

## ABSTRAK

Pola aliran *stratified* gas-cair searah pada pipa horizontal banyak dijumpai pada sistem transportasi minyak dan gas. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan investigasi mengenai pengaruh sifat fisis fluida cair (viskositas dan tegangan permukaan) terhadap karakteristik aliran dan mengembangkan korelasi untuk memprediksi parameter gelombang antarmuka pada aliran *stratified* gas-cair searah pada pipa horizontal.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pipa akrilik berdiameter dalam 26 mm dan panjang 9500 mm, kecepatan superfisial cairan ( $J_L$ ) 0,02 m/s sampai dengan 0,1 m/s dan kecepatan superfisial gas/udara ( $J_G$ ) dari 4 m/s sampai dengan 16 m/s). Kamera video kecepatan tinggi digunakan untuk mengambil data visual guna menyelidiki fenomena fisis dari pola aliran yang terjadi dan kemudian diproses dengan teknik *image processing* untuk mendapatkan data *time series* tebal lapisan *liquid*. Gradien tekanan diukur dengan *differential pressure transducer*. *Liquid holdup* diukur dengan *constant electric current method* (CECM). Sensor *parallel wire* yang diputar digunakan untuk mengukur *wetted angle* dan *wall wetted fraction*. Untuk memvariasikan viskositas *liquid*, maka air dicampur dengan gliserin (30% dan 50%). Sementara itu, untuk memvariasikan tegangan permukaan *liquid*, maka air dicampur dengan butanol (2% dan 5%). Untuk menyederhanakan penjelasan di dalam naskah disertasi ini, digunakan singkatan untuk fluida uji berdasarkan viskositas dan tegangan permukaan cairannya, yaitu W: udara-air (*dynamic viscosity*  $\mu = 1,002$  mPa.s), G30: udara-30% gliserin ( $\mu = 2,773$  mPa.s), G50: udara-50% gliserin ( $\mu = 6,292$  mPa.s), B2: udara-2% butanol ( $\sigma = 58$  mN/m) dan B5: udara-5% butanol ( $\sigma = 42,5$  mN/m). Selanjutnya, beberapa analisis statistik digunakan untuk menganalisa parameter aliran *stratified*, yang meliputi: *probability distribution function* (PDF), *power spectral density* (PSD), *cross correlation*, *kolmogorov entropy*, dan *wavelet transforms*. Selanjutnya, dilakukan pengembangan korelasi untuk memprediksi frekuensi gelombang, kecepatan gelombang dan *liquid holdup* dengan analisis dimensional serta *wetted wall fraction* dengan semi analitik.

Sebagai hasil dari penelitian ini, pengaruh viskositas dan tegangan permukaan terhadap karakteristik gradien tekanan, *liquid film thickness*, frekuensi gelombang, kecepatan gelombang, *liquid holdup* serta *wetted wall fraction* dikaji secara detail. Metode untuk mengidentifikasi atau mengklasifikasikan masing-masing sub rezim aliran *stratified* berhasil dikembangkan berdasarkan batas terendah dan tertinggi dari nilai frekuensi dominan (PSD) dan koefisien LWE maksimum (*Continuous Wavelet Transform*). Selain itu, beberapa korelasi baru untuk memprediksi parameter pada aliran *stratified* telah berhasil dikembangkan. Korelasi tersebut meliputi: korelasi frekuensi gelombang, kecepatan gelombang, *liquid holdup* serta *wetted wall fraction*.

Kata kunci : Aliran *stratified*, *Kolmogorov entropy*, *Discrete wavelet transform*, Parameter gelombang antarmuka, Analisis dimensional, Korelasi baru

## ABSTRACT

Gas-liquid stratified flow pattern in horizontal pipes is often found in oil and gas transportation systems. This study aims to investigate the effect of physical properties of liquid fluids (viscosity and surface tension) on flow characteristics and develop correlations to predict interfacial wave parameters in co-current stratified gas-liquid flow in horizontal pipes.

This research was conducted using an acrylic pipe with an inner diameter of 26 mm and a length of 9500 mm, a superficial liquid velocity ( $J_L$ ) of 0.02 m/s to 0.1 m/s and a gas/air superficial velocity ( $J_G$ ) of 4 m/s up to 16 m/s). High-speed video camera was used to take visual data to investigate the physical phenomena of the flow pattern that occurs and then processed with image processing techniques to obtain time series data for the liquid film thickness. The pressure gradient was measured by a differential pressure transducer. Liquid holdup was measured by constant electric current method (CECM). Rotated parallel wire sensor was used to measure wetted angle and wall wetted fraction. To vary the viscosity of the liquid, water was mixed with glycerin (30% and 50%). Meanwhile, to vary the surface tension of the liquid, water was mixed with butanol (2% and 5%). To simplify the explanation, abbreviations were used for the test fluid based on the viscosity and surface tension of the liquid, namely W: air-water (dynamic viscosity = 1.002 mPa.s), G30: air-30% glycerin ( $\mu = 2,773$  mPa.s), G50: air-50% glycerin ( $\mu = 6,292$  mPa.s), B2: air-2% butanol ( $\sigma = 58$  mN/m) and B5: air-5% butanol ( $\sigma = 42,5$  mN/m). Furthermore, several statistical analyzes were used to analyze the stratified flow parameters, which include: probability distribution function (PDF), power spectral density (PSD), cross correlation, kolmogorov entropy, discrete wavelet transforms (DWT) and continuous wavelet transforms (CWT). Furthermore, correlations were developed to predict wave frequency, wave velocity and liquid holdup with dimensional analysis and wetted wall fraction with semi-analytic method.

As the result of this study, the effect of viscosity and surface tension on the characteristics of pressure gradient, liquid film thickness, wave frequency, wave velocity, liquid holdup and wetted wall fraction were studied in detail. Methods for identifying or classifying each stratified flow sub-regime were successfully developed based on the lowest and highest limits of the dominant frequency (PSD) and maximum LWE coefficients (CWT). In addition, several new correlations to predict parameters in stratified flow have been developed. The correlations include: correlation of wave frequency, wave velocity, liquid holdup and wetted wall fraction

**Keywords:** Stratified flow, Kolmogorov entropy, Discrete wavelet transform, Interfacial wave parameters, Dimensional analysis, New correlation