

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran dua fase gas-cairan *non-Newtonian* di dalam *microchannels* dan pengaruh pola aliran dua fase terhadap perpindahan kalor. Penelitian ini menggunakan *microchannel* berpenampang persegi dengan panjang sisi  $8 \times 10^{-4}$  m. Nitrogen merupakan gas uji yang digunakan dalam penelitian ini. Sedangkan, cairan uji yang digunakan terdiri dari air, CMC (*carboxymethyl cellulose*) 0,2 wt%, CMC 0,4% wt, dan XG (*xanthan gum*) 0,2 wt%. Kecepatan superfisial cairan,  $j_L$  dan gas uji,  $j_G$  divariasikan dalam rentang 0,05 – 1 m/s dan 0,26 – 7,8 m/s. Gas dan cairan uji akan bertemu di daerah percampuran yang berbentuk *T-junction* sebelum memasuki daerah pengamatan. Terdapat tiga daerah pengamatan pada *microchannel* dalam penelitian ini meliputi dua daerah pengamatan pola aliran serta *pressure gradient* yang terbuat dari akrilik dan sebuah daerah pengamatan perpindahan kalor yang terbuat dari tembaga. Kedua daerah pengamatan pola aliran serta *pressure gradient* terletak pada 37,5 dan 172,75 mm dari daerah percampuran berupa *T-junction*. Sedangkan, daerah pengamatan perpindahan kalor terletak pada 120 mm dari daerah percampuran *T-junction*. Untuk mengetahui karakteristik pola aliran dua fase, *pressure drop* dari aliran dua fase pada daerah-daerah pengamatan diukur menggunakan *differential pressure transducer* yang akan diolah menggunakan metode *signal processing* meliputi PSD (*Power Spectrum Density*), DWT (*Discrete Wavelet Transformed*), ANN (*Artificial Neural Network*), dan Entropi Kolmogorov. Kemudian, *pressure gradient* aktual dibandingkan dengan kolerasi prediksi *pressure gradient* yang didapat pada penelitian terdahulu. Sedangkan video pola aliran direkam menggunakan *high-speed camera* dan diolah menggunakan metode *image processing*. Selain itu, pada daerah perpindahan kalor, temperatur dinding daerah perpindahan kalor diukur menggunakan termokopel tipe-T yang diletakkan pada 100, 120, dan 140 mm setelah daerah percampuran *T-junction* untuk mengetahui besar koefisien perpindahan kalor konveksi. Selain untuk mengetahui karakteristik *pressure gradient*, pola aliran dalam penelitian ini juga digunakan untuk mengetahui karakteristik perpindahan kalor melalui nilai koefisien perpindahan kalor konveksi,  $\bar{h}_{TP}$  dan indeks kinerja perpindahan kalor,  $\varepsilon$ . Nilai koefisien perpindahan kalor konveksi yang didapat dalam penelitian ini dibandingkan dengan koefisien perpindahan kalor yang dihitung menggunakan persamaan-persamaan prediksi dari penelitian sebelumnya. Pola aliran dua fase yang terbentuk di dalam *microchannel* pada penelitian ini meliputi pola aliran *bubbly*, *slug*, *slug-annular*, dan *churn*. Namun, pola aliran *bubbly* hanya terbentuk pada aliran dua fase nitrogen-air. *Pressure gradient* aliran dua fase meningkat seiring peningkatan kecepatan superfisial cairan uji,  $j_L$  untuk setiap jenis cairan uji pada  $j_G$  yang konstan. Korelasi prediksi *pressure gradient* oleh Kawahara et al. (2011) menunjukkan kesesuaian yang paling baik dengan data *pressure gradient* aliran dua fase dalam penelitian ini. Selanjutnya, metode *signal processing* dapat menjelaskan karakteristik aliran dua fase yang terjadi pada penelitian ini dengan baik menggunakan data *pressure gradient*. Pola aliran *churn* memiliki nilai koefisien perpindahan kalor konveksi,  $\bar{h}_{TP}$  yang tertinggi dibandingkan dengan pola aliran *slug* dan *slug-annular*. Persamaan prediksi nilai koefisien perpindahan kalor konveksi yang dibuat oleh

