

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perpindahan Panas

Perpindahan panas atau perpindahan kalor adalah perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur [7]. Perpindahan energi terjadi dari tempat yang bersuhu tinggi ke tempat yang suhu terendah. Perpindahan panas tidak dapat terjadi untuk tempat yang memiliki suhu sama. Perpindahan panas dapat terjadi melalui tiga cara atau sistem :

a. Perpindahan panas konduksi

Perpindahan panas secara konduksi berarti perpindahan terjadi dengan cara panas mengalir dari tempat yang bersuhu tinggi ke tempat yang bersuhu rendah dengan perantara atau medium (padat, cair dan gas) yang bersinggungan secara langsung [8]. Perpindahan panas secara konduksi dapat dihitung melalui persamaan sebagai berikut :

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

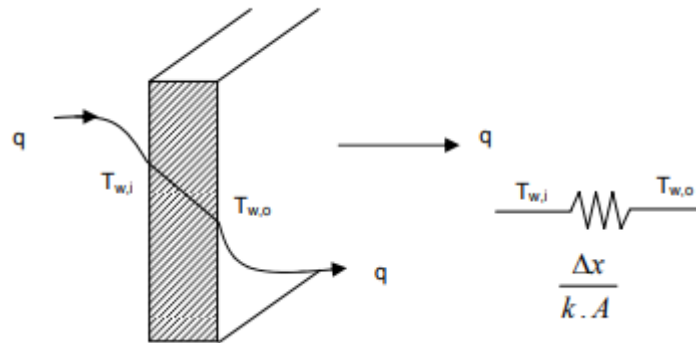
q = Laju aliran panas dengan cara konduksi (watt)

k = Konduktivitas termal bahan (W/m K)

A = Luas penampang (m^2)

$\frac{dT}{dx}$ = Gradien suhu pada penampang ($^{\circ}K$)

Tanda minus pada rumus menunjukkan bahwa panas mengalir ke arah suhu yang rendah. Proses perpindahan panas konduksi pada plat datar dapat dilihat pada gambar 2.1 [7].



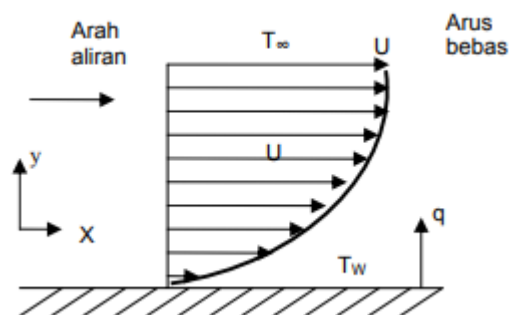
Gambar 2.1 Perpindahan Panas pada Plat Datar [7]

Jika gradien suhu pada plat dengan bahan tertentu terlihat seperti pada Gambar 2.1, maka perpindahan panas dapat dituliskan sebagai berikut ;

$$q = \frac{k \cdot A}{\Delta x} \cdot (T_{w,i} - T_{w,o}) \dots \dots \dots (2)$$

b. Perpindahan panas konveksi

Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi dengan cara panas mengalir antara permukaan dan fluida yang bergerak saat temperatur keduanya berbeda. Proses perpindahan panas konveksi ini hanya terjadi pada permukaan yang dilewati oleh fluida yang bergerak sehingga struktur benda tidak diperhitungkan [7]. Perpindahan panas konveksi dibagi lagi menjadi 2 bagian yaitu konveksi bebas (konveksi alamiah) terjadi apabila pergerakan fluida dikarenakan gaya apung (*buoyancy force*) akibat perbedaan densitas fluida tersebut [9]. Konveksi paksa adalah perpindahan panas yang terjadi karena aliran berasal dari luar seperti *blower* atau kran atau pompa [10].



Gambar 2.2 Perpindahan Panas Konveksi [7]

Perpindahan panas secara konveksi antara suatu fluida dengan permukaan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$q = h A \Delta T \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

- q = Laju perpindahan panas (Watt)
- h = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m² k)
- A = Luas penampang (m²)
- ΔT = Beda antara suhu permukaan dengan suhu fluida (K)

c. Perpindahan panas radiasi

Perpindahan panas secara radiasi adalah perpindahan kalor yang terjadi karena adanya pancaran/ sinar/ gelombang magnetik tanpa memerlukan media perantara [9]. Perpindahan panas secara radiasi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut ;

$$q = \varepsilon A \sigma (T_s^4 - T_{sur}^4) \dots\dots\dots(4)$$

Dengan :

- q = Laju perpindahan radiasi
- ε = Sifat radiasi pada permukaan (emisivitas)
- A = Luas permukaan
- σ = Konstanta Stefan-Boltzmann (5.67 x 10⁻⁸ W/m²K⁴)
- T_s = Temperatur absolut permukaan
- T_{sur} = Temperatur sekitar

