

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Penukar panas (*heat exchanger*) merupakan perangkat yang secara luas dimanfaatkan di berbagai sektor industri, seperti pangan, minyak dan gas, serta pembangkit listrik, dengan fungsi utama untuk proses pendinginan, pemanasan, kondensasi, dan penguapan [1]. *Heat exchanger* berperan dalam memindahkan energi panas antara dua atau lebih aliran fluida yang memiliki perbedaan suhu, di mana proses perpindahan panas tersebut dapat terjadi baik melalui kontak langsung maupun melalui pemisah fisik tanpa adanya pencampuran fluida [2].

Dalam penerapannya, berbagai jenis atau tipe *heat exchanger* banyak diaplikasikan di industri, masing-masing dipilih berdasarkan karakteristik dan kebutuhan proses termal yang berbeda. Salah satu tipe yang paling umum dijumpai dan banyak diaplikasikan dibandingkan dengan jenis lainnya adalah *shell and tube heat exchanger* [3]. *Shell and tube heat exchanger* termasuk dalam jenis penukar panas dengan mekanisme kontak tidak langsung, di mana perpindahan panas berlangsung melalui dinding pipa sebagai pemisah sehingga kedua fluida tidak saling bercampur [4]. Fluida panas dan dingin mengalir terpisah pada sisi *shell* dan *tube*, sehingga perpindahan panas berlangsung melalui konduksi dan konveksi. Sisi *shell* memiliki karakteristik perpindahan panas yang lebih kompleks karena dipengaruhi pola aliran, jenis *baffle*, dan kondisi fluida [5]. Kinerja alat ini terutama ditentukan oleh efektivitas dan koefisien perpindahan panas keseluruhan.

Salah satu metode yang dapat diterapkan untuk meningkatkan kinerja *shell and tube heat exchanger* dengan menggunakan *baffle*. *Baffle* digunakan untuk menopang pipa, meningkatkan turbulensi aliran, memperbaiki perpindahan panas serta mengatur distribusi kecepatan aliran pada sisi *shell* [6]. Variasi desain dan parameter geometris *baffle*, seperti bentuk, sudut potongan, jarak antar *baffle* (*spacing*), dan jenis segmentasi, sangat mempengaruhi pola aliran dan distribusi temperatur di dalam penukar panas. Di antara berbagai jenis *baffle*, *baffle* segmental

merupakan tipe yang paling banyak digunakan karena sederhana dan efektif meningkatkan perpindahan panas.

Penelitian sebelumnya, menunjukkan bahwa variasi bentuk dan jarak *baffle* memberikan pengaruh signifikan terhadap kinerja *Shell and tube heat exchanger* dengan simulasi CFD. Studi mengenai variasi jenis *baffle* dan *baffle spacing* menunjukkan bahwa *single segmental baffle* mampu menghasilkan koefisien perpindahan panas maksimum sebesar  $301 \text{ W/m}^2\text{K}$  dan efektivitas sebesar 0,5 pada laju massa rendah, sedangkan variasi *baffle spacing* 5 cm menghasilkan koefisien perpindahan panas tertinggi sebesar  $651 \text{ W/m}^2\text{K}$  pada laju massa  $0,166 \text{ kg/s}$  [5]. Penelitian lain mengenai *double segmental baffle* menunjukkan bahwa sudut *baffle*  $0^\circ$  menghasilkan koefisien perpindahan panas tertinggi sekitar  $4218 - 4229 \text{ W/m}^2\text{C}$  dan peningkatan efektivitas sebesar  $1,84\% - 1,88\%$  pada laju aliran fluida  $6 \text{ kg/s}$  [7].

Selain itu, mayoritas penelitian terdahulu mengenai *shell and tube heat exchanger* masih berfokus pada optimasi geometri *baffle* semata (jenis, *baffle cut*, spacing, sudut) dengan menggunakan fluida kerja konvensional seperti air [1], [5], [7], [8], sehingga terdapat *research gap* pada aspek kombinasi antara variasi konfigurasi *baffle* dan variasi jenis fluida pendingin non-konvensional secara simultan. Hal ini juga bergantung dalam pemilihan fluida pendingin, yang mana ini aspek penting dalam perpindahan panas, di mana selain air, industri juga banyak menggunakan campuran air-*ethylene glycol* (EG) dan *hybrid nanofluids* ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ ) sebagai alternatif fluida pendingin.

