

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam industri proses, terutama yang melibatkan fluida dengan kandungan partikulat tinggi atau zat kimia korosif, *heat exchanger* tipe *shell and tube* seringkali mengalami masalah *fouling* (Kumar & Kishore, 2017). Fenomena ini tidak hanya menurunkan efisiensi perpindahan panas namun juga meningkatkan konsumsi energi, frekuensi pembersihan, serta risiko korosi. Mengukur dan mengkarakterisasi *fouling* secara akurat merupakan tantangan tersendiri karena kompleksitas proses pembentukan *fouling* yang dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk sifat fisikokimia fluida, kondisi permukaan, dan parameter operasi (Berce et al., 2021). Variasi laju aliran fluida berperan sebagai *driving force* utama dalam dinamika fluida di dalam *heat exchanger shell and tube*, secara signifikan mempengaruhi profil kecepatan, pola aliran, dan kondisi batas fluida. Selain itu, suhu operasi juga memainkan peran krusial dalam proses *fouling*. Kombinasi antara laju aliran dan suhu operasi menciptakan kondisi lingkungan yang kompleks di dalam *heat exchanger*. Pemahaman mendalam mengenai korelasi antara laju aliran, suhu, dan distribusi ketebalan *fouling* akan memungkinkan optimasi desain permukaan perpindahan panas, pemilihan material, dan strategi pembersihan untuk meminimalkan dampak *fouling* terhadap efisiensi perpindahan panas.

Fouling pada permukaan perpindahan panas *heat exchanger* merupakan masalah krusial yang menyebabkan penurunan efisiensi dan peningkatan biaya operasional. Kecepatan aliran fluida dan suhu aliran adalah dua faktor signifikan yang mempengaruhi distribusi dan tingkat keparahan *fouling* (Buckner et al., 2016). Suhu aliran secara signifikan mempengaruhi sifat fisikokimia fluida, seperti viskositas, densitas, dan kelarutan, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi laju dan jenis *fouling* yang terbentuk. Kecepatan aliran juga berperan penting dalam menentukan pola distribusi *fouling*. Meskipun penelitian sebelumnya telah banyak dilakukan, pemahaman mengenai interaksi kompleks antara kedua variabel ini masih terbatas, terutama dalam kondisi operasi spesifik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara komprehensif pengaruh variasi kecepatan aliran dan suhu aliran terhadap distribusi *fouling* pada *heat exchanger* tipe *shell and tube* melalui studi numerik menggunakan perangkat lunak CFD. Dengan menginvestigasi bagaimana perubahan kecepatan aliran dan suhu aliran serta sifat fisikokimia fluida yang dipengaruhinya mempengaruhi pola pengendapan *fouling* pada

permukaan tabung, diharapkan dapat ditentukan kombinasi kecepatan aliran dan suhu aliran optimal yang mampu memaksimalkan efisiensi perpindahan panas sekaligus meminimalkan pembentukan *fouling*. Hasil penelitian ini memiliki potensi besar untuk diaplikasikan dalam optimasi desain dan operasi *heat exchanger*, sehingga dapat meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi biaya perawatan.

Menurut penelitian (Sannad et al., 2022) menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan medium berpori dari 0,1 mm menjadi 0,4 mm pada *Plate Heat Exchanger* (PHE) menyebabkan peningkatan kecepatan fluida di *outlet* sebesar 25% akibat pengurangan luas penampang aliran. Deposisi *fouling* meningkatkan resistensi termal hingga 30%, menurunkan koefisien perpindahan panas sebesar 20%, dan menyebabkan penurunan suhu fluida di *outlet* rata-rata sebesar 15°C pada *Reynolds Number* 10^6 . Profil Nusselt menurun hingga 35% akibat *fouling*, mengindikasikan penurunan efisiensi perpindahan panas. Energi kinetik turbulen menurun sebesar 20% di bagian tengah saluran akibat *fouling*. Simulasi *CFD* yang dikembangkan berhasil memprediksi dinamika fluida dan transfer panas dengan akurasi yang baik, dengan selisih rata-rata kurang dari 5% dibandingkan data eksperimen. Hasil penelitian ini menyoroti pentingnya memahami dampak *fouling* pada kinerja PHE untuk mengembangkan strategi mitigasi *fouling* yang lebih efektif, seperti optimasi desain PHE dan peningkatan frekuensi pembersihan, terutama pada industri pengolahan susu.