2.2 Waterblock

Waterblock adalah suatu media pelepasan kalor yang digunakan untuk mendinginkan perangkat elektronik. *Waterblock* merupakan alat *thermoelectric* dimana proses kerjanya dipengaruhi oleh kemampuan melepaskan panas [11]. Manajemen termal adalah bagian penting dalam suatu perangkat elektronik karena

memiliki peran dalam menjaga kualitas, efisiensi dan ketahanan terhadap panas. Tujuan dari pengelolaan termal pada perangkat elektronik adalah untuk mengurangi kegagalan produk akibat temperatur yang sangat panas. Salah metode manajemen termal adalah penggunaan *waterblock* pada sistem pendingin [12].



Gambar 2.3 *Waterblock* Pendingin CPU [12]

2.3 *Reynolds Number*

Bilangan *Reynolds* adalah suatu bilangan tidak berdimensi yang digunakan untuk menentukan aliran suatu fluida (laminer, transisi atau turbulen) [7]. Bilangan *Reynolds* dapat diperoleh dengan persamaan [13] :

$$Re = \frac{V d_i}{\nu} \dots\dots\dots(5)$$

Atau [7],

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :

- Re = Bilangan *Reynolds*
- V = Kecepatan rata-rata fluida (m/s)
- d_i = Diameter dalam tabung (m)
- ν = Viskositas kinematik (m²/s)
- μ = Viskositas dinamis fluida (kg/m s)
- D = Diameter (m)
- ρ = Massa jenis (kg/m³)
- v = Kecepatan (m/s)

Untuk memerlukan kecepatan rata-rata maka akan diperoleh dengan persamaan :

$$v = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana :

v = Kecepatan (m/s)

Q = Debit aliran fluida (m³/s)

A = Luas penampang (m²)

Untuk diameter pada anulus diperoleh dengan persamaan :

$$D_h = \frac{4A}{P} \dots\dots\dots(8)$$

Dimana :

D_h = Diameter hidraulik (m)

A = Luas penampang (m²)

P = Keliling

2.4 Aliran Internal dan Eksternal

Untuk aliran laminar dan turbulen juga dapat terjadi pada aliran internal dan eksternal. Aliran internal merupakan aliran yang dibatasi oleh dinding dan memiliki pengaruh *viscous* yang dapat terus meningkat sampai memenuhi seluruh aliran. Sedangkan untuk aliran eksternal merupakan aliran yang tidak dibatasi oleh dinding apapun, ruang lingkungannya dapat terus bertambah tanpa batasan peningkatan tebal *viscous layer*[14]. Hal yang sering terjadi pada suatu aliran laminar dan turbulen adalah aliran dimulai pada kondisi laminar kemudian dilanjutkan pada kondisi turbulen.

Untuk aliran internal besarnya bilangan *Reynolds* suatu aliran dapat dikatakan laminar jika aliran fluida bergerak secara teratur atau nilai bilangan *Reynolds* nya dibawah 2000, dan untuk daerah dengan bilangan *Reynolds* antara 2100 sampai 4000 atau terjadi peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen disebut aliran peralihan (transisi). Sedangkan aliran dikatakan turbulen jika fluida bergerak

dengan tidak menentu ditandai dengan nilai bilangan *Reynolds* nya lebih dari 4000[7]. Sedangkan untuk aliran eksternal adalah aliran diluar atau aliran fluida yang mengalir pada permukaan suatu benda. Untuk nilai bilangan *Reynolds* nya apabila dibawah $5 \cdot 10^5$ adalah aliran laminar, untuk sama dengan $5 \cdot 10^5$ adalah aliran transisi dan untuk diatas $5 \cdot 10^5$ adalah aliran turbulen. Rumus yang digunakan untuk menentukan nilai *Reynolds* adalah sebagai berikut ;

$$Re = \frac{v L}{\mu} \dots\dots\dots(9)$$

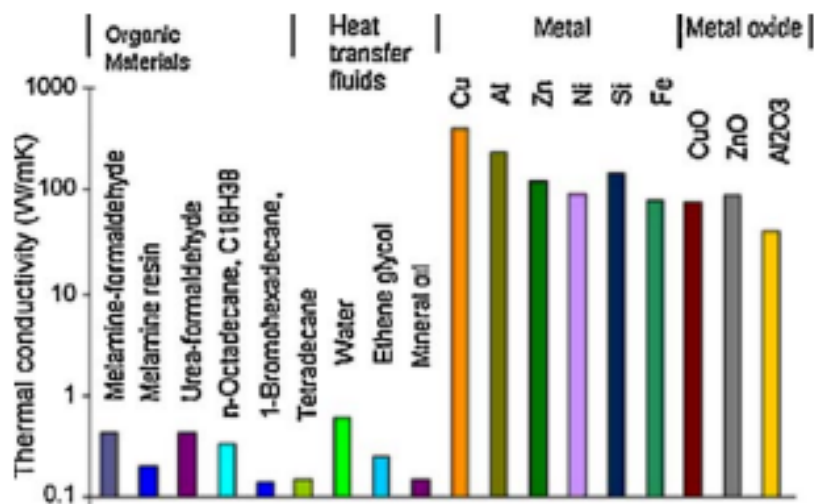
Dimana :