*Ethylene glycol* (EG) memiliki karakteristik titik didih lebih tinggi dan titik beku lebih rendah dibanding air, sehingga sering digunakan sebagai *coolant* dalam aplikasi industri karena kemampuannya memberikan margin keamanan suhu operasi yang lebih luas [9]. Namun, viskositasnya yang lebih tinggi dan konduktivitas termal yang lebih rendah dibanding air berpotensi memengaruhi pola aliran, *pressure drop*, dan distribusi temperatur pada *shell and tube heat exchanger*. Oleh karena itu, analisis komparatif antara air dan air-EG terhadap kinerja pendinginan masih diperlukan.

Selain campuran air–ethylene glycol, penelitian mengenai penggunaan fluida pendingin alternatif lainnya pada *shell and tube heat exchanger* juga telah banyak dilakukan. Studi mengenai penggunaan nanofluida tunggal seperti  $\text{Al}_2\text{O}_3$ –air pada *shell and tube heat exchanger* melaporkan peningkatan koefisien perpindahan panas menyeluruh hingga 15–20% dibandingkan air murni pada fraksi volume 1–2%, namun disertai peningkatan pressure drop akibat kenaikan viskositas [10]. Studi eksperimen lainnya tentang  $\text{TiO}_2$ –water nanofluid di *heat exchanger* pipa ganda aliran berlawanan arah, membuktikan bahwa penggunaan nanofluida  $\text{TiO}_2$ –air dengan fraksi volume yang sangat rendah (0,2%) mampu meningkatkan koefisien perpindahan panas konveksi sebesar 6–11% dengan *pressure drop* yang sangat kecil, sehingga karakteristik aliran gesekannya hampir sama dengan fluida dasar air [11]. Penelitian lainnya juga menggunakan nanofluida CuO dan  $\text{TiO}_2$  sebagai fluida pendingin pada sisi *tube* juga menunjukkan peningkatan laju perpindahan panas seiring peningkatan konsentrasi nanopartikel, meskipun peningkatan tersebut mulai melandai pada fraksi volume di atas 2% akibat efek aglomerasi partikel [12]. Selain nanofluida berbasis oksida logam, penelitian pada sistem pendingin lain seperti *cooling plate* dan *heat pipe* turut memperkuat temuan bahwa performa fluida pendingin non-konvensional sangat dipengaruhi oleh kombinasi jenis nanopartikel dan fluida dasarnya, [13]. Lebih lanjut, *hybrid nanofluids* yang menggabungkan dua jenis nanopartikel berbeda memiliki potensi lebih besar dalam meningkatkan efisiensi termal dibandingkan nanofluida tunggal. Salah satu kombinasi *hybrid nanofluid* yang akan diteliti juga adalah  $\text{Al}_2\text{O}_3$ – $\text{SiO}_2$ .

Pada penelitian sebelumnya, kombinasi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{SiO}_2$  pada rasio tertentu dalam fluida dasar air–EG pengujian berupa *heat pipe* menunjukkan peningkatan signifikan pada koefisien perpindahan panas dan pengurangan resistansi termal pada perangkat perpindahan panas dibandingkan base *fluid* murni [10]. Hasil ini menunjukkan bahwa *hybrid nanofluid*  $\text{Al}_2\text{O}_3$ – $\text{SiO}_2$  memiliki potensi sebagai fluida kerja yang lebih efisien untuk aplikasi perpindahan panas.

Selain itu, penelitian sebelumnya untuk karakteristik *hybrid nanofluid*  $\text{Al}_2\text{O}_3$ – $\text{SiO}_2$  juga telah dilakukan pada sistem pendingin lain seperti *cooling plate* pada sel bahan bakar membran elektrolit polimer, di mana variasi perbandingan nanopartikel memengaruhi koefisien perpindahan panas serta *pressure drop* saat

terjadi aliran fluida [13]. Meskipun *hybrid nanofluid*  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$  telah diteliti dari segi sifat termofisika dan penerapannya di beberapa sistem perpindahan panas, aplikasi *hybrid nanofluid* pada konfigurasi *shell and tube heat exchanger* masih sangat terbatas dalam literatur.