Pengaruh kecepatan aliran dan suhu fluida terhadap distribusi *fouling* pada *heat exchanger* tipe *shell and tube* merupakan area penelitian yang masih aktif. Pemahaman mengenai interaksi kompleks antara kecepatan dan suhu aliran terhadap distribusi *fouling* pada *heat exchanger* tipe *shell and tube* masih terbatas. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi kondisi operasi optimal yang dapat memaksimalkan efisiensi perpindahan panas dan meminimalkan pembentukan *fouling* dengan melakukan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak *CFD* pada *heat exchanger* yang digunakan di PT XYZ. Hipotesis penelitian ini adalah variasi kecepatan dan suhu aliran akan menghasilkan pola distribusi *fouling* yang berbeda akibat perubahan sifat fisikokimia fluida, gaya geser, dan pola aliran.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian skripsi ini dilaksanakan antara lain adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan aliran dan suhu fluida terhadap pola distribusi *fouling* pada permukaan luar dan dalam tabung *heat exchanger* tipe *shell and tube*?
2. Bagaimana interaksi antara kecepatan aliran dan suhu fluida dapat diatur untuk menekan laju pembentukan *fouling* sambil mencapai perubahan suhu yang signifikan pada *heat exchanger* tipe *shell and tube*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian skripsi ini dilaksanakan antara lain adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi kecepatan aliran dan suhu fluida terhadap pola distribusi *fouling* pada permukaan luar dan dalam tabung *heat exchanger* tipe *shell and tube*.
2. Menganalisis dan menentukan pengaturan interaksi antara kecepatan aliran dan suhu fluida untuk menekan laju pembentukan *fouling* secara maksimal, sekaligus memastikan tercapainya perubahan suhu yang signifikan pada *heat exchanger* tipe *shell and tube*.

1.4 Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah dari penelitian skripsi ini dilaksanakan antara lain adalah sebagai berikut :

1. Geometri *heat exchanger* tipe *shell and tube* unit 2 yang digunakan pada PT XYZ
2. Sifat fisikokimia fluida diasumsikan konstan selama proses simulasi
3. Fluida yang digunakan pada simulasi ini air dan gas
4. Model *fouling* yang digunakan hanya memperhitungkan mekanisme *fouling* pengendapan
5. Sifat fisik *fouling* diasumsikan konstan dan diketahui.
6. Profil kecepatan dan suhu pada *inlet* dan *outlet* diasumsikan seragam.
7. Kondisi dinding *tube* diasumsikan adiabatic atau isothermal.
8. *Software* yang digunakan pada penelitian ini ANSYS Workbench
9. Model turbulensi yang digunakan pada simulasi ini adalah model SST k- ω

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Manfaat Teoritis

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat teoritis, antara lain:

1. Penelitian ini dapat memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan dalam bidang perpindahan panas, khususnya dalam memahami mekanisme pembentukan *fouling* dan pengaruh kecepatan aliran serta suhu fluida terhadap fenomena tersebut.
2. Penelitian ini dapat menghasilkan model korelasi yang dapat digunakan untuk memprediksi kinerja *heat exchanger* dalam kondisi operasi yang berbeda.

1.5.2 Manfaat Praktis

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat praktis, antara lain :

1. Hasil penelitian dapat digunakan untuk mengoptimalkan desain *heat exchanger* tipe *shell and tube* unit 2 pada PT XYZ sehingga lebih tahan terhadap *fouling* dan memiliki efisiensi perpindahan panas yang lebih tinggi.
2. Dengan meminimalkan pembentukan *fouling* , efisiensi perpindahan panas dapat ditingkatkan, sehingga mengurangi konsumsi energi.
3. Dengan memahami mekanisme pembentukan *fouling* , dapat dikembangkan strategi pembersihan yang lebih efektif dan mengurangi frekuensi pembersihan.
4. *Heat exchanger* yang dirancang dengan mempertimbangkan faktor *fouling* akan memiliki umur pakai yang lebih panjang.
5. Dengan mengurangi risiko terjadinya *fouling* yang parah, keandalan sistem pendingin dapat ditingkatkan.