- Re = bilangan *Reynolds*
- v = kecepatan aliran fluida (m/s)
- L = luas permukaan (m^2)
- μ = viskositas fluida kerja (kg/m s)

2.5 Nanofluida

Nanofluida merupakan larutan yang mengandung nanopartikel yang digunakan sebagai fluida pendingin [15]. Nanofluida memiliki sifat konduktivitas termal, difusivitas termal, viskositas dan koefisien perpindahan panas yang lebih baik dibandingkan fluida lainnya [16]. Nanofluida mengandung nanopartikel berukuran 1-100nm dalam fluida dasarnya. Pengaplikasian nanofluida selain pada perangkat elektronik juga mulai dikembangkan hingga ke bidang teknik seperti pada penggunaan alat *drilling*, *heat exchanger*, perangkat pendingin serta penggunaan nanofluida pada reaktor nuklir [6].

Konduktivitas termal nanofluida adalah suatu kemampuan nanofluida untuk dapat melakukan atau mengirimkan panas. Konduktivitas termal nanofluida lebih tinggi dibandingkan dengan nanopartikel maupun fluida dasarnya. Gambar 2.4 menunjukkan hasil dari penelitian konduktivitas termal pada nanofluida .



Gambar 2.4 Konduktivitas beberapa bahan, Fluda Dasar dan Nanofluida [6]

Untuk menggabungkan antara nanopartikel dengan fluida dasar untuk menghasilkan nanofluida harus memperhatikan beberapa hal seperti pengaduk yang digunakan, kestabilan dan waktu lamanya proses mengaduk, juga tidak adanya perubahan kimia [16]. Ada dua metode umum yang digunakan dalam pembuatan nanofluida yaitu: penambahan asam atau basa untuk mengubah nilai pH, menambahkan zat aktif dan menggunakan getaran ultrasonik. Pada tabel 2.2 Menunjukkan tahap persiapan pada beberapa nanofluida [16].

Tabel 2.1 Persiapan pada pembuatan Nanofluida

No	Nanofluida	Surfaktan	Stabilitas	Referensi
1	Al ₂ O ₃ -Air	-	24 jam	East et al (1997)
2	TiO ₂ -Air	Oleic Acid dan CTAB	-	Murshed et al (2010)
3	Cu- Air	Larutan garam	30 jam	Xuan and Li (2000)
4	MWCNT- Air	SDS	-	Hong et al (2000)
5	Ag- Air	-	24 jam	Godson et al (2005)

Dalam pembuatan nanofluida kita dapat mencari massa jenis nanofluida dengan menggunakan rumus sebagai berikut [17] :

$$\rho_{nf} = \rho_p \varphi + \rho_{bf} (1 - \varphi) \dots \dots \dots (10)$$

Dimana :

- ρ_{nf} = Densitas nanofluida
- ρ_p = Densitas nanopartikel
- φ = Volume konsentrasi nanopartikel
- ρ_{bf} = Densitas fluida dasar

Untuk mencari nilai viskositas nanofluida berdasarkan konsentrasi yang digunakan menggunakan rumus sebagai berikut [18] :

$$\mu_{nf} = \mu_f (1 + 2.5 \varnothing) \dots \dots \dots (11)$$

Dimana :

- μ_{nf} = Viskositas nanofluida
- μ_f = Viskositas fluida dasar
- $\varnothing$ = Volume fraksi dari partikel yang tersuspensi

Salah satu nanofluida yang banyak digunakan sekarang Al_2O_3 , Al_2O_3 dapat meningkatkan konvektif koefisien transfer dibandingkan dengan air suling [19]. 0,1% fraksi volume Al_2O_3 dapat meningkatkan sekitar 4% konduktivitas termal. Semakin meningkat dengan meningkatnya fraksi volume [20]. Ukuran rata-rata partikel Al_2O_3 sekitar 50nm [21].

