

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penukar kalor (*heat exchanger*) adalah perangkat yang berfungsi untuk menyalurkan energi panas atau kalor dari fluida panas (temperatur lebih tinggi) ke fluida yang lebih dingin (temperatur lebih rendah). *Heat exchanger* digunakan luas dalam berbagai macam sektor industri seperti industri kimia, perminyakan (*petroleum*), pembangkit listrik, industri makanan, dan berbagai macam industri lainnya. Fungsi utama dari *heat exchanger* adalah sebagai perangkat pendingin, pemanas, dan pemulihan panas (*heat recovery*) (Zhang, 2025). *Heat exchanger* juga berfungsi untuk mengubah fasa suatu jenis fluida. Proses tersebut dapat terjadi karena terjadi perpindahan kalor dari fluida dengan temperatur lebih tinggi menuju fluida dengan temperatur lebih rendah (Septian *et al.*, 2021). Terdapat dinding pemisah antara kedua fluida pada *heat exchanger* yang mencegah kedua fluida bercampur, dinding tersebut merupakan permukaan perpindahan panas (*heat transfer surface*) pada *heat exchanger*. Perpindahan panas yang terjadi melibatkan konveksi pada kedua fluida dan konduksi pada dinding pemisah. Besarnya nilai laju perpindahan kalor ($\dot{Q}$) tergantung pada besarnya perbedaan temperatur (ΔT) pada lokasi tersebut, nilainya dapat bervariasi sepanjang alat penukar kalor (Cengel dan Ghajar, 2015).

Contoh umum dari *heat exchanger* yang biasa digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah radiator kendaraan, kondensor, evaporator, *air-preheater*, menara pendingin (*cooling tower*), dan pendingin oli (*oil cooler*). Pengklasifikasikan *heat exchanger* menurut berbagai macam aspek seperti berdasarkan proses perpindahan panasnya (*transfer process*), berdasarkan jumlah fluida yang bekerja pada sistem (*number of fluids*), berdasarkan kekompakan permukaannya (*surface compactness*), berdasarkan konstruksinya (*construction*), berdasarkan pengaturan aliran fluida dalam sistem (*flow arrangements*), dan berdasarkan mekanisme perpindahan panasnya (*heat transfer mechanisms*). *Heat exchanger* umumnya terdiri dari elemen penyalur energi panas seperti inti (matriks) yang berfungsi sebagai *heat transfer surface* dan komponen pendistribusian fluida seperti *header*, *manifold*, tangki, *nozzle*, pipa saluran fluida masuk dan keluar, serta perapat (*seal*). Biasanya tidak ada komponen yang bergerak pada *heat exchanger*, namun terdapat beberapa pengecualian seperti *scraped surface heat exchanger* dan *rotary regenerative exchanger*. Biasanya komponen yang bergerak diputar dalam kecepatan desain tertentu (sudah ditentukan), seperti pada matriks yang ada pada *rotary regenerative exchanger*. (Thulukkanam, 2013; (Shah dan Sekulic, 2003).

Salah satu jenis alat penukar kalor yang banyak digunakan oleh berbagai industri adalah *shell and tube heat exchanger* (STHE) (Shanahan dan Chalim, 2020 ; Zolfalizadeh *et al.*, 2023). Penukar kalor *shell and tube* digunakan dalam jumlah yang sangat besar, jauh lebih banyak dibandingkan jenis penukar panas lainnya dalam dunia industri. Lebih dari 90% penukar kalor di dunia industri adalah tipe *shell and tube*. STHE (*shell and tube heat exchangers*) merupakan "tulang punggung" perpindahan panas pada proses industri (Thulukkanam, 2013). *Shell and tube heat exchanger* berdasarkan konstruksinya termasuk kedalam jenis *Tubular Exchanger*. Jenis ini memiliki kelebihan yaitu fleksibilitas yang tinggi karena geometri inti dapat divariasikan seperti diameter *tube*, panjang, dan pengaturan alirannya. *Tubular exchanger* juga dapat dirancang untuk bekerja di perbedaan tekanan yang tinggi baik relatif terhadap lingkungan maupun perbedaan tekanan antar fluida. Jenis ini juga dapat digunakan untuk berbagai macam kondisi pertukaran kalor, baik dari fasa cair-ke-cair maupun pertukaran kalor perubahan fasa fluida (penguapan atau kondensasi) (Shah dan Sekulic, 2003).

Shell and tube heat exchanger umumnya terdiri dari sekumpulan pipa kecil atau biasa disebut tabung (*tube*) yang dipasang dalam cangkang silindris (*shell*) dengan sumbu sejajar antara keduanya. Komponen utama dari STHE adalah sekumpulan *tube*, cangkang (*shell*), kepala bagian depan (*front-end head*), kepala bagian belakang (*rear-end head*), *baffle*, dan pelat dudukan tabung (*tubesheet*). Fluida kerja pada STHE mengalir pada sisi bagian dalam *tube* dan fluida lainnya mengalir pada bagian luar *tube* (sisi dalam *shell*), fungsi *tube* pada STHE berfungsi sebagai dinding pemisah antar kedua fluida agar tidak bercampur sekaligus sebagai *heat transfer surface* yang memungkinkan terjadinya pertukaran kalor secara konduksi (Shah dan Sekulic, 2003).

