

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permintaan terhadap efisiensi energi dalam proses industri semakin meningkat seiring dengan perkembangan teknologi dan tuntutan keberlanjutan. Salah satu komponen penting dalam sistem termal industri adalah alat penukar kalor atau *heat exchanger*, yaitu alat yang berfungsi memindahkan panas antara dua fluida dengan perbedaan suhu tanpa terjadi pencampuran langsung (Çengel and Ghajar, 2011). Terdapat beberapa jenis *heat exchanger*, di antaranya *shell and tube*, *plate heat exchanger*, *air-cooled heat exchanger*, dan *double-pipe heat exchanger*, diantara berbagai jenis *heat exchanger*, tipe *shell and tube* menjadi pilihan utama karena kemampuannya menangani tekanan dan temperatur tinggi, kemudahan dalam pemeliharaan, serta fleksibilitas dalam konfigurasi desain.

Untuk meningkatkan kinerja *heat exchanger*, penggunaan nanofluida sebagai fluida kerja alternatif telah menjadi topik penting dalam penelitian termal. Nanofluida merupakan suspensi dari partikel nano (nanopartikel) dalam fluida dasar. Nanopartikel adalah padatan dengan ukuran antara 1 hingga 100 nanometer, nanofluida umumnya disintesis dengan cara mensuspensikan nanopartikel seperti SiN, Al₂O₃, CuO, SiC, atau TiO₂ ke dalam fluida dasar seperti air, minyak, etilen glikol, atau larutan polimer (Witharana, 2003).

Penelitian oleh Perumal *et al.*, (2022), menunjukkan bahwa nanofluida TiO₂ memiliki kinerja terbaik dalam meningkatkan konduktivitas termal, koefisien perpindahan panas, dan laju perpindahan panas dibandingkan nanopartikel lainnya. Hal ini diperkuat oleh Soegijarto and Arsana, (2021), bahwa penambahan nanopartikel titanium dioksida (TiO₂) dalam fluida kerja dapat secara signifikan meningkatkan konduktivitas termal, sehingga memungkinkan *heat exchanger* mentransfer panas dengan lebih efisien. Konduktivitas termal sendiri adalah kemampuan suatu material untuk menghantarkan panas, semakin tinggi nilainya semakin cepat panas berpindah dari satu bagian ke bagian lain. Dengan ukuran partikel yang sangat kecil dan luas permukaan besar, nanopartikel TiO₂ mampu meningkatkan interaksi dengan molekul cairan sehingga transfer energi panas menjadi lebih baik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efektivitas perpindahan panas *heat exchanger* dapat meningkat hingga 50% pada konsentrasi 3% volume TiO₂, yang menegaskan peran penting nanofluida ini dalam berbagai aplikasi industri, seperti sistem pendinginan dan pemanasan. Peningkatan efektivitas tersebut memungkinkan sistem beroperasi lebih optimal, mengurangi biaya energi, serta mendukung desain *heat exchanger* yang lebih ringkas tanpa menurunkan performa.

Selain jenis dan konsentrasi nanofluida, laju aliran fluida juga merupakan parameter penting yang berpengaruh terhadap perpindahan panas dalam sistem *heat exchanger*. Laju aliran menentukan tingkat turbulensi dan waktu tinggal fluida dalam sistem, yang akan berdampak langsung pada nilai koefisien perpindahan panas dan tekanan yang hilang (*pressure drop*). Hal ini diperkuat oleh penelitian Das, Razzaq and Ahamed, (2019), dimana dalam penelitian menggunakan propilen glikol 60% dan air 40% serta dengan penambahan nanofluida TiO_2 yang divariasikan sebesar 0,1%, 0,2% dan 0,3% dan laju aliran di variasikan pada 6, 8, 10, dan 12 liter/menit, sedangkan laju aliran air panas dijaga tetap pada 12 liter/menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi volume nanopartikel dan laju aliran fluida dingin dapat meningkatkan laju perpindahan panas, koefisien perpindahan panas menyeluruh, dan koefisien perpindahan panas konvektif.

Meskipun penelitian mengenai penggunaan nanofluida sebagai media kerja pada *heat exchanger* telah banyak dilakukan, sebagian besar masih menggunakan variasi konsentrasi nanopartikel yang relatif lebih rendah dan lebih berfokus pada peningkatan laju perpindahan panas atau koefisien perpindahan panas saja. Pembahasan eksperimental yang secara spesifik menganalisis pangaruh variasi konsentrasi nanofluida TiO_2 terhadap efektivitas perpindahan panas, koefisien perpindahan panas keseluruhan dan *pressure drop* secara bersamaan pada sistem *heat exchanger shell and tube* masih terbatas. Selain itu, pengaruh interaksi antara variasi konsentrasi nanofluida dan laju aliran fluida terhadap performa sistem juga belum banyak dibahas secara mendalam.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi secara eksperimental pengaruh variasi konsentrasi nanofluida TiO_2 dan laju aliran fluida terhadap kinerja perpindahan panas pada sistem *shell and tube heat exchanger*. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi sejauh mana kombinasi antara konsentrasi dan laju aliran memengaruhi performa termal sistem, serta mengkaji interaksi di antara kedua parameter tersebut. Melalui pendekatan ini, diharapkan diperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang karakteristik perpindahan panas pada nanofluida TiO_2 , sekaligus memberikan kontribusi ilmiah terhadap optimalisasi desain *heat exchanger* berbasis nanofluida yang lebih efisien, stabil, dan aplikatif.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, berikut adalah rumusan masalah dari penelitian ini:

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi nanofluida TiO_2 dan laju aliran terhadap efektivitas perpindahan panas (*heat transfer effectiveness*, ϵ) pada *shell and tube heat exchanger*?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi nanofluida TiO_2 dan laju aliran terhadap koefisien perpindahan panas keseluruhan (*overall heat transfer coefficient*, U) pada *shell and tube heat exchanger*?
3. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi nanofluida TiO_2 dan laju aliran terhadap *pressure drop* (Δp) pada *heat exchanger shell and tube*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang telah dilakukan adalah:

1. Mengetahui dan menganalisis pengaruh kombinasi konsentrasi nanofluida TiO_2 dan laju aliran terhadap efektivitas perpindahan panas (*heat transfer effectiveness*, ϵ) pada *shell and tube heat exchanger*.
2. Mengetahui dan pengaruh kombinasi konsentrasi nanofluida TiO_2 dan laju aliran terhadap koefisien perpindahan panas keseluruhan (*overall heat transfer coefficient*, U) pada *shell and tube heat exchanger*.
3. Mengkaji interaksi antara kombinasi konsentrasi nanofluida TiO_2 dan laju aliran terhadap terhadap *pressure drop* (Δp) pada *heat exchanger shell and tube*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang telah dilakukan adalah:

1. Memberikan referensi eksperimental tambahan bagi penelitian yang membahas tentang variasi nanofluida TiO_2 dan laju aliran, khususnya dalam meningkatkan efektivitas perpindahan panas, terutama pada *heat exchanger shell and tube tipe fixed tube*.
2. Menjadi refrensi tambahan bagi industri dalam pemanfaatan nanofluida sebagai media pendingin yang lebih efektif untuk aplikasi pertukaran panas, terutama pada sistem *shell and tube*.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan masalah untuk mengendalikan hasil penelitian. Berikut adalah batasan masalah dalam penelitian ini:

1. Asumsi kerugian panas yang keluar pada sistem *heat exchanger* dari sisi *shell* diabaikan.
2. Pembahasan mengenai komponen lain pada instalasi tidak dibahas, pembahasan hanya berfokus pada eksperimental penggunaan nanofluida pada *heat exchanger*.

3. Pembahasan tentang desain dan pemilihan material *heat exchanger* tidak dibahas, pembahasan berfokus pada penelitian eksperimental yang dilakukan.
4. *Fouling factor* (f_r) diabaikan, dikarenakan alat baru dan setiap setelah percobaan dibersihkan secara menyeluruh pada sistem.
5. Pembahasan tentang jenis pengaturan aliran lain tidak dibahas, ditetapkan penggunaan *counter flow one pass shell one pass tube*.

1.6 Sistematika Penulisan

Penyusunan skripsi dilakukan secara sistematis dan dibagi dalam beberapa bab. Berikut adalah penjelasan singkat dari struktur setiap bab:

1. Bab pertama, berisi uraian mengenai latar belakang penggunaan nanofluid TiO_2 sebagai fluida kerja pada *shell and tube heat exchanger*, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.
2. Bab kedua, Tinjauan Pustaka, berisi uraian disiplin ilmu pendukung yang meliputi mekanika fluida, perpindahan panas, dan statistika, serta teori dasar mengenai *heat exchanger*, nanofluid, efektivitas perpindahan panas, koefisien perpindahan panas menyeluruh (U), dan penurunan tekanan (Δp). Bab ini juga memuat penelitian-penelitian terdahulu yang relevan serta kebaruan penelitian yang dilakukan.
3. Bab ketiga, Metode Perancangan, menjelaskan metode eksperimental yang diterapkan dalam penelitian ini, meliputi diagram alir penelitian, desain dan spesifikasi *heat exchanger* yang digunakan, prosedur preparasi nanofluid TiO_2 , variabel bebas yang diuji (laju aliran dan konsentrasi nanofluid), serta metode pengambilan dan pengolahan data.
4. Bab keempat Hasil dan Pembahasan, menyajikan data hasil pengukuran eksperimental terhadap efektivitas perpindahan panas, koefisien perpindahan panas keseluruhan, dan pressure drop pada berbagai kombinasi laju aliran (10, 12, dan 14 l/min) dan konsentrasi nanofluid TiO_2 (0%; 0,5%; 1,0%; dan 1,5%). Bab ini juga memuat hasil uji statistik ANOVA dua arah beserta analisis dan pembahasannya.
5. Bab kelima Penutup, berisikan Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya. Kesimpulan dirumuskan berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dipaparkan pada bab-bab sebelumnya.