Tabel 2.2 Properti Termofisik Nanofluida Al_2O_3 , 0.05% pada $T = 300^\circ K$

Properti Termofisik	Al_2O_3
Densitas	3970 kg/m ³
Panas spesifik	0.765 kJ/kg.K
Konduktivitas termal	36 W/m.K

2.6 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah beberapa penelitian terdahulu yang menjadi referensi tugas akhir ini sebagai berikut ;

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti	Variabel Penelitian	Hasil
1	Dr Muna Sabah Kassim, Syahmaa Fahad Lahij (2019)	Analisis pengaruh nano partikel SiO_2 pada performa 2 pipa <i>heat exchanger</i> yang terdiri dari dua tabung. Tabung pertama terbuat tembaga dan tabung kedua terbuat dari PVC	Hasil menunjukkan bahwa laju perpindahan panas meningkat seiring dengan <i>bilangan Reynolds</i> dan konsentrasi volume nanofluida. Kenaikan <i>bilangan Nusselt</i> , faktor gesekan dan faktor kinerja sebesar 11-15% untuk konsentrasi volume maksimum dan sebesar 3% untuk laju aliran fluida.
2	Nidal H. Abu-Hamdeh, Khalid H. Almitani (2016)	Analisa variasi fraksi volume pada nanofluida Al_2O_3 - water, Fe_3O_4 -water dan ZnO - water pada sistem pendingin evaporatif pengering regenerasi surya	Peningkatan koefisien perpindahan panas konvektif 7,20% menjadi 14,40% (Al_2O_3), 6,20% menjadi 12,30% (Fe_3O_4) dan 5,50% menjadi 9,01% (ZnO) dan peningkatan efektivitas energi sebesar 27,50% menjadi 50,10% (ZnO), 25,01%

			menjadi 40,10% (Fe ₃ O ₄) dan 24% menjadi 32,02% (Al ₂ O ₃)
3	Reinaldy Nazar (2016)	Analisis numerik menggunakan program komputer CFD terhadap karakteristik perpindahan panas konveksi alamiah aliran nanofluida Al ₂ O ₃ - air dengan fraksi volume 2% dalam pipa anulus vertikal	Hasil menunjukkan peningkatan kinerja perpindahan panas (<i>bilangan Nusselt</i>) sebesar 20,5% - 35%. Pada konveksi alamiah dengan bilangan $2,471e^{09} \leq Ra \leq 1,955e^{13}$ diperoleh korelasi empirik untuk air $Nu = 1,065 (Ra \frac{D_u}{x})^{0,179}$ dan korelasi empirik untuk nanofluida Al ₂ O ₃ -air $Nu = 14,869 (Ra \frac{D_u}{x})^{0,115}$
4	Muhammad Saeed, Man-Hoe Kim (2017)	Analisis karakteristik peningkatan perpindahan panas pada saluran mini <i>heat sink</i> dengan menggunakan nanofluida Al ₂ O ₃ - H ₂ O	Hasil dari penelitian ini adalah panas konvektif koefisien transfer meningkat secara signifikan dengan menggunakan nanofluida dibandingkan dengan air suling.
5	Aryati Muhayamin Marali, Slamet	Analisa perpindahan panas dan penurunan	Hasil penelitian menunjukkan koefisien

	Wahyudi, Nurkholis Hamidi (2018)	<i>pressure drop</i> pada proses pendinginan menggunakan nanofluida Al_2O_3 dengan metode simulasi	perpindahan panas rata-rata meningkat sebesar 21% dengan 0,2% dan 0,3% konsentrasi volume dibandingkan fluida dasar dan penurunan tekanan meningkat sebesar 22,86% dengan 0,2 dan 0,3% konsentrasi volume
6	Diaz Rizky Agista (2018)	pengaruh temperatur dan fraksi volume terhadap laju perpindahan dan efektivitas <i>shell and tube HE</i> . Menggunakan bahan Al_2O_3 dengan fraksi volume 1%, 3%, 5% pada fluida dingin serta perbedaan temperatur 70°C, 80°C, dan 90°C pada fluida panas.	Hasil penelitian ini diperoleh efektivitas tertinggi pada keadaan temperatur 90°C serta campuran fraksi volume nanofluida sebesar 5% yaitu 46% dengan laju perpindahan panas yang terjadi sebesar 9658,489126 watt. Sedangkan efektivitas terendah pada keadaan temperatur 70°C tanpa campuran fraksi volume nanofluida yaitu sebesar 11,75% dengan laju perpindahan sebesar 5511,669826 watt. Sehingga disimpulkan semakin tinggi temperatur dan fraksi

			volume nanofluida, maka akan meningkatkan laju perpindahan panas konveksi serta efektivitas.
7	Jin Tae Choi (2011)	Karakteristik aliran termal dan fluida dari blok air bersaluran mikro dengan variasi lintasan. Analisis numerik dan eksperimen dilakukan dibawah daya input 150W, suhu masuk 35 dan laju aliran massa 0,7-2,0 kg/menit.	Hasil numerik menunjukkan kesesuaian yang cukup baik, dalam 3-5 %, dengan hasil eksperimen. Juga hasil numerik menunjukkan bahwa 2-pass sampel memberikan kinerja yang lebih baik dari pada sampel 1-pass dalam hal perpindahan panas.