

ABSTRAK

Peningkatan efisiensi perpindahan panas pada sistem termal industri menjadi salah satu fokus utama dalam pengembangan teknologi *heat exchanger*. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah dengan memanfaatkan nanofluida sebagai fluida kerja alternatif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi konsentrasi nanofluida titanium dioksida (TiO_2) dan laju aliran fluida terhadap efektivitas perpindahan panas (ϵ), koefisien perpindahan panas keseluruhan (U), serta *pressure drop* (ΔP) pada *heat exchanger* tipe *shell and tube*. Variasi konsentrasi nanofluida yang digunakan adalah 0% (*water*), 0,5%, 1%, dan 1,5%, dengan variasi laju aliran 10 l/min, 12 l/min, dan 14 l/min pada sistem aliran berlawanan arah (*counter flow*). Analisis statistik menggunakan ANOVA dua arah menunjukkan bahwa hanya faktor laju aliran yang berpengaruh signifikan terhadap efektivitas perpindahan panas dan koefisien perpindahan panas keseluruhan dengan kontribusi masing-masing sebesar 41,80% dan 41,01%, sedangkan faktor konsentrasi dan interaksi keduanya tidak berpengaruh signifikan secara statistik. Secara empiris, nilai efektivitas tertinggi sebesar 22,33% dan nilai U tertinggi sebesar $473,83 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ diperoleh pada kombinasi konsentrasi 1% dan laju aliran 14 l/min. Sementara itu, *pressure drop* dipengaruhi oleh kedua faktor, yaitu laju aliran sebagai faktor dominan dengan kontribusi 90,71% dan konsentrasi nanofluida dengan kontribusi 9,21%, dengan nilai tertinggi sebesar $0,60 \text{ Kg/cm}^2$ pada konsentrasi 1,5% dan laju aliran 14 l/min. Dengan demikian, konsentrasi 1% dan laju aliran 14 l/min merupakan kombinasi parameter optimal dalam penelitian ini untuk memperoleh performa perpindahan panas terbaik dengan *pressure drop* yang masih dapat diterima.

Kata kunci: Nanofluida TiO_2 , *Heat exchanger shell and tube*, efektivitas perpindahan panas, koefisien perpindahan panas keseluruhan, *pressure drop*.

ABSTRACT

Improving heat transfer efficiency in industrial thermal systems has become a major focus in the development of heat exchanger technology. One promising approach is the use of nanofluids as alternative working fluids. This study aims to analyze the effect of variations in titanium dioxide (TiO₂) nanofluid concentration and fluid flow rate on heat transfer effectiveness (ϵ), overall heat transfer coefficient (U), and pressure drop (ΔP) in a shell-and-tube heat exchanger. The nanofluid concentrations used were 0% (water), 0.5%, 1%, and 1.5%, with flow rate variations of 10 L/min, 12 L/min, and 14 L/min under a counterflow configuration. Statistical analysis using two-way ANOVA showed that only the flow rate factor had a significant effect on heat transfer effectiveness and overall heat transfer coefficient, contributing 41.80% and 41.01% respectively, while the concentration factor and their interaction were not statistically significant. Empirically, the highest effectiveness value of 22.33% and the highest U value of 473.83 W/m²·°C were obtained at a combination of 1% concentration and 14 L/min flow rate. Meanwhile, pressure drop was significantly influenced by both factors: flow rate as the dominant factor with a contribution of 90.71% and nanofluid concentration contributing 9.21%, with the highest value of 0.60 Kg/cm² at 1.5% concentration and 14 L/min flow rate. Therefore, the combination of 1% concentration and 14 L/min flow rate represents the optimal operating condition in this study to achieve the best heat transfer performance with an acceptable pressure drop.

Keywords: *TiO₂ nanofluid, shell-and-tube heat exchanger, heat transfer effectiveness, overall heat transfer coefficient, pressure drop.*