Rezkallah et al., (1986) memberikan kesesuaian yang paling baik dengan nilai koefisien perpindahan kalor konveksi dalam penelitian ini. Pola aliran *slug* adalah pola aliran yang memiliki indeks kinerja,  $\varepsilon$  yang terbaik diantara pola aliran lainnya karena pola aliran *slug* menghasilkan *pressure gradient* yang relatif rendah dengan kinerja yang sedang dalam perpindahan kalor yang ditunjukkan dengan nilai,  $\bar{h}_{TP}$ .

**Kata kunci:** *microchannels, non-Newtonian, saluran persegi, aliran dua fase, heat transfer coefficient, image processing, signal processing.*

## **Abstract**

*This study aims to determine the characteristics of gas-non-Newtonian liquids two-phase flow in square microchannels and the effects of flow pattern to the heat transfer. A square microchannels with a hydraulic diameter of 0.8 mm was used as the channels in this study. Nitrogen gas was used as working gas. While, water, CMC (carboxymethyl cellulose) 0.2 wt%, CMC 0.4%wt, and XG (xanthan gum) 0.2 wt% were used as working liquids. The superficial velocity of liquids,  $j_L$  were varied of 0.05 – 1 m/s. Moreover, the superficial velocity of gas,  $j_G$  were varied of 0.26 – 7.8 m/s. The working gas and liquid were introduced in T-junction mixer before entering the channels. There were three observation areas in this experiment including 37.5 and 172.25 mm after T-junction mixer, which are made of acrylic channels for the flow pattern observation areas. Furthermore, the heat transfer observation area was placed on 120 mm after T-junction mixer, which is made of copper channel. Pressure drop were measured by using differential pressure transducer. Moreover, the actual pressure gradient compared with some existing pressure gradient correlations that obtained in previous studies. While, the flow patterns were recorded by using a high-speed video camera. Image and signal processing consist of PSD (Power Density Spectrum), DWT (Discrete Wavelet Transformed), ANN (Artificial Neural Network), and Kolmogorov entropy were used to characterize the flow pattern. Moreover, three pieces of thermocouple tipe-T were placed on 100, 120, and 140 mm after T-junction mixer for obtaining the value of convective heat transfer coefficient  $\bar{h}_{TP}$ . In addition, the effect of flow pattern to heat transfer characteristics by obtaining flow index of flow pattern,  $\epsilon$  has been done in this study. The actual convective heat transfer coefficient also compared with some correlations of convective heat transfer coefficient predictions that obtained in some previous studies. The flow patterns that occur in this study consist of bubbly, slug, slug-annular, and churn flow. However, the bubbly flow only occurs in gas-water two-phase flow. The two-phase flow pressure gradient increase with increasing the superficial velocity of liquids,  $j_L$  in the same  $j_G$ . The correlation of pressure gradient prediction by Kawahara et al. (2011) shows the best agreement with the experimental data. Furthermore, the signal processing methods describe the characteristics of flow pattern. In addition, the flow pattern that occurs in present study not only used to finding out the characteristic of pressure gradient but also to determine the characteristics of heat transfer. The churn flow has the highest convective heat transfer coefficient,  $k$  compared to the slug and slug-annular flow. The prediction correlation of convective heat transfer coefficient by Rezkallah et al., (1986) gives good agreement with the actual convective heat transfer coefficient in this study. The slug flow has the best performance index,  $\epsilon$  among the other flow patterns in this study due to the slug flow induce a lower pressure gradient with moderate performance in heat transfer as indicated by the value of  $\bar{h}_{TP}$ .*

**Keywords:** microchannels, non-Newtonian, rectangular channels, two-phase flow, heat transfer coefficient, image processing, signal processing