang mendapatkan hasil secara kurang tepat.

(Manca et al., 2012) melakukan penelitian numerik pada konveksi paksa dengan nanofluida yang di susun oleh air dan partikel yang di lakukan secara dua dimensi. Program fase tunggal digunakan untuk memodelkan nanofluida dan sifat cairnya dengan suhu konstan. Ukuran partikel telah diatur yaitu 38 nm dan volume partikel nano fraksi dari 0% sampai 4%, aliran turbulen dan angka Reynolds ada di kisaran 20,000e60,000. Hasil yang di dapat dalam suhu dan kecepatan mendapat jumlah rata-rata nusselt dan rata-rata koefisien perpindahan panas.

(Akhtari et al., 2013) melakukan penelitian yang menghasilkan studi eksperimental dan numeric pada perpindahan panas dari  $Al_2O_3$ /air, pada kondisi aliran laminar nanofluida yang mengalir melalui pipa ganda, menukar panas tabung dan shell. Parameter seperti memberikan efek panas dan dingin pada laju volum aliran, suhu nanofluida dan konsentrasi pada partikel nano mengasilkkan analisis karakter. Hasil menunjukkan bahwa perpindahan panas shell dan tabung meningkat dengan bersamaan meningkatnya panas di laju aliran volume.

(Desamala et al., 2013) melakukan penelitian menggunakan simulasi CFD dan validasi pada pola aliran boundaries transisi aliran dua fasa air dan minyak melalui kondisi horizontal. Pipa yang di gunakan pipa sepanjang masing-masing 0,025 m dan 7,16 in. Metode VOF digunakan dalam penelitia ini. Pengaruh tegangan permukaan untuk memperkirakan terjadinya pola aliran.

(Zainal et al., 2016) analisis simulasi CFD tentang peningkatan perpindahan panas aliran turbulen dalam pipa melingkar horizontal oleh perangkat lunak yang baik di mana FLUENT digunakan untuk memprediksi koefisien perubahan panas dan bilangan Nusselt untuk perpindahan panas konveksi paksa dari nanofluid air Ag/HEG + air. Kisaran bilangan Reynolds yang dipilih adalah 20.000 dan 40.000 dalam tabung lurus horizontal dengan diameter 0,01 m dengan fluks panas 1000 W/m<sup>2</sup>. Fraksi volume nanopartikel dipertimbangkan. Masalah ini juga dianggap 100x30 meshing agar  $Y^+$  mendekati 1 untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.. Akhirnya, hasilnya dibandingkan dengan nilai-nilai teoritis yang diperoleh dari Dittus-Boelter Equation dengan menggunakan alat paket dari ANSYS-FLUENT yang menunjukkan hasil yang sama.

## **2.2. DASAR TEORI**

### **2.2.1. Aliran Fluida**

Aliran 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:

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

u = Kecepatan Fluida (m/s)

D = Diameter Dalam Pipa (m)

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

$\mu$  = Viskositas Dinamik 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 (Versteeg, 1995) adalah sebagai berikut:

a. Persamaan Kontinuitas:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \dots \dots \dots (2.2)$$

(Versteeg, 1995).

b. Persamaan Momentum sumbu X:

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

Momentum pada sumbu Y:

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

Momentum pada sumbu Z:

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

Persamaan Energi:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(E_r)}{\partial t} + \frac{\partial(uE_r)}{\partial x} + \frac{\partial(vE_r)}{\partial y} + \frac{\partial(wE_r)}{\partial z} = -\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} - \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} - \\ \frac{1}{Re_r Pr_r} \left( \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) + \frac{1}{Re_r} \left( \frac{\partial}{\partial x} (u\tau_{xx} + v\tau_{xy} + w\tau_{xz}) + \right. \\ \left. \frac{\partial}{\partial y} (u\tau_{xy} + v\tau_{yy} + w\tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial z} (u\tau_{xz} + v\tau_{yz} + w\tau_{zz}) \right) \\ \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{Re_r} \left( \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \right. \\ \left. \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) \end{aligned}$$

Keterangan:

x = Koordinat Sumbu X

y = Koordinat Sumbu Y

z = Koordinat Sumbu Z

u = Komponen Kecepatan U

v = Komponen Kecepatan V

w = Komponen Kecepatan W

t = Waktu

$\rho$  = Densitas

(h), konduktivitas thermal (k), bilangan Nusselt (Nu), dan diameter hidrolik dari saluran (Dh). Pada persamaan dibawah menunjukkan

Persamaan hubungan antara koefisien perpindahan kalor peningkatan nilai  $h$  yang signifikan apabila ukuran saluran diperkecil:

$$h = Nu \frac{k}{D_h} \dots \dots \dots (2.3)$$

$h$  = Koefisien Perpindahan Kalor

$Nu$  = Bilangan Nusselt

$k$  = Konduktivitas termal

$D_h$  = Diameter Hidrolis (m)

(Brinkman, 1952).