Berbagai upaya telah dilakukan selama beberapa dekade untuk meningkatkan kemampuan perpindahan panas, mengurangi waktu perpindahan panas, mengurangi ukuran, dan meningkatkan efisiensi *heat exchanger*. Metode pasif dan aktif seperti menambah luas, menggunakan fluida yang bervariasi, dan menciptakan kondisi turbulensi (Zolfalizadeh *et al.*, 2023). Upaya lainnya adalah dengan meningkatkan karakteristik termofisika seperti viskositas dan konduktivitas termal, seperti dengan cara memasukkan nanopartikel kedalam fluida perpindahan panas (Ajeeb *et al.*, 2023). Konduktivitas termal yang rendah merupakan batasan utama dalam pengembangan efisiensi energi fluida perpindahan panas. Hal ini dapat direayasa dengan mensuspensikan nanopartikel kedalam fluida perpindahan panas yang akhirnya disebut “nanofluida” (*nanofluid*) yang memiliki konduktivitas termal lebih tinggi daripada fluida perpindahan panas yang biasa digunakan (Choi dan Eastman, 1995).

Berdasarkan latar belakang yang telah dituliskan, penelitian ini bertujuan untuk meneliti pengaruh penggunaan berbagai jenis nanofluida (Al_2O_3 , TiO_2 , dan CuO) dengan konsentrasi volume fraksi nanopartikel terhadap fluida dasar konstan pada 1% dan pengaturan variasi laju aliran nanofluida 10, 12, dan 14 liter/min terhadap efektivitas perpindahan panas (ϵ), koefisien perpindahan panas keseluruhan (U), dan *pressure drop* (ΔP) pada alat penukar kalor *shell and tube* tipe *floating head*. Penelitian tentang penukar kalor tipe *floating head* masih jarang ditemui terutama penelitian eksperimental yang menggunakan nanofluida. Variasi tingkatan laju aliran nanofluida diharapkan akan menciptakan kondisi turbulensi dan meningkatkan laju massa alir ($\dot{m}$) pada sisi *shell* hingga dapat meningkatkan laju perpindahan panas. Nanofluida berperan sebagai fluida pendingin dan air murni digunakan sebagai fluida panas. Temperatur *inlet* pada sisi *shell* diatur konstan pada 20°C dan temperatur *inlet* 40°C pada sisi *tube*. Laju aliran fluida panas diatur konstan pada 10 liter/min.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut adalah rumusan masalah yang diteliti.

1. Bagaimana pengaruh variasi nanofluida Al_2O_3 , CuO , dan TiO_2 dengan konsentrasi 1% dan kombinasi variasi laju aliran 10 liter/min, 12 liter/min, dan 14 liter/min terhadap efektivitas perpindahan panas (ϵ) pada *shell and tube heat exchanger* tipe *floating head*.
2. Bagaimana pengaruh variasi nanofluida Al_2O_3 , CuO , dan TiO_2 dengan konsentrasi 1% dan kombinasi variasi laju aliran 10 liter/min, 12 liter/min, dan 14 liter/min terhadap koefisien perpindahan panas keseluruhan (U) pada *shell and tube heat exchanger* tipe *floating head*.
3. Bagaimana pengaruh variasi nanofluida Al_2O_3 , CuO , dan TiO_2 dengan konsentrasi 1% dan kombinasi variasi laju aliran 10 liter/min, 12 liter/min, dan 14 liter/min terhadap *pressure drop* (ΔP) pada *shell and tube heat exchanger* tipe *floating head*.

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut adalah tujuan dari penelitian yang dilakukan.

1. Meneliti pengaruh variasi nanofluida Al_2O_3 , CuO , dan TiO_2 dengan konsentrasi 1% dan kombinasi variasi laju aliran 10 liter/min, 12 liter/min, dan 14 liter/min terhadap efektivitas perpindahan panas (ϵ) pada *shell and tube heat exchanger* tipe *floating head*.
2. Meneliti pengaruh variasi nanofluida Al_2O_3 , CuO , dan TiO_2 dengan konsentrasi 1% dan kombinasi variasi laju aliran 10 liter/min, 12 liter/min, dan 14 liter/min terhadap koefisien perpindahan panas keseluruhan (U) pada *shell and tube heat exchanger* tipe *floating head*.

3. Meneliti pengaruh variasi nanofluida Al_2O_3 , CuO , dan TiO_2 dengan konsentrasi 1% dan kombinasi variasi laju aliran 10 liter/min, 12 liter/min, dan 14 liter/min terhadap *pressure drop* (ΔP) pada *shell and tube heat exchanger* tipe *floating head*.