Untuk menganalisis fenomena tersebut diperlukan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD). CFD yang memungkinkan analisis pola aliran dan distribusi temperatur secara lebih rinci dengan visualisasi dan prediksi yang akurat, sekaligus mengurangi kebutuhan eksperimen yang mahal dan mempersingkat waktu desain [8]. Oleh karena itu, CFD menjadi metode yang tepat untuk menganalisis fenomena perpindahan panas pada sistem *heat exchanger* secara komprehensif.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis distribusi temperatur pada *shell and tube heat exchanger* dengan membandingkan kinerja dua jenis *baffle*, yaitu *single segmental* dan *double segmental*, serta mengevaluasi pengaruh jenis fluida pendingin, yaitu air, campuran *air–ethylene glycol* (EG), dan  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$  dengan menggunakan simulasi numerik berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan permasalahan pada penelitian ini, yaitu

- Bagaimana pengaruh konfigurasi *baffle* (*single segmental* dan *double segmental*) terhadap distribusi temperatur dan kinerja perpindahan panas pada *shell and tube heat exchanger* berdasarkan simulasi CFD?
- Bagaimana pengaruh jenis fluida pendingin (air, campuran *air–ethylene glycol*, dan *hybrid nanofluid*  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$ ) terhadap kinerja termal dan *pressure drop* pada *shell and tube heat exchanger*?
- Kombinasi konfigurasi *baffle* dan fluida pendingin manakah yang memberikan *trade off* terbaik antara peningkatan perpindahan panas dan penurunan *pressure drop*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

- a. Menganalisis pengaruh konfigurasi *single segmental* dan *double segmental baffle* terhadap distribusi temperatur dan parameter kinerja ( $Q, LMTD, U, \epsilon$ ) menggunakan simulasi CFD.
- b. Mengevaluasi pengaruh variasi fluida pendingin (air, air-*ethylene glycol*, dan *hybrid nanofluid*  $Al_2O_3-SiO_2$ ) terhadap kinerja perpindahan panas dan *pressure drop* pada sisi *tube* dan *shell*.
- c. Membandingkan seluruh variasi untuk menentukan konfigurasi yang paling efektif berdasarkan pertimbangan performa termal dan kebutuhan energi pemompaan (*pressure drop*).

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini meliputi:

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi berupa gambaran kuantitatif mengenai pengaruh konfigurasi *segmental baffle* dan variasi fluida pendingin terhadap distribusi temperatur, laju perpindahan panas ( $Q$ ), koefisien perpindahan panas menyeluruh ( $U$ ), efektivitas ( $\epsilon$ ), serta *pressure drop* ( $\Delta P$ ) pada *shell and tube heat exchanger* berdasarkan simulasi CFD. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi dalam pemilihan konfigurasi *baffle* dan jenis fluida pendingin yang sesuai, serta sebagai dasar pertimbangan optimasi kinerja termal dan kebutuhan energi pemompaan pada aplikasi industri.

#### 1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini membatasi permasalahan pada hal-hal sebagai berikut:

- a. Analisis dilakukan secara numerik menggunakan *ANSYS Fluent* dengan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD).
- b. Geometri yang digunakan adalah *shell and tube heat exchanger* dengan dua konfigurasi *baffle*, yaitu *single segmental baffle* dan *double segmental baffle*.
- c. Fluida panas adalah *fuel oil liquid* pada sisi *shell* dengan temperatur *inlet* konstan  $110^\circ C$  dan laju aliran massa  $0,1 \text{ kg/s}$ .

- d. Fluida dingin pada sisi *tube* meliputi air, campuran air–*ethylene glycol*, dan *hybrid nanofluid*  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$ , dengan temperatur *inlet* konstan  $20^\circ\text{C}$  dan laju aliran massa  $0,1 \text{ kg/s}$ .
- e. Simulasi dilakukan pada kondisi *steady state*, aliran satu fasa, dan evaluasi difokuskan pada distribusi temperatur,  $Q$ ,  $\Delta P_{\text{tube}}$ ,  $\Delta P_{\text{shell}}$ ,  $\text{LMTD}$ ,  $U$ , dan efektivitas ( $\epsilon$ ).
- f. Pengaruh fouling, korosi, serta aspek ekonomi dan manufaktur tidak dianalisis.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri atas lima bab. BAB I memuat pendahuluan yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, dan sistematika penulisan. BAB II berisi tinjauan pustaka yang mencakup landasan teori dan penelitian terdahulu yang relevan. BAB III menjelaskan metodologi penelitian, termasuk pemodelan, *meshing*, penetapan kondisi batas, serta parameter simulasi CFD pada *shell and tube heat exchanger*. BAB IV menyajikan hasil simulasi dan pembahasan. BAB V memuat kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