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:

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

Keterangan:

$f$  = Faktor Gesekan

$\rho_{nf}$  = Densitas Nanofluida

$u$  = Kecepatan Fluida (m/s)

$$Nu = \frac{h_f}{k_f} D = 0,023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

$Nu$  = Nusselt Number

$D$  = Diameter Dalam Pipa (m)

$Pr$  = Prandl Number

$Re$  = Reynolds Number

$h_f$  = Koefisien perpindahan kalor fasa liquid (W/m<sup>2</sup>.K)

$k_f$  = Konduktifitas termal fluida fasa liquid (W/m)

Heat transfer rata-rata sebagai berikut:

$$\bar{h}_x = \frac{q''}{(\bar{T}_w(x) - \bar{T}_b(x))} \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan :

$\bar{h}_x$  = Heat transfer rata rata

$\bar{T}_b$  = Temperatur bulk fluida

$\bar{T}_w$  = Suhu permukaan (°C)

$q'$  = Heat fluxs (W/m<sup>2</sup>)

(Moraveji et al., 2011)

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 tak terhingga. 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®

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 Persamaan Dasar Nanofluida

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

#### 2.2.5 Konduktivitas Termal Nanofluid

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:

$$K_{nf} = \frac{K_p + K_{bf} + 2(K_p - K_{bf})\phi}{K_p + 2K_{bf} - (K_p - K_{bf})\phi} K_{bf} \dots \dots \dots (2.6)$$

$K_{nf}$  = 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 (%)

(Brinkman, 1952)

#### 2.2.6 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:

$$Cp_{nf} = \frac{(1 - \phi)(\rho Cp)_{bf} + \phi (\rho Cp)_P}{(1 - \phi)\rho_{bf} + \phi\rho_P} \dots \dots \dots (2.7)$$

(Brinkman, 1952).

$Cp_{nf}$  = Kalor spesifik nano fluida (kJ/kg.K)

$\phi$  = Fraksi larutan (%)

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

$\rho_{bf}$  = Densitas dari fluida dasar

$\rho_p =$  Partikel nano

### 2.2.7 Viskositas Nanofluida

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

$$\eta_{nf} = (1 + 2.5\phi_p)\eta_{bf}$$

Keterangan:

$\eta_{nf}$  = Viskositas Dinamis Nanofluida ( $N_s/m^2$ )

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

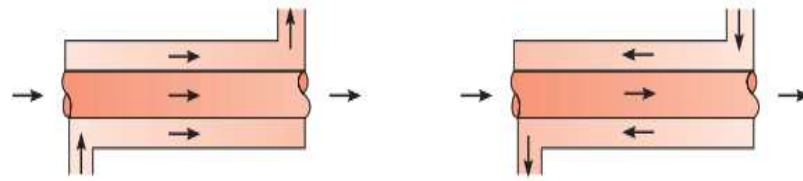
$\phi$  = Fraksi Larutan (%)

### 2.2.8 Penukar Kalor (Heat Exchanger)

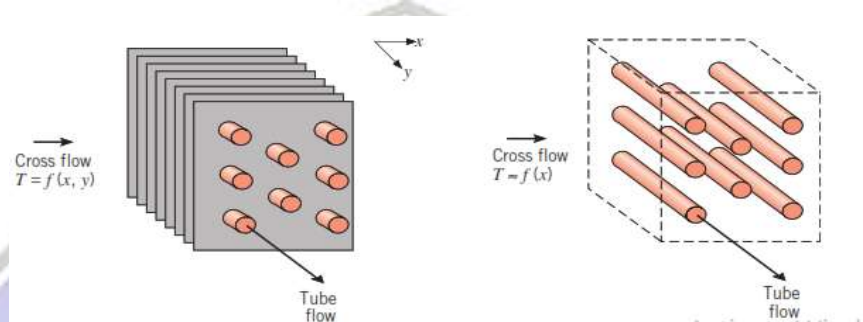
Heat exchanger/penukar kalor diklasifikasikan berdasarkan arah aliran dan jenis konstruksi. Penukar kalor yang paling sederhana adalah penukar Fluida panas dan dingin dengan arah yang sama atau berlawanan dalam konstruksi tabung konsentris (atau pipa ganda). Dalam pengaturan aliran paralel Gambar, fluida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





Gambar: 2.2. Heat exchanger tipe parallel dan counter flow.



Gambar: 2.3 Heat exchanger tipe cross-flo.

### 2.2.9 Nanopartikel TiO<sub>2</sub>

Titanium dioksida juga di kenal dengan sebagai titanium (IV) atau titania, di alam biasanya tersedia dalam bentuk oksida dari titanium dengan rumus TiO<sub>2</sub>. Titanium dioksida di alam diketahui berbentuk mineral rutil, anatase, dan brookite. Titanium digunakan sebagai nanofluida karena sifatnya yang tidak berbahaya bagi manusia dan binatang, selain itu titanium digunakan karena sifatnya yang stabil dan mudah di temukan karena diproduksi dalam skala yang besar dalam industri. Titanium juga digunakan karena memiliki konduktifitas termal yang tinggi.



Gambar: 2.4 Nanopartikel TiO<sub>2</sub>.