1.4 Batasan Penelitian

Berikut adalah batasan dalam penelitian yang dilakukan.

1. Asumsi kerugian panas yang keluar sistem dari sisi *shell* diabaikan.
2. Pembahasan mengenai komponen lain pada instalasi sistem tidak dibahas. Pembahasan hanya berfokus pada eksperimental penggunaan nanofluida pada *heat exchanger*.
3. Pembahasan tentang desain dan pemilihan material alat penukar kalor tidak dibahas.
4. *Fouling factor* diabaikan karena alat yang digunakan merupakan alat baru dan dilakukan pembersihan setiap setelah selesai melakukan uji coba.
5. Pembahasan tentang jenis pengaturan aliran lain tidak dibahas, ditetapkan menggunakan *counter flow*, *one pass shell-two pass tube*.

1.5 Manfaat Penelitian

Berikut adalah manfaat yang mungkin dapat diberikan dari kegiatan penelitian yang dilakukan.

1. Memberikan referensi eksperimental bagi penelitian tentang penggunaan variasi nanofluida dan laju aliran fluida untuk meningkatkan efektivitas perpindahan panas pada *shell and tube heat exchanger*; terutama pada tipe *floating head*.
2. Memungkinkan menjadi pertimbangan bagi industri dalam hal penggunaan fluida pengganti untuk meningkatkan kemampuan perpindahan panas penukar kalor untuk *shell and tube heat exchanger* tipe *floating head*.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan adalah penjelasan ringkas tentang isi dari setiap bab pada penelitian ini. Terdapat lima bab pembahasan dalam keseluruhan penelitian ini. Keseluruhan penelitian tentang “Analisis Penggunaan Variasi Jenis Nanofluida dan Laju Aliran Terhadap Efektivitas Perpindahan Panas pada *Heat exchanger Shell and Tube Tipe Floating Head*” dituliskan dalam kelima bab penulisan. Sistematika penulisan dapat mempermudah pembaca dalam memahami isi penelitian ini. Berikut ini adalah isi dari sistematika penulisan.

Bab pertama membahas tentang pendahuluan penelitian. Identifikasi permasalahan yang melatarbelakangi penelitian ini dituliskan untuk kemudian dicari celah penelitian yang belum diteliti, kebaruan penelitian dituliskan di akhir latar belakang. Rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan batasan penelitian dituliskan juga pada pendahuluan di bab pertama ini.

Bab kedua membahas tentang tinjauan pustaka. Tinjauan pustaka secara umum berisi tentang berbagai informasi seperti teori yang digunakan sebagai referensi penelitian serta bidang keilmuan (mata kuliah) yang telah dipelajari dan menjadi landasan pengetahuan dalam melakukan penelitian ini. Bab kedua juga memuat berbagai informasi tentang beberapa penelitian terdahulu yang telah dilakukan peneliti lainnya, hal ini berfungsi sebagai referensi utama dalam penelitian ini dan beberapa celah dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya akan menjadi kebaruan penelitian.

Bab ketiga membahas tentang metode penelitian. Pembahasan pada bab ketiga berisi pembahasan rencana penelitian yang dilakukan. Pembahasan yang ditulis pada bab ketiga adalah tentang langkah-langkah, berbagai macam persiapan, dan rencana tentang pengambilan hingga pengolahan data yang harus dipersiapkan sebelum melakukan penelitian. Gambar tentang alat penukar kalor *floating head* yang akan digunakan dalam penelitian serta rancangan instalasi secara keseluruhan juga dicantumkan di bab ketiga, gambar menjadi sarana komunikasi tentang bentuk alat penukar kalor dan rangkaian instalasi sistem keseluruhan.

Bab keempat membahas tentang hasil dan pembahasan. Data hasil percobaan yang telah dilakukan akan dihitung lalu diolah pada pembahasan bab keempat. Data-data hasil perhitungan akan menghasilkan sebuah pembahasan mengenai pengaruh variasi nanofluida dan laju aliran terhadap efektivitas perpindahan panas (ϵ), koefisien perpindahan panas keseluruhan (U), dan *pressure drop* (ΔP) pada *floating head heat exchanger*. Kumpulan data yang telah diolah kemudian ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah dalam membaca hasil penelitian. Data hasil penelitian kemudian diuji signifikansi untuk menguji pengaruh antara variabel bebas terhadap variabel terikat atau respon penelitian.

Bab kelima berisi tentang kesimpulan dan saran. Pembahasan mengenai kesimpulan dari keseluruhan proses penelitian akan dituliskan pada bab kelima. Kesimpulan yang dituliskan akan menjawab rumusan masalah dan tujuan penelitian. Sedangkan saran yang ditulis merupakan keterbatasan dan kekurangan dari penelitian ini, diharapkan keterbatasan dan kekurangan dari penelitian ini akan disempurnakan pada penelitian selanjutnya.